



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil en Informática

**Proceso de Medición - Herramienta para el
Mejoramiento de Procesos de Producción de Software**

Tesis de grado para optar
al título de Ingeniero Civil
en Informática

Patrocinante:

MARISOL MENESES ROJAS

Profesor Co - Patrocinante:

MARTÍN SOLAR MONSALVES

MARIA DEL PILAR MURUA AVILES

VALDIVIA – CHILE

2005

VALDIVIA, 29 de Noviembre de 2005

DE: MARISOL MENESES ROJAS

A: DIRECTORA ESCUELA INGENIERÍA CIVIL EN INFORMÁTICA

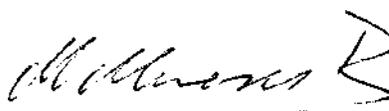
MOTIVO:

INFORME TRABAJO DE TITULACIÓN

Nombre Trabajo de Titulación: **PROCESO DE MEDICIÓN - HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE SOFTWARE**

Nombre del Alumno: **MARÍA DEL PILAR MURUA AVILES**

Nota: **7,0 (siete como cero)**


MARISOL MENESES R.

FUNDAMENTO DE LA NOTA:

Considerar:

- Cumplimiento del objetivo propuesto
- Satisfacción de alguna necesidad
- Aplicación del método científico
- Interpretación de los datos y obtención de conclusiones
- Originalidad
- Aplicación de criterios de análisis y diseño
- Perspectivas del trabajo
- Coherencia y rigurosidad lógica
- Precisión del lenguaje técnico en la exposición, composición, redacción e ilustración.

Valdivia, 23 de Noviembre de 2005

De : Martín Gonzalo Solar Monsalves

A : Directora Escuela Ingeniería Civil en Informática

Ref.: Informe Calificación Trabajo de Titulación

Nombre Trabajo de Titulación:

"PROCESO DE MEDICIÓN-HERRAMIENTA PARA EL MEJORAMIENTO DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE SOFTWARE."

Nombre Alumno:

María del Pilar Murúa Aviles.

Evaluación:

Cumplimiento del objetivo propuesto	7.0
Satisfacción de alguna necesidad	6.0
Aplicación del método científico	6.5
Interpretación de los datos y obtención de conclusiones	7.0
Originalidad	7.0
Aplicación de criterios de análisis y diseño	7.0
Perspectivas del trabajo	7.0
Coherencia y rigurosidad lógica	6.5
Precisión del lenguaje técnico en la exposición, composición, redacción e ilustración	7.0

Nota Final

6.8

Sin otro particular, atte.:



Martín Solar Monsalves

Valdivia, 29 Noviembre del 2005

DE : Miguelina Vega Rosales

Profesor Instituto Informática

A: Dirección Escuela Ingeniería Civil en Informática

Informo a usted que el Proyecto de Título " Proceso de Medición- Herramienta para el Mejoramiento de Procesos de Producción de Software", presentado por la señorita María del Pilar Murúa Avilés, cumple con el objetivo general propuesto, que es identificar un modelo de medición de procesos de desarrollo de software que sirva como mecanismo de control, para el seguimiento y mejora continua del proceso, además instaurar métricas que indiquen la efectividad del proceso de desarrollo y ayuden en forma objetiva la toma de decisiones.

La metodología de trabajo y el lenguaje utilizado es el adecuado, sin embargo, en el trabajo la alumna demostró insuficiencia en el proceso de síntesis. Por lo anteriormente expuesto, califico este proyecto de título con nota 6,7 (seis, siete).

Atentamente



Miguelina Vega R.

TABLA DE CONTENIDOS

Tabla de Contenidos	i
Indice de Tablas	iii
Indice de Figuras.....	iv
Resumen	vi
Abstract	vii
CAPITULO UNO	1
1 Introduccion.....	1
1.1 Descripción General.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivos Generales	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Esquema de Desarrollo	5
CAPITULO DOS	6
2 Contexto General de la Investigación	6
2.1 Realidad del Desarrollo de Software.....	6
2.2 Conceptos Teóricos sobre Calidad	9
2.2.1 ¿Qué es la Calidad?	9
2.2.2 Gestión de la Calidad – La Trilogía de Juran	10
2.2.3 Aseguramiento de Calidad del Software	12
2.3 Gestionar los Procesos de Desarrollo.....	14
2.3.1 Importancia del Proceso	14
2.3.2 Proceso de Software	15
2.3.3 Mejoramiento del Proceso de Software.....	16
2.3.4 Gestión del Proceso de Software	17
CAPITULO TRES.....	20
3. Conceptos y Prácticas Clave de la Medicion de Software	20
3.1 Disciplinas de Gestión Cuantitativa.....	22
3.2 Relación entre Gestión del Proyecto y Gestión del Proceso	23
3.3 Integración del Proceso de Medición a la Gestión del Proceso de Software	26
3.4 Perspectivas de la Medición de Software	28
3.4.1 Desempeño.....	30
3.4.2 Estabilidad	32
3.4.3 Conformidad	35
3.4.4 Capacidad.....	38
3.4.5 Mejoramiento e Inversión	40
3.5 Modelo Global de un Proceso de Medición	43
3.5.1 Modelo de Información de Medición.....	44
3.5.2 Modelo del Proceso de Medición.....	53
3.6 Principios del Proceso de Medición	55
CAPITULO CUATRO	58
4. Proceso de Medición de Software para Gestionar los Procesos	58
4.1 Planificación de la Medición	60
4.1.1 Identificar y Priorizar las Necesidades de Información.....	61
4.1.2 Seleccionar y Especificar las Medidas	65
4.1.3 Integrar el Enfoque de Medición a los Procesos del Proyecto	72
4.2 Aplicación de las Medidas	77
4.2.1 Recolectar y Procesar Datos	78
4.2.2 Análisis de Datos	82
4.2.3 Hacer Recomendaciones	88
4.3 Evaluación de la Medición.....	90
4.3.1 Evaluar las Medidas	92
4.3.2 Evaluar el Proceso de Medición	94
4.3.3 Actualizar la Base de Experiencia	97
4.3.4 Identificar e Implementar Mejoramientos	98
4.4 Implementación del Proceso de Medición	99
4.4.1 Obtener el Compromiso y Soporte Organizacional	99
4.4.2 Definir la Responsabilidades de la Medición	101
4.4.3 Proveer Recursos	102
4.4.4 Revisar el Programa de Medición.....	103

CAPITULO CINCO.....	105
5. Implementación de un Proceso de Medición – Caso de Estudio	105
5.1 Descripción Estrategia de Implementación.....	105
5.2 Especificación del Proceso de Desarrollo de la Organización.....	108
5.2.1 Definición del Alcance de la Especificación del Proceso de Desarrollo.....	108
5.2.2 Historia de Esfuerzos de Calidad en la Organización	109
5.2.3 Descripción General del Proceso de Desarrollo de la Organización	110
5.3 Especificación del Plan de Medición	113
5.3.1 Identificación y Selección de Necesidades de Información	115
5.3.2 Selección y Especificación de Medidas.....	116
5.3.3 Integración al Proceso de Desarrollo.....	122
5.4 Aplicación del Programa de Medición	123
5.4.1 Sistema de Gestión Interna	124
5.4.2 Sistema de Generación de Reportes de Análisis de Datos	128
5.5 Evaluación del Programa de Medición.....	134
CAPITULO SEIS	139
6. Conclusiones y Acciones Futuras.....	139
6.1 ¿Cuál es el Siguiente Paso?	139
6.2 Conclusiones de la Investigación	141
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	144
ANEXO A	146
A1. Levantamiento de Requerimientos de Medición	146
ANEXO B	148
B1. Reportes de Indicadores Seleccionados.....	148
B1.1 Resumen de Indicadores	148
Resumen de Medidas.....	148
B1.2 Análisis de Tiempos.....	151
B1.3 Análisis de Esfuerzos.....	154
Resumen de Indicadores.....	154
B1.4 Análisis de Hitos.....	157
B1.5 Análisis de Reportes de Error	158

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Los significados de calidad [JUR1990].....	10
Tabla 2-2: Los tres procesos universales de la gestión de la calidad [JUR1989]	11
Tabla 3-1: Entidades y Atributos para Medir la Conformidad del Proceso.....	38
Tabla 3-2: Indicadores para Sistemas Operacionales de Negocio.....	41
Tabla 4-1: Relación de Medidas y Categorías de Información.....	63
Tabla 4-2: Ejemplo de Asignación de Prioridades de Necesidad de Información.....	64
Tabla 4-3: Conceptos Medibles y Preguntas Relacionadas	68
Tabla 4-4: Plantilla de Constructor de Medición.	70
Tabla 4-5: Ejemplos de Fuentes de Datos para Conceptos Medibles.	73
Tabla 4-6: Esquema de plan de Medición de Proyecto.	77
Tabla 4-7: Ejemplo Checklist de Verificación de Datos.	81
Tabla 4-8: Criterios de Evaluación del Proceso de Medición y Conceptos Medibles.....	92
Tabla 5-1: Necesidades Información Levantadas	115
Tabla 5-2: Conceptos Medibles y Necesidades de Información.....	117
Tabla 5-3: Constructor de Medición – Variación de Progreso de Hitos.....	118
Tabla 5-4: Constructor de Medición – Variación de Tiempos.....	119
Tabla 5-5: Constructor de Medición – Variación de Esfuerzo.	120
Tabla 5-6: Constructor de Medición – Eficiencia del Proceso de Corrección de Defectos.	121

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Diagrama de Flujo del Esquema de Desarrollo.....	4
Figura 2-1: Resumen de Resultados obtenidos en el estudio “The Chaos Report” en el 2003....	7
Figura 2-2: Resultados del estudio realizado por INTEC-CHILE sobre seis empresas en Chile..	8
Figura 2-3: Cronograma Estado de la Práctica en Chile [ZAV1998].....	8
Figura 2-4: Principales Herramientas y Modelos de Mejoramiento en Ingeniería de Software. .	13
Figura 2-5: Los tres factores críticos del desarrollo de software.	14
Figura 2-6: Componentes que definen un Proceso de Software.....	16
Figura 2-7: Dimensiones del Mejoramiento del Proceso en CMM.	17
Figura 2-8: Las Actividades Claves de la Gestión de Procesos de Software.....	19
Figura 3-1: Disciplinas de Gestión Cuantitativa	23
Figura 3-2: Relaciones entre la Gestión del Proceso y la Gestión del Proyecto.....	24
Figura 3-3: Medición a través de múltiples proyectos en la organización	25
Figura 3-4: Actividades de Medición y Responsabilidades Claves de la Gestión del Proceso... 27	
Figura 3-5: Concepto de Variación Controlada.....	33
Figura 3-6: Concepto de un Proceso no Controlado.	33
Figura 3-7: Gráfico de Control del Backlog de Defectos no Resueltos.	35
Figura 3-8: Histograma que refleja la Capacidad del Proceso.	39
Figura 3-9: Alineación del Desempeño del Proceso a los Requerimientos del Proceso.	40
Figura 3-10: Pirámide de Desempeño para Sistemas Operacionales de Negocio.	41
Figura 3-11: Fuentes de Indicadores de Satisfacción del Cliente, Flexibilidad y Productividad. 42	
Figura 3-10: Relaciones del Modelo de Información de Medición.....	44
Figura 3-11: Evolución de una Necesidad de Información a un Plan de Medición.	45
Figura 3-12: Necesidades de Información y Niveles Organizacionales.	47
Figura 3-13: Niveles de un Constructor de Medición.....	48
Figura 3-14: Descripción detallada de un Constructor de Medición.....	49
Figura 3-15: Descripción Matemática de un Constructor de Medición.....	53
Figura 3-16: Representación del Modelo del Proceso de Medición.....	54
Figura 4-1: Actividades del Proceso de Medición.....	58
Figura 4-2: Diagrama de Flujo General Proceso de Medición.....	59
Figura 4-3: Diagrama de la actividad de Planificación de la Medición.	60
Figura 4-4: Mecanismo de Selección de la Medición.	66
Figura 4-5 Representación Gráfica de Indicador de Progreso de Codificación.	72
Figura 4-6: Estructuras de Agrupación de Medición.....	75
Figura 4-7: Tareas de la Ejecución de la Medición.....	78
Figura 4-8: Combinación de Múltiples Fuentes de Datos.....	80
Figura 4-9: Tipos de Análisis Típicos.....	83
Figura 4-10: Vista Compuesta de Múltiples Indicadores.	85
Figura 4-11: Modelo de Análisis Integrado.	87
Figura 4-12: El Proceso de Evaluación de la Medición.	91
Figura 4-13: Tareas de la Implementación de la Medición.....	99
Figura 4-14: Principales Roles del Proceso de Medición.	101
Figura 5-1: Visibilidad del Proceso v/s Madurez.....	107
Figura 5-2: Esquema Proceso de Desarrollo de Software.	111
Figura 5-3: Esquema de Actividades Proceso de Medición.	114
Figura 5-4: Sistema de Gestión Interna	124
Figura 5-5: Esquema de Desarrollo del Sistema de Generación de Reportes.....	129
Figura 5-6: Diagrama de Flujo de Datos (nivel 0) Sistema ARI.....	132
Figura 5-7 Diagramas de Casos de Uso para el Prototipo.....	133

Agradecimientos

Dedico este trabajo en primer lugar a mis padres, por su inmensa paciencia y su incondicional apoyo, esto no lo habría logrado sin sus constantes consejos. A mis abuelos por creer en mí y por su amoroso soporte, y a mis hermanos, porque cada uno a su manera estuvo presente en este tiempo.

A cada uno de mis amigos, porque cada uno tuvo una palabra de ánimo y me dieron un granito de arena para terminar. A Víctor por su ayuda incondicional y paciencia.

Agradezco a Eugenio por que luego de todo el tiempo transcurrido recién comprendo muchos de sus consejos.

A las personas que trabajaron conmigo, por su tiempo, apoyo y buenos consejos. A Optimisa S.A. por darme la posibilidad de llevar a cabo este trabajo.

A la Señora Juanita por su tremenda paciencia para aguantar todas las excusas. A la escuela y los profesores por haberme dado la oportunidad de concluir con este trabajo.

A Marisol porque nunca dejó de creer en este proyecto, por su paciencia y apoyo en este largo recorrido, y por enseñarme que “lo perfecto es enemigo de lo bueno”, aunque me haya tenido que caer muchas veces para aprenderlo.

Finalmente, agradezco a Dios por haberme dado la inteligencia, salud y fuerza para lograr esta meta.

RESUMEN

Para que exista mejoramiento debe existir control y conocimiento sobre lo que se quiere mejorar; sin el conocimiento no se pueden definir directrices o estrategias que conduzcan la evolución.

Las organizaciones de desarrollo de software carecen de este conocimiento y control sobre sus procesos de desarrollo, por lo que, al momento de decidir mejorarlos no poseen información cuantitativa que les indique hacia donde dirigir los esfuerzos.

Las tendencias actuales de la industria de software, determinan el convencimiento de que sin un proceso de software ordenado y controlado, no puede asegurarse un buen producto. La medición del software se ha vuelto un recurso estratégico para las organizaciones, entregándoles una herramienta de gestión sobre la cual pueden basar sus esfuerzos de mejoramiento de los procesos productivos.

Frente a este escenario se planteó la inquietud de adaptar y analizar el efecto de un proceso de medición sobre el mejoramiento de un proceso de desarrollo.

El trabajo que se presenta, corresponde a la descripción detallada de la adaptación, aplicación y análisis de un proceso de medición aplicado sobre el proceso de desarrollo de una organización de producción de software.

ABSTRACT

For improvement to exist, first of all control and knowledge of what you want to improve must exist; without the knowledge, directives or strategies that drive the evolution can not be defined.

Software development organizations lack of knowledge and control of their development processes, reason why, at the time of deciding to improve does not have them quantitative information that can direct their efforts in the right direction.

Software industry actual trends, determine the conviction that without an ordered and controlled software development process, a good product can not be guaranteed. Software measurement has become a strategic resource for organizations, giving them a management tool which they can base their productive processes improvement efforts on.

On this scenario, the restlessness of adapt and analyze the effect of a measurement process over the improvement of a development process, has raised.

The work that is being presented, it's a detailed description of the adaptation, application and analysis of a measurement process applied over the development process of a software production organization.

1 INTRODUCCION

1.1 Descripción General

La ingeniería de software, en las últimas décadas, ha sido una disciplina en constante crecimiento que ha generado numerosos estudios e investigaciones que han dado origen a una copiosa literatura al respecto, sin embargo, la calidad del software que la industria está produciendo sigue siendo constantemente cuestionada.

La falta de calidad existente en el desarrollo de software se ha vuelto una situación crónica, la deficiencia en la planificación, gestión y estimación, son los aspectos de fondo que causan que los proyectos terminen sin cumplir las exigencias de tiempo, costo y calidad, lo cual produce una alta desconfianza e insatisfacción en el cliente.

Esta situación crónica dio luz a la aparición de diversos paradigmas de calidad en la industria, que conforman un conjunto afiatado de conceptos que confunden a la hora de buscar solución a las deficiencias del desarrollo de software.

El aseguramiento de calidad (SQA por su nombre en inglés *Software Quality Assurance*), en conjunto al mejoramiento continuo del proceso de desarrollo de software (enfoque basado en el concepto de mejora continua), se han constituido como una solución sólida que permite alcanzar la madurez necesaria para hacer frente a la continua evolución del mercado del software.

Tanto el aseguramiento de calidad, como el mejoramiento del proceso de software, comprenden una serie de tareas que se pueden resumir en: aplicación de métodos técnicos; realización de revisiones técnicas formales; prueba de software; ajuste a los estándares; control de cambios; mediciones; y registro y realización de informes.

Como base de los fundamentos anteriores, se encuentra el proceso de medición. La medición es una actividad integral a cualquier disciplina, que permite aumentar el conocimiento sobre la misma, por lo tanto permite mejorar el proceso.

En el caso específico del desarrollo de software, la medición:

- * Permite adquirir una comprensión completa y global sobre el proceso de ingeniería de software y su producto.

- * A los gestores del proceso, los habilita para tener un conocimiento y manejo que faculte la toma de decisiones que cambien el curso de un proyecto.
- * Y en el ámbito del aseguramiento de calidad, conforma una herramienta para seguir la calidad del software y conocer el impacto de los cambios en la metodología o en los procedimientos.

La medición produce un cambio cultural, lo que podría decir que la necesidad de medición es evidente, sin embargo, a la hora de decidir comenzar un proceso de medición las dudas que surgen son numerosas y diversas.

- * ¿Cuáles son las métricas apropiadas para el proceso y para el producto?
- * ¿Cómo se deben utilizar los datos que se recopilan?
- * ¿Qué análisis deben realizarse sobre los datos recopilados?
- * ¿Cómo se puede obtener información a partir de los datos?
- * ¿Es bueno usar medidas para comparar desempeño de los profesionales, de los procesos o de los productos?

Esta situación es natural cuando se intenta medir algo que no se ha medido anteriormente, en general, estas dudas surgen cuando se intenta implementar un proceso que desconocemos.

Esta investigación busca, por medio del estudio de los principales estándares de la industria del software en el ámbito mundial, y el uso de un modelo basado en las buenas prácticas, e iniciativas en otros mercados, definir y utilizar un proceso de medición simple, que partiendo de métricas básicas, sirva como apoyo al mejoramiento del proceso de desarrollo de software, y esté adaptado al ámbito de la industria de software nacional.

Partiendo desde el principio, que todo modelo o proceso es inherente a cada organización, lo que se busca lograr es un conjunto de buenas prácticas y la formulación de los pasos indispensables para definir un proceso de medición acorde a las exigencias y objetivos de la propia organización.

A lo largo de este documento se presentan los principales aspectos desarrollados durante el transcurso de la investigación. El informe se estructura del siguiente modo:

- * Capítulo dos: se realiza un análisis de los principales aspectos y fundamentos teóricos sobre los cuales se asientan conceptos como calidad, ingeniería de software, proceso, que dan lugar a la teoría sobre el control estadístico y medición como apoyo a la gestión.
- * Capítulo tres: se presentan algunos conceptos básicos y principios sobre la teoría de medición, justificando su importancia y como aporta a la disciplina de la ingeniería de software, como una herramienta estadística para ayudar a la gestión de la calidad.
- * Capítulo cuatro: se describe detalladamente el modelo de medición definido, identificando las etapas y sus objetivos para conducir una iniciativa de implantación del proceso de medición de software.
- * Capítulo cinco: con el objeto de mostrar en forma práctica la implantación de un proceso de medición utilizando el modelo definido, se presentan los aspectos principales de la implantación del proceso en la empresa de desarrollo de software que sirvió como caso de estudio para la presente investigación.
- * Capítulo seis: se presentan las acciones futuras que se sugiere continúen luego de la primera implantación, y se presentan las conclusiones de la investigación desarrollada.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Generales

Identificar un modelo de medición de procesos de desarrollo de software que constituya un mecanismo de control, seguimiento y mejora continua del proceso.

Instaurar, como mecanismo de control, métricas que conduzcan el conocimiento de la efectividad de un proceso de desarrollo y constituyan una base objetiva para la toma de decisiones.

1.2.2 Objetivos Específicos

I. Estudiar metodologías y técnicas líderes actuales de la industria del software en administración y medición de procesos de software.

II. Identificar y adoptar un modelo de control de procesos basado en distintas pautas, de administración a través de medición, de la industria de software.

III. Definir y modelar un conjunto de métricas sencillas (a modo de ejemplo) que constituyan una herramienta de apoyo a la toma de decisiones.

IV. Definir y desarrollar una herramienta que sirva como guía a la aplicación e instauración del modelo de medición, facilitando la definición de nuevas métricas.

V. Comprobar la herramienta desarrollada mediante la habilitación de las métricas definidas como muestra del modelo de medición.

VI. Formular un conjunto de recomendaciones y prioridades, para extender el modelo e iniciar la instauración del uso de métricas para la gestión de procesos.

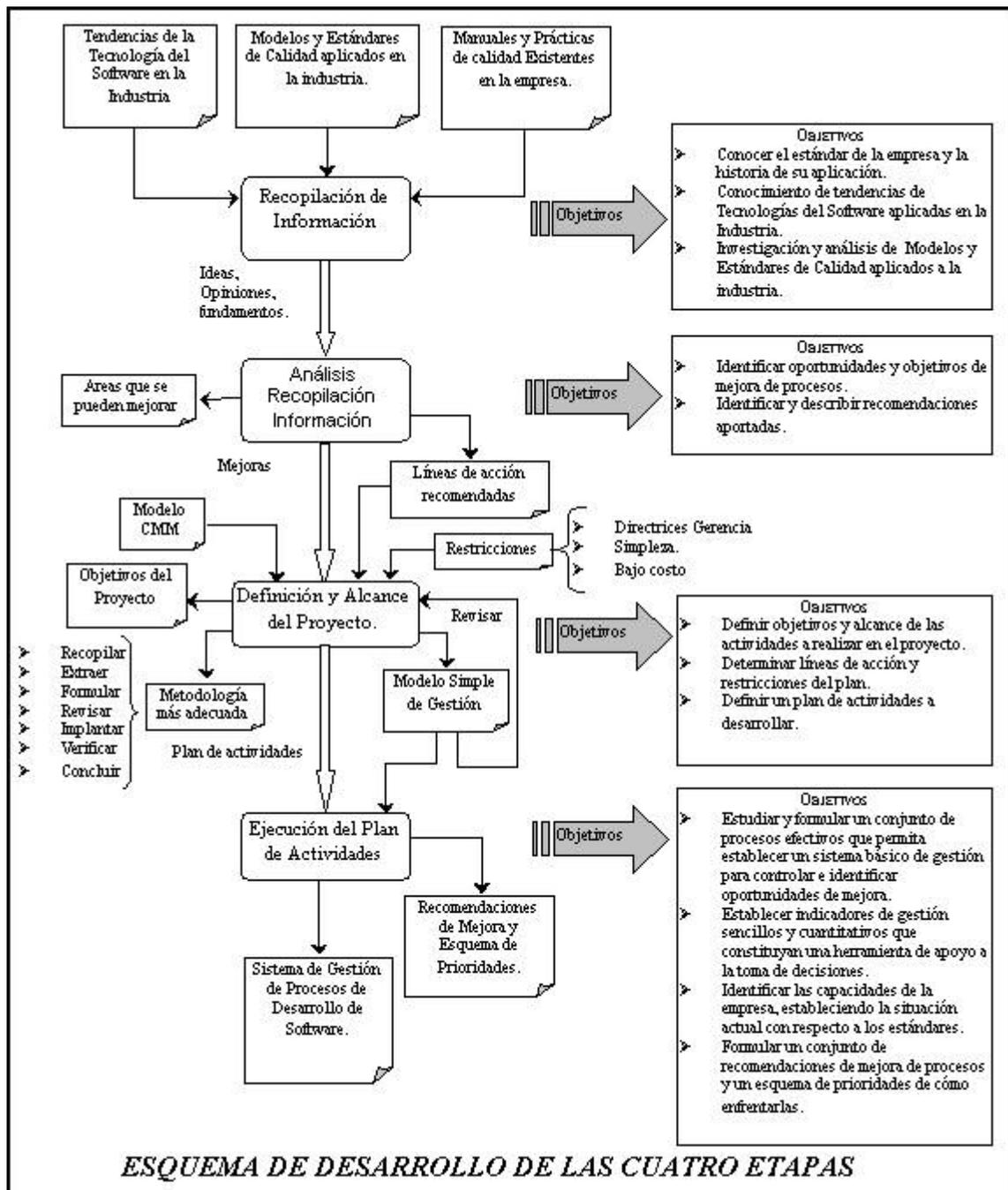


Figura 1-1: Diagrama de Flujo del Esquema de Desarrollo.

1.3 Esquema de Desarrollo

Sobre la base de cumplir con los objetivos propuestos para esta investigación, se organizó el trabajo en diferentes etapas, que se organizaron como se expone en la figura 1-1.

Las tres primeras etapas de la investigación, “Recopilación de Información”, “Análisis Recopilación de Información” y “Definición y Alcance del Proyecto”, se centraron en la confección de un marco conceptual y de apoyo para llevar a cabo la investigación. Esta conceptualización, permitió definir los alcances, la estrategia y los criterios de éxito para alcanzar los objetivos planteados. Estas etapas se ven reflejadas en los capítulos uno, dos y tres, además en las actividades de planificación y de definición de este trabajo.

La etapa siguiente, consistió en llevar a la práctica los modelos y conceptos estudiados, sobre la base de la estrategia definida. Esta etapa se explica con detalle en los capítulos cuatro y cinco, donde se expone de que forma se llevó a cabo la definición y aplicación de un modelo de medición para la gestión orientado a la industria de software nacional.

2 CONTEXTO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Realidad del Desarrollo de Software

En la actualidad la historia del desarrollo de sistemas informáticos ha dado un vuelco, el hardware, hasta hace unas décadas atrás, conformaba el factor principal del presupuesto en la implantación de sistemas de información. Esto ha cambiado y el software se ha transformado en una clave del éxito de muchos sistemas, se ha convertido en un factor competitivo que logra marcar una diferencia entre organizaciones que compiten por un mercado, y es un mecanismo que facilita la utilización y explotación del gran potencial alcanzado por los elementos de hardware de hoy en día. Esto ha cambiado drásticamente el enfoque de la gestión, dado que el elemento principal de los costos es el software.

Desde hace varias décadas que en el campo de la ingeniería de software, en investigaciones y publicaciones diversas, se ha acuñado el término “la crisis del software” para denominar el hecho de los deficientes resultados que la industria del software ha obtenido como consecuencia del bajo nivel de calidad observado en los proyectos y productos de software. En contraposición, la industria del hardware, muy ligada a la industria del software, hace años que ha evolucionado mediante la reducción de costos y aumento de la confiabilidad y facilidad de uso de sus productos. [PRE1998].

Diversos estudios han sido realizados para buscar las principales causales de este fenómeno de falta de calidad en la industria, concluyendo en su mayoría, en que existe cierta ignorancia de técnicas que son relativamente estándares en otras industrias, o que conociéndolas incluso, y tomando en cuenta los malos resultados continúan siendo ignoradas por los ingenieros de software, dicho de otro modo el estado de la práctica es aún inmaduro.

En el ámbito internacional, el estudio “The Chaos Report” de la “Standish Group International, Inc.” [URL 1], que se realiza cada dos años desde 1994, en que se realizó por primera vez, es uno de los estudios más conocido. La figura 2-1 muestra un resumen de los resultados del estudio realizado el año 2003, donde se establece que de un total de 13.522 proyectos, sólo un tercio concluyen exitosamente. En un estudio similar, realizado por el “*European Software Institute*” (ESI) los resultados indican una realidad muy similar a la industria norteamericana [URL 2].

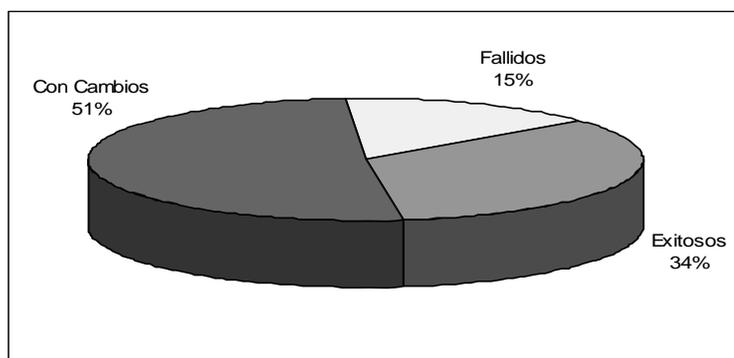


Figura 2-1: Resumen de Resultados obtenidos en el estudio “The Chaos Report” en el 2003¹.

Estudios de madurez efectuados por el SEI² y en Latinoamérica estudios realizados por la Universidad Técnica Federico Santa María [ZAV1998] donde evaluaron el uso de los procesos de “Documentación y Garantía de Calidad”, además de un estudio realizado entre noviembre de 1995 y febrero de 1998 por INTEC-CHILE³ [INT1998] (proyecto “Herramientas de Mejora de la Productividad para la Industria de Software en Chile” (HMS) financiado por FDI-CORFO) sobre seis organizaciones chilenas que desarrollan software (figura 2-2), usando CMM[®] como marco de referencia mediante evaluaciones S:PRIME, mostró que tanto en empresas grandes como pequeñas, los porcentajes de satisfacción de las diferentes áreas de prácticas del nivel 2 fueron prácticamente los mismos, y que las prácticas de Garantía de Calidad y Gestión de Configuración son bastante desconocidas por los ingenieros de software en Chile [GUE2001].

La inquietud de mejorar la calidad del desarrollo de software, en Chile no ha estado ausente, en los últimos años se han notado esfuerzos considerables por mejorar las prácticas del desarrollo de software. Este movimiento ha sido liderado por la Corporación de Investigación Tecnológica de Chile (INTEC) en un comienzo y por la red de mejoramiento del proceso de software, más conocida como SPIN-Chile (sigla derivada del nombre en inglés *Software Process Improvement Network*) desde su creación en 1995.

¹ El término “Con Cambios” en la figura, se refiere a proyectos que se terminaron, pero luego de ser cambiada su planificación inicial.

² Software Engineering Institute de la Universidad de Carnegie Mellon (CMU).

³ Corporación de Investigación Tecnológica de Chile

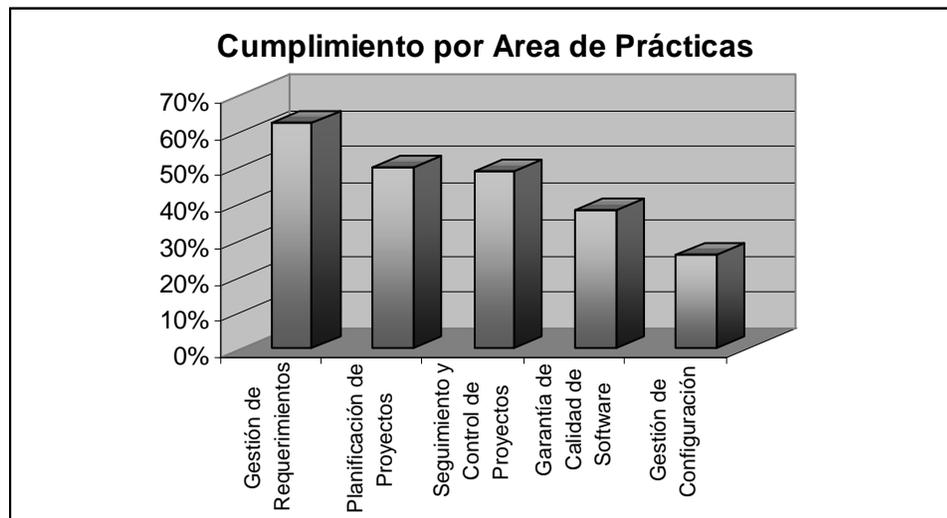


Figura 2-2: Resultados del estudio realizado por INTEC-CHILE sobre seis empresas en Chile.

En la figura 2-3, mediante un cronograma se muestra cual ha sido la evolución de las iniciativas de mejoramiento de la calidad del proceso de desarrollo de software en Chile.

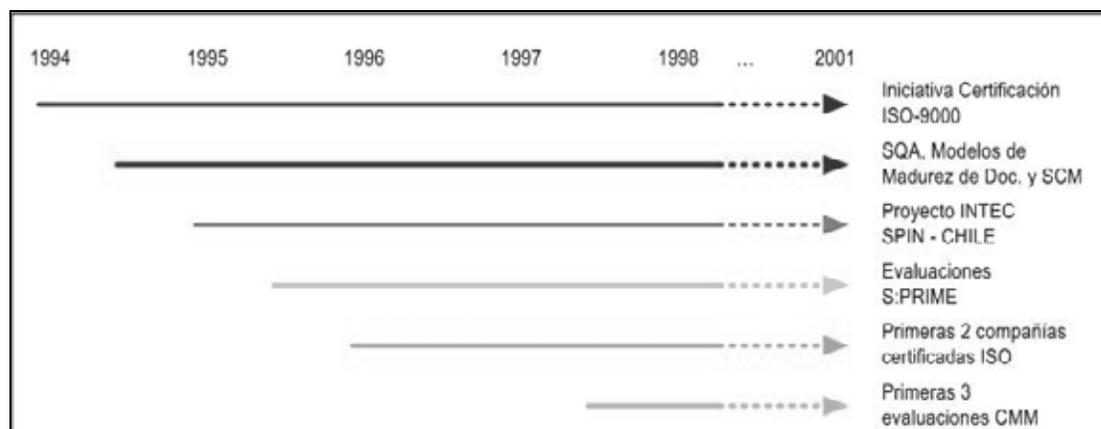


Figura 2-3: Cronograma Estado de la Práctica en Chile [ZAV1998]

Todo lo anterior ha generado el entendimiento de que la causa de la poca calidad de los productos entregados recae en la clara inmadurez de los procesos en las organizaciones desarrolladoras. Esto se fundamenta en uno de los principios básicos de la teoría del mejoramiento del proceso, que establece que la mejora de la calidad del producto se logra a través del mejoramiento del proceso de desarrollo.

Sin embargo, a pesar de que existe la conciencia de que es necesario un cambio, no hay una motivación real dado que el mercado, en su mayoría, no exige niveles mínimos de cumplimiento de las buenas prácticas de la ingeniería de software. Dicho de otro modo, el cliente no exige, ni está dispuesto a pagar por el costo de un desarrollo de mayor calidad. En el último tiempo, esta

situación ha comenzado a cambiar, aumentando la inquietud, de las organizaciones de software, por mejorar sus procesos de desarrollo; las organizaciones van tomando conciencia, que para mantenerse competitivamente en el mercado de desarrollo de software, deben demostrar ciertos niveles de calidad.

En resumen, el estado del arte ha sido muy discutido, y en general, se tiene claro cuales son los pasos a seguir. Se pueden identificar cuatro objetivos fundamentales en los que concentrar las mejoras [VIS1999].

- * Identificar y corregir los defectos tempranamente.
- * Planificar y seguir a un nivel cuantitativo (aumento de la visibilidad).
- * Minimizar el re-trabajo causado por cambios no controlados.
- * Hacer uso efectivo de los recursos profesionales.

Para lograr cada uno de estos objetivos, existen buenas prácticas de la ingeniería de software que permiten asegurar la mejora y madurez del proceso de desarrollo. Entonces, la estrategia más lógica para abordar el mejoramiento de los resultados obtenidos por la industria del software, es adoptar técnicas bien probadas de gestión, además de adaptar metodologías de otras disciplinas que han dado resultado.

2.2 Conceptos Teóricos sobre Calidad

Las últimas dos décadas se han caracterizado por la aparición de muchos paradigmas diferentes con el objeto de hacer el desarrollo de software más predecible y controlable, se han introducido métodos de ingeniería en el desarrollo de proyectos de software, como estándares de gestión de proyectos, control estadístico, sistemas de gestión de calidad, métodos de ingeniería de procesos, etc. que buscan cumplir con el objetivo de la ingeniería de software que es lograr un producto exitoso y asegurar la eficiencia del proceso de desarrollo y mantenimiento del producto. La ingeniería de software hace énfasis en que técnicas reproducibles y cuantificables otorgan la categoría de ciencia al desarrollo de software.

2.2.1 ¿Qué es la Calidad?

Desde la década del 90 se comenzó a escuchar la palabra calidad con mayor profundidad en todos los ámbitos de las actividades del ser humano como en la educación, la industria, los negocios, los productos, hasta ser una condición también del ser humano.

El software no escapa de esta tendencia, el problema radica en cómo definir y tratar la calidad en un elemento de origen abstracto, lógico e intangible, y donde este término se transforma en un concepto complejo y multifacético, que puede describirse desde diversas perspectivas.

Si a lo anterior le añadimos que la calidad en el producto de software y en los procesos de software, difieren pero son complementarias, la variabilidad de la calidad en el software se vuelve aún más compleja. Si bien en el primero es lo que percibe y evalúa el cliente, en el segundo es de vital importancia para la empresa que desarrolla el software, por ser el que aporta beneficios más directos. Aunque ya los clientes involucrados en grandes proyectos, evalúan los procesos de la empresa a contratar.

Características del producto que se ajustan a las necesidades del cliente	Ausencia de deficiencias
Calidad de nivel más alto permite a las empresas: Incrementar la satisfacción del cliente Hacer productos vendibles Responder a la competencia Incrementar la cuota de mercado Proporcionar ingresos de ventas Cobrar precios especiales.	Calidad de nivel más alto permite a las empresas: Reducir el promedio de errores Reducir la repetición de trabajos Reducir los fallos en operaciones, los cargos por garantías Reducir la inspección, las pruebas Acortar el tiempo de puesta de un producto en el mercado Incrementar rendimientos y capacidad Mejorar los resultados en las entregas
El mayor efecto está en las ventas (los ingresos).	El mayor efecto está en los costos.
Frecuentemente, la calidad de nivel más alto cuesta más.	Frecuentemente, la calidad de nivel más alto cuesta menos.

Tabla 2-1: Los significados de calidad [JUR1990]

Con respecto a la calidad de los productos de software, se va definir calidad en base a dos conceptos:

- * Conformidad entre las características del producto y las necesidades del cliente.
- * Ausencia de deficiencias, fallas o errores.

Constantemente se intenta unir ambos conceptos en una misma definición, pero esto sólo resulta en una mayor confusión, sin embargo ambos significados son de importancia crítica para la gestión de calidad. La tabla 2-1 resume estas dos definiciones, que en algunos textos se encuentran como definición de “calidad positiva” y “calidad negativa” (o No Calidad).

2.2.2 Gestión de la Calidad – La Trilogía de Juran

Para alcanzar la calidad, una organización debe comenzar por definir cual es su visión, así como su política y objetivos. La conversión de objetivos en resultados se logra por medio de los

procesos de gestión (secuencia de actividades que producen los resultados propuestos). La gestión de la Calidad se compone por tres procesos de gestión:

- * Planificación de la calidad.
- * Control de la calidad.
- * Mejora de la calidad.

Esto es lo que se conoce como la “Trilogía de Juran”, y tienen su base en los procesos utilizados hace años en la gestión de finanzas. La tabla 2-2, muestra la secuencia propia de actividades de estos tres procesos fundamentales.

Planificación de la Calidad	Control de la Calidad	Mejora de la Calidad
Establecer las metas de la calidad.	Evaluar el rendimiento actual.	Demostrar la necesidad.
Identificar quiénes son los clientes.	Comparar el rendimiento actual con las metas de la calidad.	Establecer la infraestructura.
Determinar las necesidades de los clientes.	Actuar sobre la diferencia.	Identificar los proyectos de mejora.
Desarrollar características del producto que respondan a las necesidades de los clientes.		Establecer los equipos de los proyectos.
Desarrollar procesos capaces de conseguir las características del producto.		Proporcionar a los equipos recursos, formación y motivación para: Diagnosticar las causas Impulsar las soluciones
Establecer controles de los procesos; transferir los planes a los equipos de operaciones.		Establecer controles para mantener las ventajas.

Tabla 2-2: Los tres procesos universales de la gestión de la calidad [JUR1989]

A partir del concepto de Gestión de Calidad, emergen otras herramientas que han surgido como respuesta a la evolución que ha ido teniendo la calidad a lo largo de la historia, es así como nace un concepto más amplio al de Gestión de Calidad, que se preocupa de servir a aquellos que no son responsables de dirigir directamente las operaciones pero que necesitan saber y que les aseguren que todo está siguiendo un curso normal, entonces el Aseguramiento de Calidad se orienta hacia quienes deben tomar decisiones.

En forma inmediata, en la evolución de la calidad, surge la necesidad de un cuarto tipo de gestión, menos tradicional conocida como Gestión de Procesos, y que surge en respuesta a la creciente comprensión de que muchos de los objetivos y metas del negocio de hoy se están haciendo más y más dependientes de procesos empresariales grandes, complejos y

multifuncionales. La gestión de procesos hace notar que existen varios procesos críticos que son cruciales para una organización si quiere mantener y aumentar su negocio.

2.2.3 Aseguramiento de Calidad del Software

El Aseguramiento de Calidad, más conocido por sus siglas SQA de su nombre en inglés *Software Quality Assurance*, es una disciplina de la ingeniería de software que se especializa en la aplicación de procesos de calidad a lo largo del proyecto de software. Algunos autores la denominan como “Gestión de Calidad”, sin embargo, el aseguramiento de calidad es un concepto más amplio al de gestión (como se ha descrito en el punto anterior).

El SQA es a menudo confundido con el término “Control de Calidad”, dado a una concepción errónea que aún persiste en la industria, limitando la acción al aseguramiento del producto. Sin embargo, la misión del SQA es más amplia, no se limita a las actividades de control, sino que además asume un rol de liderazgo en la gestión de calidad durante el proceso de desarrollo del software.

Una definición formal es la dada por la IEEE, quien define aseguramiento de calidad como: “(1) Un patrón planificado y sistemático de todas las acciones necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que un producto de trabajo de software está en conformidad a los requisitos técnicos establecidos. (2) un conjunto de actividades diseñadas para evaluar el proceso por el que se desarrollan y/o se mantienen productos de trabajo de software” [IEEE2002].

En resumen, el aseguramiento de calidad o garantía de calidad es una actividad de protección que se aplica a lo largo de todo el desarrollo, que tiene tres dimensiones:

- * (1) el sistema de calidad;
- * (2) la aplicación adecuada del proceso; y
- * (3) el aseguramiento de la calidad del producto.

Entre sus principales responsabilidades están: la gestión de los procesos de ingeniería de software, las iniciativas de mejoramiento de procesos en la organización, aplicación efectiva de métodos y herramientas, las revisiones formales, técnicas y estrategias de prueba, procedimientos de control de cambios, constatar adherencia a los estándares y mecanismos de medición e información.

El aseguramiento de calidad del software es la guía de las decisiones de gestión y es la medida de la madurez de los procesos de ingeniería de software [PRE1998].

Hasta este punto, todos los aspectos apuntan hacia la necesidad estratégica de una organización, de implantar prácticas de aseguramiento de calidad. Sin embargo, la dificultad comienza cuando se quiere escoger algún estándar, modelo, guía u otro, para encauzar las iniciativas de mejora en la propia organización. La figura 2-4, muestra un esquema de los principales conceptos que se manejan en la actualidad sobre mejoramiento de la calidad del desarrollo de software.

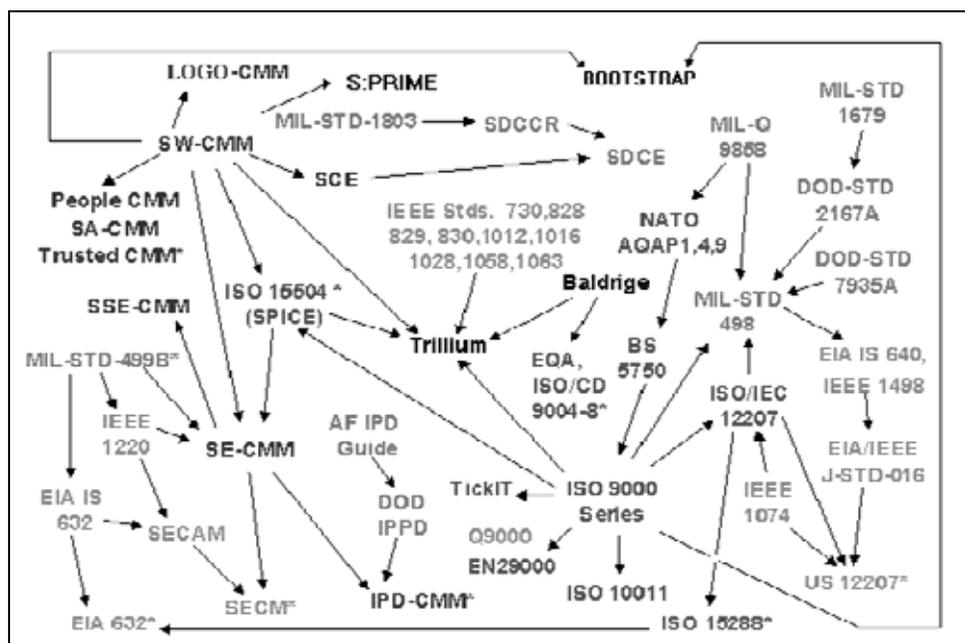


Figura 2-4: Principales Herramientas y Modelos de Mejoramiento en Ingeniería de Software.

El esquema anterior, a pesar de ser reciente, ya está poco actualizado con respecto a algunos estándares, pero sirve para reflejar la confusión que se genera al momento de seleccionar algún camino por donde iniciar la implantación de prácticas de mejora.

El aseguramiento de la calidad requiere de una fuerte inversión y comprende un proceso continuo para poder alcanzarlo. Si bien el esfuerzo inicial es considerable los beneficios que se pueden obtener puede ser varias veces mayor recuperando con creces lo invertido. El punto en contra, es que no resulta fácil discriminar entre las múltiples alternativas disponibles para guiar dicho mejoramiento y alcanzar los objetivos de calidad preestablecidos.

En esta investigación, se trabajó sobre tres modelos considerados de los más importantes. El primero es el estándar ISO 9000, el segundo, corresponde al Modelo de Madurez de

Capacidades, conocido por sus siglas CMM[®] (reemplazado por CMMI[®]), desarrollado por el Instituto de Ingeniería de Software (SEI) de la universidad de Carnegie Mellon; y el tercero, corresponde al Proceso Unificado de Rational, conocido con la sigla RUP, de su nombre en inglés Rational Unified Process.

2.3 Gestionar los Procesos de Desarrollo

2.3.1 Importancia del Proceso

Los principales determinantes de los costos, tiempos, productividad y calidad del software, están dados por tres factores críticos (figura 2-5): Personal, tecnología y proceso.

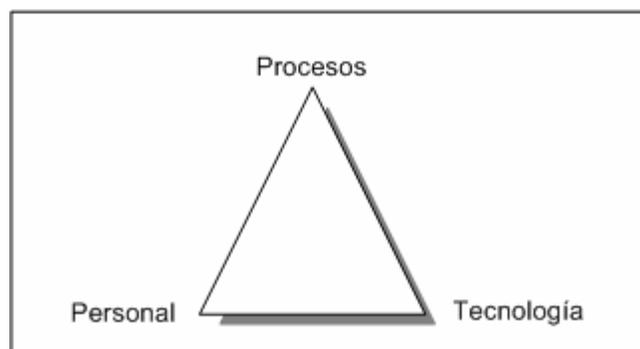


Figura 2-5: Los tres factores críticos del desarrollo de software.

Si bien, tanto los profesionales como la tecnología son factores que influyen directamente, son factores en los cuales es difícil influenciar, por ende, el factor crítico, el cual depende completamente de la organización, es el proceso.

“Después de dos décadas de promesas incumplidas de aplicar nuevas tecnologías y metodologías de software, las organizaciones se están dando cuenta que su problema fundamental es su falta de capacidad para gestionar el proceso de software” [HUM1987]. Este texto de Watts S. Humphrey, interpreta con claridad lo que ha sucedido en la industria del software. Mientras otras industrias, hace tiempo que adoptaron el enfoque propugnado por W. Edwards Deming, que da énfasis a las nociones de gestión y mejoramiento continuo del proceso, la industria del software recién ha caído en cuenta de que el principal problema de las deficiencias del software recae en que no existe un proceso formal.

El enfoque de Deming sostiene que para ser competitivo, mejorar la calidad, e incrementar la productividad, se requiere seguir las siguientes acciones:

[®] Capability Maturity Model, CMM y CMMI están registradas en la “U.S. Patent and Trademark Office”.

- * Enfocarse sobre el proceso que genera los productos y servicios para mejorar la calidad y productividad.
- * Garantizar que los procesos están apropiadamente soportados.
- * Interiorizar el concepto, de que una pobre gestión del comportamiento de los procesos resulta en una constante corrección de defectos o errores, y este resultado no es culpa de los profesionales.
- * Reconocer que la variación está presente en todos los procesos y que la existencia de variación es una oportunidad para el mejoramiento.
- * Tomar en cuenta la variación dentro del proceso de toma de decisiones.

Estos principios han sido la base para las investigaciones posteriores que han dado como resultado, que el proceso asuma un rol protagónico en las iniciativas de mejoramiento. Se puede decir que la calidad de un producto está determinada por la calidad del proceso que se usa para producirlo. Por ende, la tendencia actual es mejorar los procesos de software para asegurar la calidad de los productos de software.

Este vuelco de la industria hacia un enfoque orientado al proceso, tuvo como consecuencia la adopción del control estadístico de procesos.

2.3.2 Proceso de Software

Un proceso de software, puede definirse como la organización lógica de profesionales, herramientas y métodos, a actividades designadas a producir un resultado final específico [PAL1987]. La figura 2-6, muestra los componentes principales que definen un proceso de software.

Tomaremos la definición enunciada por Pall, dado que incluye los componentes del proceso dentro del concepto de proceso, lo cual es importante en el control estadístico de procesos para mejorar el rendimiento y capacidad del proceso; teniendo en cuenta que cuando ocurren variaciones se deben considerar a los profesionales, herramientas y procedimientos en el alcance de la investigación.



Figura 2-6: Componentes que definen un Proceso de Software.

Por proceso de software, entenderemos todos aquellos procesos organizacionales que estén directamente involucrados en el desarrollo y mantención de software.

Un proyecto de software es en sí mismo un proceso de software, sin embargo, el control estadístico apunta a descomponer al proyecto de software en procesos más pequeños y gestionar esos procesos.

2.3.3 Mejoramiento del Proceso de Software

El mejoramiento de los procesos de software o SPI (por su nombre en inglés *Software Process Improvement*) significa:

- * Definir los procesos correctos, preferiblemente, mediante el uso de un modelo y otras variables.
- * Seguir estos procesos y refinarlos hasta lograr operaciones efectivas y eficientes, y
- * Continuar observando las áreas de mejoramiento como parte del negocio.

Las empresas de desarrollo tecnológico que desean mejorar sus procesos de software olvidan que la calidad siempre va asociada a una disminución de los costos. Al pretender mejorar los procesos de software se está realizando una inversión y no un gasto, lamentablemente muchas empresas no justifican correctamente la inversión, quedando el gasto como evidencia y la duda reinante de implementar un modelo de calidad.

Existen diversos paradigmas relacionados al mejoramiento del proceso, uno de los que juega un rol importante definiendo el mejoramiento de proceso de software en organizaciones en la

industria es el CMM®. La figura 2-7, muestra las dimensiones del mejoramiento del proceso, desde el punto de vista de CMM® [HUM2001].

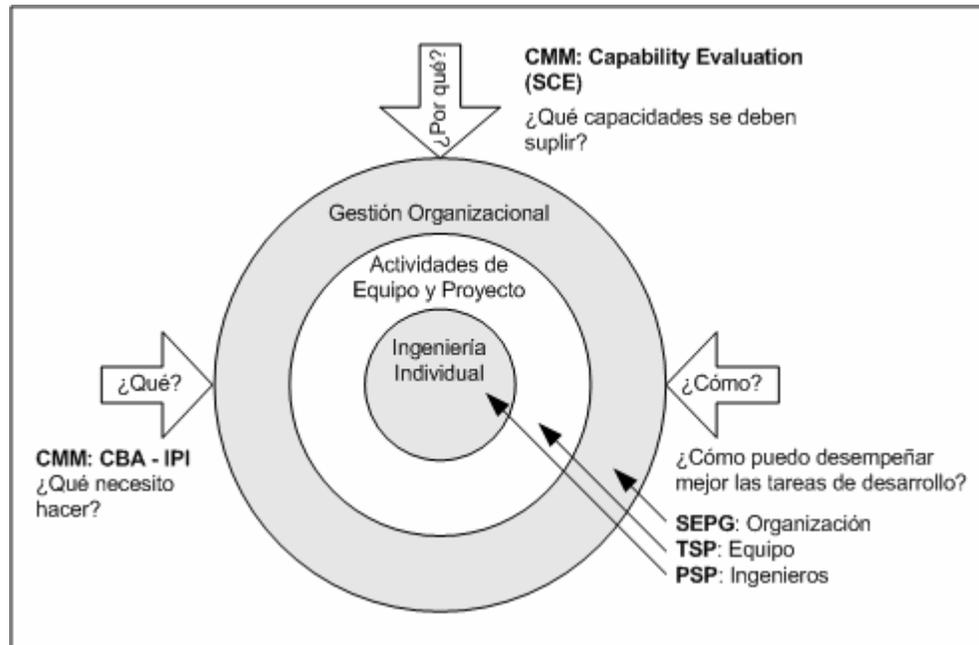


Figura 2-7: Dimensiones del Mejoramiento del Proceso en CMM.

El mejoramiento de los procesos de software en la presente década, no es, únicamente, un elemento estratégico y diferenciador de una organización, sino que es *la subsistencia en el mercado*.

2.3.4 Gestión del Proceso de Software

La gestión del proceso de software será entendida como la gestión exitosa de los procesos asociados al desarrollo, mantención y soporte de productos o sistemas de software. Donde gestión exitosa se refiere a que los productos y servicios resultantes del proceso satisfacen completamente los requerimientos del cliente y los objetivos de negocio de la organización que los produce. Desde el punto de vista organizacional, el objetivo es asegurar los mismos resultados para cada proceso dentro de la organización.

El concepto de gestión de procesos está basado sobre los principios de control estadístico de procesos, los cuales sostienen que mediante el establecimiento y sustentamiento de niveles de variabilidad estable, los procesos obtienen resultados predecibles, y sólo entonces se puede decir que un proceso está bajo control estadístico.

Un proceso controlado permite confeccionar planes realizables, reunir los costos estimados y las fechas comprometidas, y entregar un producto con funcionalidad y calidad con una consistencia razonable y aceptable. Si un proceso controlado no es capaz de cumplir con los

requerimientos del cliente u otros objetivos de negocio, el proceso debe ser perfeccionado o redefinido.

Se identifican cuatro responsabilidades claves de la gestión del proceso de software, a través de estas se ve la relación que existe entre la gestión del proceso y la medición del rendimiento del proceso. Las cuatro responsabilidades que son el centro de la gestión del proceso son las siguientes:

- * Definir el proceso: consiste en la creación de un entorno disciplinado y estructurado requerido para controlar y mejorar el proceso. Esta responsabilidad clave de la gestión, incluye la definición de las responsabilidades inherentes para implementar y sostener el proceso.
- * Medir el proceso: las mediciones son la base para detectar desviaciones del rendimiento aceptable. Las mediciones son también la base para identificar las oportunidades para mejorar el proceso.
- * Controlar el proceso: significa mantener el proceso dentro de los límites normales de rendimiento, esto es, hacer que el proceso sea consistente, dado que al asegurar que la variación es estable se puede decir que los resultados son predecibles.
- * Mejorar el proceso: los procesos deben ser mejorados mediante cambios que mejoren sus capacidades existentes o reemplazando subprocesos existentes con otros que sean más efectivos o más eficientes, para lograr los objetivos definidos.

Estas responsabilidades son análogas al ciclo de mejoramiento continuo de Shewhart's, popularizado por Deming [WAL1986], y caracterizado como "Plan, Do, Check, Act" (PDCA). Este ciclo corresponde a un ciclo de aprendizaje iterativo, lo cual permite mejorar el proceso por medio de la comprensión, evaluación y el trabajo de modelado del mejoramiento, para reducir la variación del proceso.

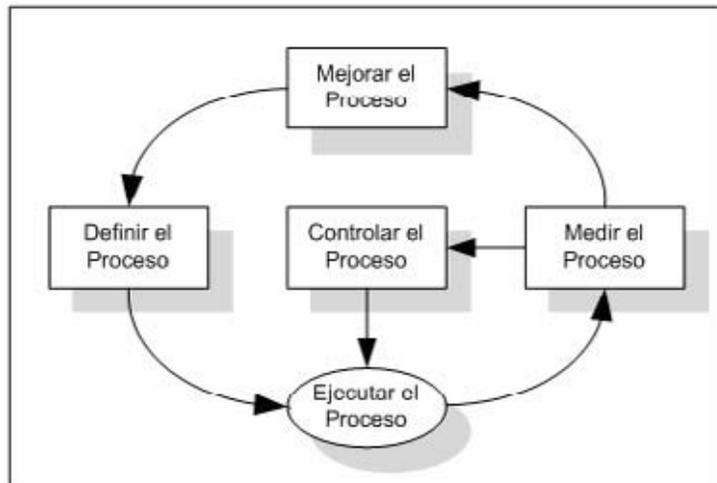


Figura 2-8: Las Actividades Claves de la Gestión de Procesos de Software.

La figura 2-8, muestra como se relacionan estas cuatro tareas claves de la gestión del proceso de software. La ejecución del proceso de software es representada con una figura diferente porque no es responsabilidad de la gestión del proceso. Más bien, es una responsabilidad de la gestión del proyecto, que es responsable por velar que el resultado del proyecto sea desarrollado de acuerdo a un plan y que ese plan sea factible. Según lo anterior, el objetivo principal de la gestión de proyectos es cumplir con los compromisos con respecto a costos, tiempos y calidad; los cuales no pueden ser cubiertos sin el soporte de la gestión de procesos, ya que se caería en riesgos significativos.

3. CONCEPTOS Y PRÁCTICAS CLAVE DE LA MEDICION DE SOFTWARE

La medición del proceso de software ha pasado a ser una práctica clave dentro de la disciplina de la ingeniería de software. Hasta hace algunos años, la medición era un factor adicional, hoy en día es una práctica básica, y sobre todo una práctica esencial para el mejoramiento de los procesos, tanto así, que los principales estándares de la industria la han incluido como práctica clave, de modo de evidenciar tempranamente potenciales problemas en los procesos de desarrollo.

La razón que justifica la necesidad de medir el software, corresponde a que el software se ha convertido en un factor estratégico, en términos de inversión y estrategias de negocio, para mantenerse competitivo en el mercado, dado el rápido cambio en las tecnologías de información. El incremento de la inversión en el software da origen a la necesidad de una estimación y gestión más objetiva de los proyectos de software. Una buena gestión de los procesos implica el mejoramiento de los mismos.

Las organizaciones maduras, diseñan sus procesos técnicos y de gestión bajo la base de utilizar los datos medidos en forma objetiva, por medio de análisis que soporten la toma de decisiones en términos de corto y largo alcance. La medición es implementada como una disciplina pro-activa (previsora), y la información derivada es considerada como un recurso estratégico, ubicando a la medición como un discriminador organizacional. Estas organizaciones, pueden ser caracterizadas como [MCG2001]:

- * La información exacta y objetiva está disponible para todos los responsables de tomar decisiones, y su uso es una parte integral de la cultura corporativa.
- * Las perspectivas de negocio y técnicas pasadas, presentes y futuras, son tomadas en cuenta para ayudar a definir los objetivos del proyecto y sus expectativas de desempeño.
- * Los procesos y procedimientos organizacionales están diseñados para identificar, caracterizar y manejar el cambio. El negociar los cambios es parte de como la organización realiza su trabajo.
- * Tanto las buenas como las malas noticias son comunicadas públicamente dentro de la organización. Los factores de éxito o metas son identificados y conducidos abiertamente.
- * Existe una inclinación cultural para la toma de decisiones informada que guía las acciones e inversiones de mejoramiento de los procesos.

- * La información objetiva soporta la adaptación corporativa dentro del mercado, y permite a la organización optimizarse dentro de las restricciones de su negocio.

Dentro de este contexto, la medición se ha ido convirtiendo en un proceso crítico sobre el cual se basa la gestión de los procesos de software, dando origen al mejoramiento de los procesos productivos.

Se pueden enumerar a lo menos cuatro razones que fundamentan la medición de procesos, productos y recursos [PAR1996]:

- * Caracterizar, para ganar entendimiento o conocimiento de los procesos, productos, recursos y entornos, y así establecer líneas base para comparaciones con futuras evaluaciones o estimaciones.
- * Evaluar, para determinar el estado con respecto a los planes. Las medidas son sensores que permiten conocer cuando los proyectos y procesos están yendo a la deriva con respecto a la pista planificada, de este modo se pueden ejecutar acciones que permitan encausar nuevamente el proyecto o proceso que no esté bajo control.
- * Predecir, permite efectuar las planificaciones. La medición para realizar predicción involucra ganar entendimiento de las relaciones existentes entre los procesos y productos y los modelos de construcción de estas relaciones, de este modo los valores observados de algunos atributos pueden ser utilizados para predecir otros.
- * Mejorar, por medio de la obtención de información cuantitativa que ayuda a la identificación de ineficiencias y otras oportunidades para mejorar la calidad del producto y rendimiento del proceso. Las medidas también ayudan a planificar y seguir los esfuerzos de mejoramiento. Medir el rendimiento actual de un proceso estructura una base de comparación, que permite juzgar si las acciones de mejoramiento están bien orientadas y están siendo efectivas. Además, ayudan a efectuar la comunicación de las metas y el estado de las acciones de mejoramiento hacia toda la organización, aumentando el compromiso, que es pieza clave para el éxito de un plan de mejoramiento.

La principal regla con respecto de la medición de software es:

Entender que la medición de software es un medio para un fin, y no un fin en sí misma.

Un programa de medición sin un claro propósito, acabará en frustración, pérdida, molestia y confusión. Para ser exitoso, un programa de medición debe ser visto como una herramienta en la búsqueda de mejorar la ingeniería de software [PAJ1995].

Como cualquier herramienta, la medición no garantiza que el proceso sea exitoso, sin embargo, ayuda al profesional responsable de las decisiones, a seguir una estrategia previsoras en el tratamiento de factores críticos inherentes a los procesos de software, y a lograr un buen desempeño, y por ende, el éxito.

Existen diversas iniciativas de gestión cuantitativa, en base a la investigación realizada se destacan las siguientes:

- * Six Sigma, basada sobre el control estadístico de los procesos, mediante el estudio de las variaciones de los procesos, que estadísticamente se conoce como desviación estándar, la cual se representa por la letra griega sigma (σ), desde donde se deriva su nombre, estableciendo procesos seis sigma. Este nivel de calidad se aproxima al ideal del cero-defectos y puede ser aplicado no solo a procesos industriales de manufactura, sino también en procesos transaccionales y comerciales de cualquier tipo, como por ejemplo: en servicios financieros, logísticos, mercantiles, etc. [SIV2001].
- * SQUID, herramienta que surge como parte del programa europeo de investigación ESPRIT, y que permite supervisar, controlar y predecir la calidad de los productos con el uso de mediciones objetivas, orientadas a lograr y mantener la certificación ISO.
- * La Guía "Practical Software Measurement" (PSM), proyecto conducido por el departamento de defensa norteamericano, cuyo propósito es desarrollar prácticas de medición efectivas que guíen las necesidades de información de gestión y técnicas; y la evolución a un enfoque de medición integral, de uso general, que logre el mejoramiento del desempeño. que se basa en el estudio de las mejores prácticas . Inicialmente se enfocó sobre la gestión del proyecto de software, y ha ido incorporando diferentes niveles a lo largo del proyecto, que está evolucionando constantemente [MCG2003].

3.1 Disciplinas de Gestión Cuantitativa

Si bien, la medición corresponde a una disciplina importante, no reemplaza otras técnicas y prácticas de gestión. Más aún, la medición no resulta efectiva si es implementada como un proceso independiente. La medición es una disciplina de soporte que ayuda al encargado del proyecto a adquirir la comprensión necesaria para tomar las decisiones técnicas y de gestión. La medición trabaja mejor cuando se integra con otras disciplinas de gestión como la gestión de riesgos y la gestión de rendimiento financiero. En conjunto, estas disciplinas de gestión cuantitativas habilitan al responsable del proyecto para identificar y priorizar las dificultades

claves, seguir su resolución, y gestionar la asignación de recursos para optimizar los costos, tiempos y desempeño técnico del proyecto.

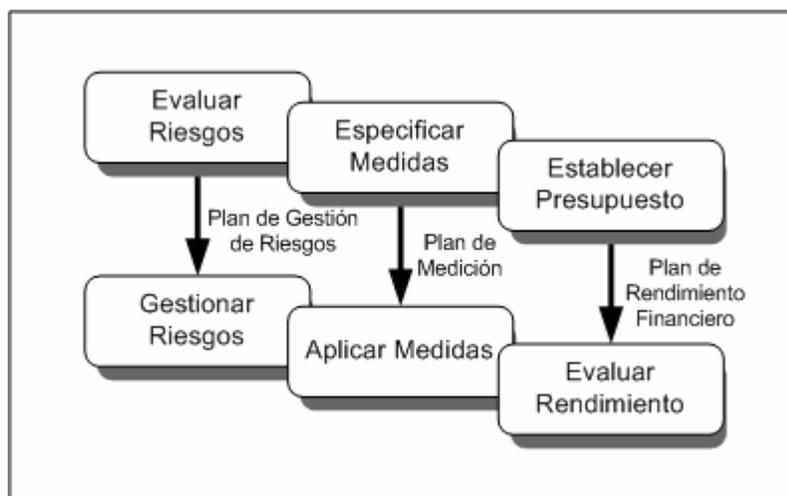


Figura 3-1: Disciplinas de Gestión Cuantitativa

En la figura 3-1, se puede observar que las tres disciplinas presentan actividades paralelas que definen expectativas e inquietudes, establecen el plan asociado al proyecto, y proveen la información necesaria e información de retorno (feedback). A pesar de que estas disciplinas pueden implementarse independientemente, un enfoque integrado produce un mayor valor. El análisis de riesgos ayuda identificar y priorizar las inquietudes de la ingeniería de software y sistemas que el proceso de medición podría monitorear. El proceso de medición ayuda a cuantificar la probabilidad e impacto de los riesgos. El proceso de medición también provee una base objetiva para describir el rendimiento financiero, utilizando técnicas como valor devengado o contabilidad analítica basada en actividades. El administrador del proyecto debe considerar los riesgos, los resultados de medición y el rendimiento financiero, a la hora de tomar decisiones. En conjunto, estas tres disciplinas de gestión cuantitativa complementan las técnicas y prácticas tradicionales de gestión.

3.2 Relación entre Gestión del Proyecto y Gestión del Proceso

En el capítulo dos mencionamos el rol de la gestión del proceso de software. Ahora extenderemos esa descripción, indicando las relaciones existentes entre la gestión del proceso de software y la gestión del proyecto. La figura 3-2, ilustra las relaciones entre las responsabilidades de ambos procesos de gestión e indica como las actividades de medición se relacionan con estas responsabilidades.

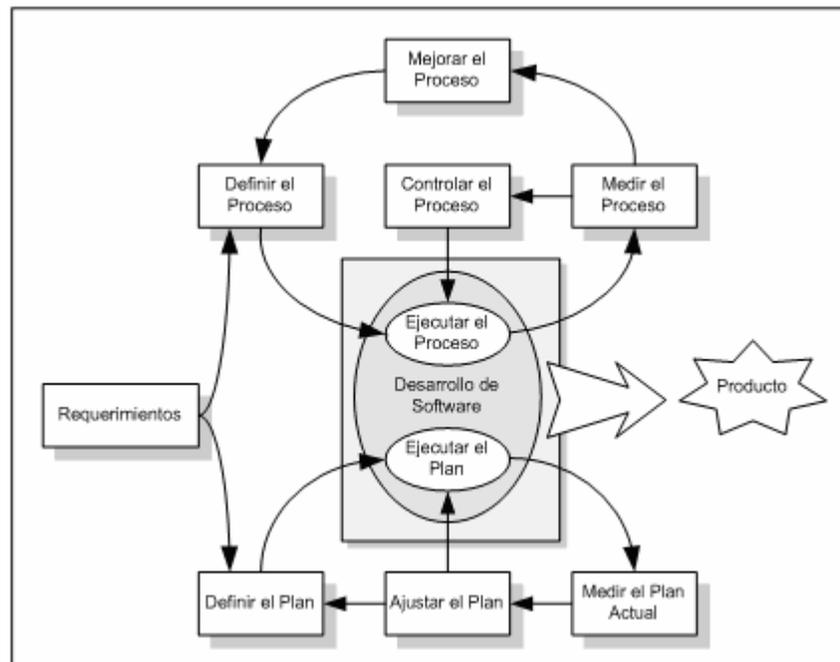


Figura 3-2: Relaciones entre la Gestión del Proceso y la Gestión del Proyecto.

Como indica la figura 3-2, un equipo de proyecto de software desarrolla productos basados en tres ingredientes principales: requerimientos del producto, un plan de proyecto, y un proceso definido de software. Dado esto, el jefe de proyecto utiliza los datos de la medición, originados por sus necesidades, para [JLC1996]:

- * Identificar y especificar los requerimientos
- * Definir un plan que permita alcanzar los objetivos
- * Implementar el plan
- * Seguir el estado y progreso del trabajo desarrollado con respecto a las metas especificadas en la planificación del proyecto

La gestión del proceso, por otro lado, usa la misma información de medición para controlar y mejorar el proceso de software mismo. Esto significa que las organizaciones pueden usar un marco de trabajo común para establecer y mantener las actividades de medición que proveen de información para ambas funciones de gestión.

Ya se ha descrito la fuerte relación existente entre las prácticas de medición y el desempeño organizacional, ahora para implementar dichas prácticas de medición, la clave del cambio es hacerlo de un modo en que el impacto sea lo más positivo para cada proyecto dentro de la organización. La base de cualquier programa organizacional de medición debe ser establecida a nivel del proyecto [FLO1997].

La razón más lógica de basarse en el proyecto, está dada por que el desempeño de una organización de software está basado, fundamentalmente, en el éxito de sus proyectos de software. Para esto, los jefes de proyecto y administradores técnicos deben tomar decisiones críticas relacionadas a recursos, tiempos y capacidades funcionales del proyecto en forma continua. Estas decisiones deben dar como resultado una optimización del negocio y del desempeño técnico del producto de software dentro de las restricciones organizacionales y las impuestas por el mercado. Generalmente el jefe de proyecto debe guiar el proyecto hacia el logro de los objetivos planificados, considerando no salirse de las restricciones establecidas [PMI2004].

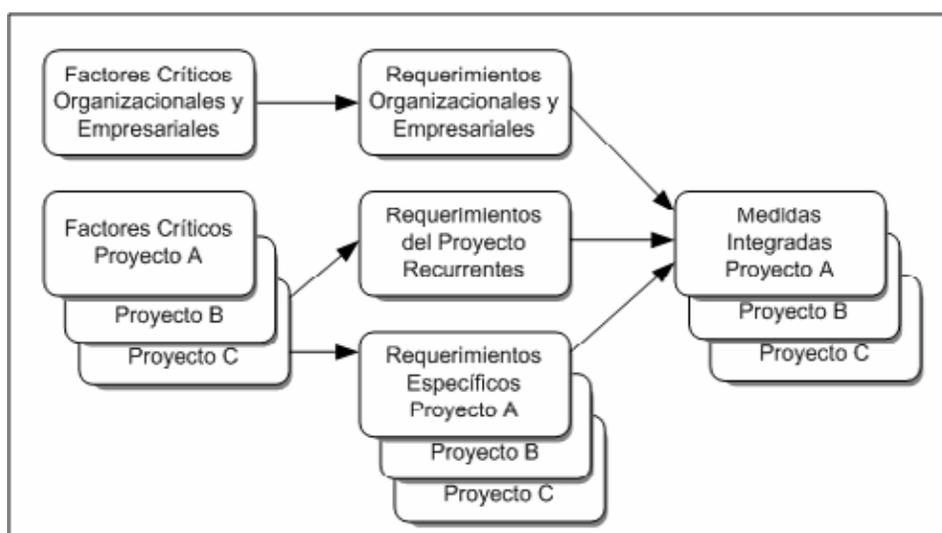


Figura 3-3: Medición a través de múltiples proyectos en la organización

El nivel de proyecto es el nivel inicial para la implementación de la medición dentro de una organización, en este nivel está la información válida necesaria para los altos niveles de gestión organizacional. La medición de software organizacional puede ser vista como la medición a través de muchos proyectos, combinando válidamente los datos medidos generados por cada proyecto y utilizando diferentes técnicas de análisis para satisfacer las diferentes necesidades de información [MCG1998]. La figura 3-3, esquematiza este concepto, y representa como desde el nivel de proyecto puede abarcarse el nivel organizacional, por medio del análisis de datos cruzados a través de múltiples proyectos. Adicionalmente, a los requerimientos particulares de cada proyecto, se puede observar que existen requerimientos de medición organizacionales, y existe un subconjunto de factores que es común a todos los proyectos de una organización, cuyos requerimientos de medición pueden ser estandarizados.

Esta combinación de factores críticos y objetivos estratégicos de proyecto forman la base de un conjunto de medición empresarial para varios niveles y funciones organizacionales. Estas

medidas deben ser utilizadas para seguir las iniciativas estratégicas, establecer un programa de gestión cuantitativa, o calibrar modelos predictivos.

Sobre la base de este contexto, es que en la investigación se consideró trabajar en un plan de medición común a toda la organización. Adoptar un conjunto de medidas comunes usualmente significa que las herramientas y otros recursos son compartidos a través de múltiples proyectos. A conjunto de medidas comunes tiene sentido para un grupo de proyectos que comparten las siguientes características:

- * Similares factores críticos de software y sistema.
- * Procesos comunes del ciclo de vida (estándares, prácticas).
- * Tecnología estable y compartida (lenguajes, herramientas, plataforma).
- * Similar dominio de aplicación.

La imposición de un conjunto de medidas estándar en situaciones donde estas condiciones no son satisfechas puede sobrecargar a los proyectos individuales con requerimientos de medición innecesarios mientras ocurre una pérdida de factores importantes del proyecto que podrían ser monitoreados.

Aún si los procesos y tecnologías son diferentes, la definición de ítems de datos estándar como reporte y horas de esfuerzo de corrección de defectos pueden incrementar la coincidencia. Mientras que cada proyecto puede definir diferentes formas de categorizar el propósito de seguimiento de reportes de error y horas utilizadas, al final los totales pueden ser comparables.

3.3 Integración del Proceso de Medición a la Gestión del Proceso de Software

La figura 3-4 extiende la definición de las responsabilidades dadas para la gestión del proceso en el capítulo dos, y su relación con las actividades de planificación y de aplicación del proceso de medición.

Previo a la selección e implementación de mediciones, cada elemento participante del proceso debe ser identificado, y por medio del entendimiento de la operación del proceso, determinar los objetivos que deben ser logrados por estos elementos participantes de la gestión del proceso; dicho de otro modo se efectúa la definición del proceso.

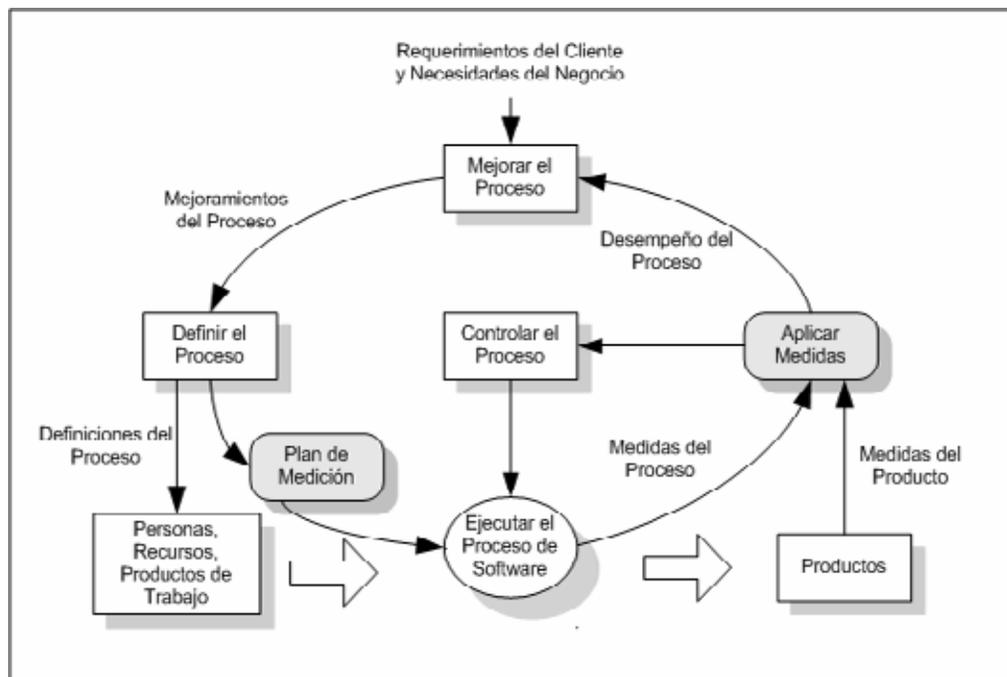


Figura 3-4: Actividades de Medición y Responsabilidades Claves de la Gestión del Proceso.

La planificación de la medición está basada sobre el entendimiento de la definición del proceso de software. En este punto, los factores críticos y atributos del producto, proceso y recursos relacionados son identificados; se seleccionan y definen las medidas de calidad del producto y del proceso; y se especifica el modo en que se recolectarán y utilizarán los datos, como serán analizados y como se integrará el seguimiento del progreso del desempeño al proceso de software.

Los diferentes procesos involucrados son ejecutados por la organización. Aquellos atributos del producto, proceso y recursos que fueron identificados, son medidos durante la ejecución de cada proceso de software.

Los datos obtenidos del producto y del proceso de software son recolectados, ponderados y analizados de modo tal que puedan ser utilizados para controlar y mejorar el proceso; lo cual corresponde a la ejecución de la medición.

Si las mediciones del producto o de los atributos de desempeño, muestran que el proceso varía de una manera impredecible o inesperada, establece que se deben tomar acciones para corregir las causas identificadas, para estabilizar la variabilidad, y retornar el proceso a su nivel de desempeño normal.

Una vez que la medición indica que toda variación en un proceso son causadas por cambios constantes en el sistema, o dicho de otro modo, que toda variabilidad proviene de causas inherentes o naturales, entonces los datos de desempeño del proceso podrán ser utilizados para tomar acciones

que cambien el nivel de desempeño. Las acciones de mejoramiento, que sean tomadas, serán subsecuentemente validadas por mediciones que serán usadas para actualizar y hacer evolucionar la definición del proceso.

3.4 Perspectivas de la Medición de Software

En este punto, se describirán las cinco perspectivas que son centrales al proceso de medición:

- * Desempeño
- * Estabilidad
- * Conformidad
- * Capacidad
- * Mejoramiento e inversión

Estas perspectivas serán analizadas en el contexto de las responsabilidades y objetivos de la gestión del proceso. Esta descripción prepara las bases para los conceptos que se desarrollarán en los capítulos siguientes, donde se describirán las actividades de medición de planificación y aplicación de los resultados obtenidos para gestionar y mejorar el rendimiento del proceso de software.

En el capítulo anterior, se describieron las cuatro responsabilidades principales de la gestión del proceso – definir, medir, controlar y mejorar. Si bien, la descripción dada implicó una secuencia de responsabilidades, para examinar los factores críticos de un proceso, la atención se centrará en la actividad de control del proceso, lo cual será útil para describir las perspectivas del proceso de medición en forma rápida.

Controlar un proceso significa hacer que se comporte del modo que se desea. El control habilita a las organizaciones para realizar dos cosas: predecir los resultados y producir productos que reúnan las características requeridas por el cliente. Por medio del control, es posible comprometer fechas de cuando los productos serán entregados y mantener esos compromisos.

El control de un proceso es esencial para desarrollar productos que el cliente pueda costear y pueda beneficiarse con estos. En otro aspecto, controlar es central para alcanzar las metas y objetivos de negocio que hacen exitosa a una organización de software.

El primer paso para controlar un proceso es encontrar que es lo que está haciendo el proceso actualmente. Todos los procesos están diseñados para producir resultados. Los productos y servicios que ellos realizan y el modo en que los producen son atributos medibles que pueden ser considerados para describir la calidad, costos y planificación de los resultados producidos. Si se

conocen los valores de estos atributos actuales, y si el proceso no está acorde a la calidad que se desea, se puede tomar como punto de partida para introducir y validar ajustes y mejoramientos.

Las perspectivas de medición presentan una alta cohesión entre ellas, dado que a partir de una surge la necesidad de las otras. Previo a describir cada perspectiva, detallaremos como va surgiendo la necesidad de cada una de ellas.

La primera preocupación cuando medimos la gestión y mejoramiento del proceso es entender el desempeño actual del proceso que se está utilizando. Conocer cómo un proceso se desempeña permite evaluar la repetición del proceso y si está o no consiguiendo establecer las necesidades externas e internas. Se debe notar que se dice “Cómo” y no “Cómo de bien”. Cuando se mide el desempeño de un proceso, el propósito no es hacer juicio, es simplemente obtener los hechos. Una vez que se conocen los hechos y se conocen los niveles y variabilidades actuales de los valores que son medidos, se puede proceder a evaluar la información desde otras perspectivas.

- * **Desempeño** - ¿Qué está produciendo el proceso con respecto de los atributos medibles de calidad, funcionalidad, costo y tiempo?

Medir el desempeño del proceso cuantifica y hace visible la habilidad de un proceso para entregar productos con las características, tiempos y costos que los clientes y el negocio requieren. Cuando la medición del desempeño del proceso varía erráticamente e impredeciblemente en el tiempo, el proceso no está controlado. Para alcanzar el control, se debe asegurar primero que se tiene un proceso cuya variabilidad es estable, puesto que sin estabilidad no se pueden predecir resultados. Entonces el siguiente punto que concierne conocer corresponde a la estabilidad del proceso.

- * **Estabilidad** - ¿El proceso que se está gestionando, se comporta previsiblemente?

Si el desempeño del proceso es errático e impredecible, se deben tomar las acciones necesarias para estabilizar dicho proceso. La estabilidad de un proceso depende de sostener una fiel operación del proceso. Para conocer como se está ejecutando el proceso se necesita conocer la conformidad del proceso con respecto de su definición.

- * **Conformidad** - ¿Están suficientemente soportados los procesos? ¿Están siendo fielmente ejecutados? ¿Es capaz la organización de ejecutar el proceso?

Tener un proceso estable y conforme no significa que el desempeño del proceso sea satisfactorio. El proceso además debe ser capaz, lo que implica que las variaciones en las

características del producto y el desempeño operacional del proceso, cuando son medidas a tiempo, están dentro de los rangos requeridos para el éxito del negocio.

- * **Capacidad** - ¿Es el proceso capaz de entregar productos que reúnan los requerimientos? ¿El desempeño del proceso resuelve las necesidades de negocio de la organización?

Si un proceso de software no es capaz de resolver consistentemente los requerimientos del producto y las necesidades del negocio, las personas en la organización se verán enfrentadas con la necesidad continua de mejorar el desempeño del proceso. El entendimiento de las capacidades de los subprocessos que conforman cada proceso de software es el primer paso para avanzar hacia el mejoramiento del proceso.

- * **Mejoramiento** - ¿Qué se puede hacer para mejorar el desempeño del proceso? ¿Qué permitiría reducir la variabilidad? ¿Qué permitiría mover el medio a un nivel más rentable? ¿Cómo saber que los cambios introducidos están siendo efectivos?

3.4.1 Desempeño

¿Qué se entiende por desempeño del proceso? El desempeño del proceso se refiere a los valores característicos observados cuando se miden los atributos de los productos y servicios que provienen de un proceso. Se puede describir de dos maneras: por la medición de los atributos de los productos que el proceso produce y por la medición de los atributos del proceso mismo. La historia de estos valores describe como el proceso se ha desempeñado en el pasado. Bajo las condiciones correctas, la historia otorga puntos de referencia para formarse un juicio acerca de lo que el proceso está haciendo actualmente y lo que podrá quizá hacer en el futuro.

La clave de la medición del desempeño del proceso es seleccionar atributos y medidas que sean relevantes al proceso en particular y característicos del caso en estudio. Para esto se seleccionan medidas que no sólo reflejen el propósito entendido por el proceso, sino que adicionalmente se orienten a los factores críticos a ser considerados.

Para medir el desempeño del proceso, se miden tantos atributos de desempeño del proceso y calidad del producto como se necesiten, y se hacen las mediciones en diferentes puntos del tiempo para obtener registros secuenciales de su comportamiento. Estos registros secuenciales

son la base para establecer el control estadístico y, consecuentemente, para evaluar la estabilidad y capacidad del proceso.

Las selecciones de los atributos a ser medidos cambiarán de proceso a proceso y de caso a caso. En este punto es donde el conocimiento de los procesos organizacionales entra en juego. Para que los datos de desempeño estén bien definidos deben satisfacer tres criterios [FLO1997]:

- * Comunicación. ¿Los métodos utilizados para definir las medidas o describir los valores medidos permiten a otros conocer con precisión que está siendo medido y que ha sido incluido o excluido, por añadidura, de los resultados? ¿Más aún, cada usuario de los datos conoce como se han recolectado los datos, así como ellos pueden interpretar los resultados correctamente?
- * Repetición. ¿Podría alguien ser capaz de repetir las mediciones y obtener los mismos resultados?
- * Trazabilidad. ¿Está el origen de los datos identificado en términos de tiempo, secuencia, actividad, producto, estado, ámbito, herramientas utilizadas para la medición, y agentes recolectores?

La trazabilidad es especialmente importante para evaluar y mejorar el desempeño del proceso. Porque las medidas de desempeño pueden ser señal de inestabilidades en el proceso, esta es la importancia que el contexto y circunstancias de la medición sean registradas y guardadas. Esto permitirá ayudar a identificar las causas asignables de estas inestabilidades. La información contextual, junto con los datos recolectados de las medidas de conformidad del proceso, ayudarán a identificar estas causales.

Wheeler y Chambers, en su libro "Understanding Statistical Process Control", describen la necesidad de la información contextual [WHE1992]. Ellos dan ejemplos de tipos de preguntas que deben ser resueltas si los datos de desempeño están siendo correctamente interpretados. Algunas de estas preguntas son:

- * ¿Qué representan los datos individualmente? ¿Qué son estos números?
- * ¿Cómo son obtenidos estos valores? ¿Quién los obtiene? ¿Cuán a menudo? ¿En qué punto? ¿Por qué método? ¿Con qué instrumento?
- * ¿Qué fuentes de variación están presentes en estos datos?

- * ¿Cómo están organizados estos datos en subgrupos? ¿Cuáles fuentes de variación ocurren dentro de estos subgrupos? ¿Cuáles fuentes de variación ocurren entre estos subgrupos?
- * ¿Cómo deberían comportarse estos datos? ¿Los valores observados están dentro de las barreras esperadas?

Cuando se recolectan medidas del producto y proceso, siempre se debería orientar para resolver este tipo de preguntas. Las respuestas ayudarán a encontrar las causas asignables de variaciones encontradas.

3.4.2 Estabilidad

La estabilidad del proceso es considerada por muchos como el núcleo de la gestión del proceso. Para toda organización es central la habilidad para construir productos de acuerdo a un plan y para mejorar sus procesos de manera de producir cada vez productos mejores y más competitivos.

¿Qué se entiende por estabilidad? Para dar una buena respuesta a esta pregunta, primero se debe comprender que la mayoría de las características de los procesos y productos demuestran una variación cuando son medidas a lo largo del tiempo. Esta variación tiene dos orígenes:

- * Fenómenos que son naturales e inherentes a los procesos y que resultan ser comunes a todas las mediciones de un atributo.
- * Variaciones que tienen causas asignables que podrían haberse prevenido.

Entonces, en términos de ecuación, el concepto es:

$$[Variación Total] = [Causas comunes de Variación] + [Causas asignables de Variación]$$

Las causas comunes de variación corresponden a la variación normal del proceso. Esta existe por las interacciones normales entre los componentes del proceso (personas, máquinas, materiales, ámbito y métodos). Las causas comunes de variación son caracterizadas por un patrón estable y consistente a lo largo del tiempo, como se ilustra en la figura 3-5. Los resultados de las causas comunes de variación son de manera aleatoria, pero varían dentro de límites predecibles. Cuando un proceso es estable, las variaciones aleatorias que se observan provienen de un sistema constante de causas fortuitas. La variación es predecible, y los resultados inesperados son extremadamente raros.

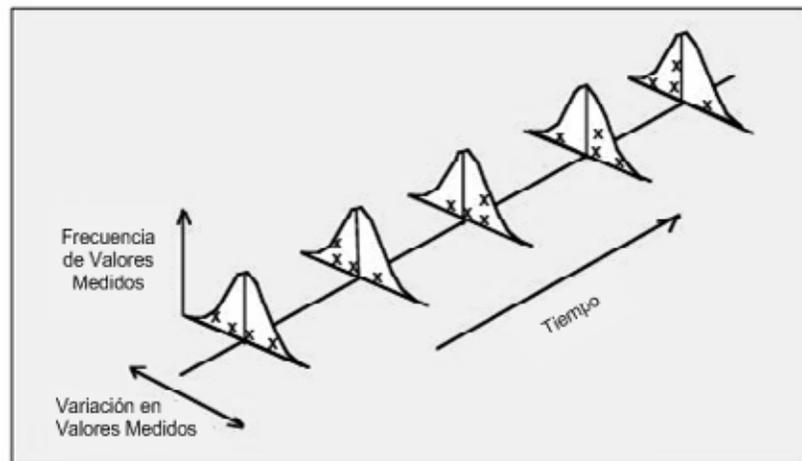


Figura 3-5: Concepto de Variación Controlada

La palabra clave, en lo detallado en el párrafo anterior, es “predecible”. Predecible es sinónimo de “bajo control”. Los procesos pueden variar de forma conocida, no de manera aleatoria y aún cumplirán con la definición de un proceso controlado.

Las variaciones debidas a causas asignables, Deming las denominó como causas especiales [DEM1986], tienen marcados impactos sobre las características del producto y otras medidas de desempeño del proceso. Estos impactos generan cambios significativos en los patrones de variación, tal como se ilustra en la figura 3-6 [WHE1992]. Las variaciones por causas asignables son originadas por eventos que no son parte del proceso normal, ellas representan cambios persistentes y abruptos en cosas como entradas del proceso, el ámbito, etapas mismas del proceso, o la manera en que son ejecutadas estas etapas. Ejemplos de estas variaciones son la calidad de materiales, inadecuada capacitación de las personas, cambios en los ambientes de trabajo, herramientas fallidas, métodos alterados, etc.

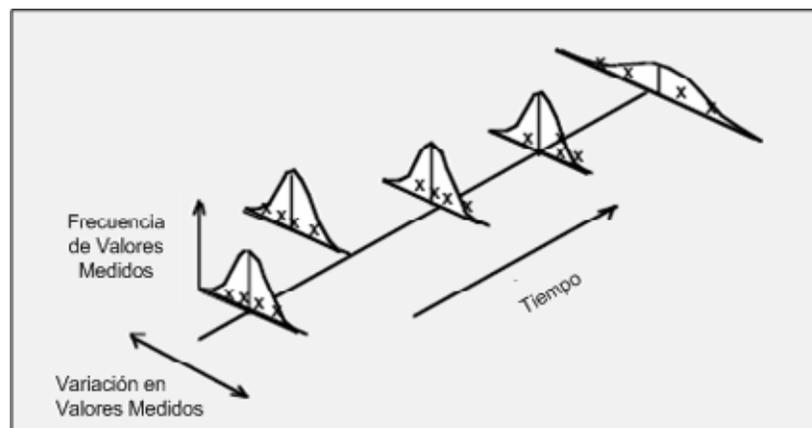


Figura 3-6: Concepto de un Proceso no Controlado.

Cuando las causas asignables han sido removidas y prevenidas de repetirse, de modo que únicamente permanecen las variaciones ocasionadas por un sistema constante de causas fortuitas, se está frente a un proceso estable. Entonces aplica la ley de los grandes números, y se puede asumir que la probabilidad objetiva de que el sistema produzca eventos constantes es independiente del tiempo.

La estabilidad de un proceso con respecto de cualquier atributo dado es determinada por la medición de ese atributo y su seguimiento a lo largo del tiempo. Si una o más mediciones caen fuera del rango de variaciones aleatorias, o si patrones sistemáticos son apreciados, el proceso podría no ser estable. Entonces, se deben observar las causas de desviación, y eliminar cualquiera que sea encontrada, para alcanzar un estado de operación estable y predecible.

Una técnica que es a menudo utilizada para establecer límites operacionales de variación aceptable, es el control de proceso estadístico o SPC, por sus siglas del inglés Statistical Process Control. SPC y sus gráficos de control fueron desarrollados por Walter A. Shewhart, en la década de 1920, para obtener control de costos y calidad de producción. Estas técnicas fueron usadas extensamente en la segunda guerra mundial y nuevamente en años más recientes por Edwards Deming y otros como una base para el mejoramiento de la calidad del producto en numerosas compañías norteamericanas y japonesas. Como resultado del éxito de SPC en el escenario de la industria, estas técnicas han sido adoptadas para ser utilizadas en otras áreas de negocio.

En esta investigación, una hipótesis indirecta, es que las técnicas de SPC pueden ser aplicadas a los procesos de software tal como han sido aplicadas en procesos industriales, tanto para establecer la estabilidad y predecibilidad del proceso como para servir de base para el mejoramiento del proceso.

Por ejemplo, la figura 3-7 muestra un gráfico de control para el número de defectos reportados y no resueltos, pendientes en las primeras 30 semanas del testing del sistema. El gráfico indica que proceso de resolución de problemas es estable, y que su media es alrededor de los 20 problemas pendientes por resolver, con un cambio promedio de los pendientes de 4.35 problemas de semana en semana. El límite de control superior (UCL) para los problemas pendientes está sobre los 32, y el límite de control inferior (LCL) está alrededor de los 8. Si a futuro el backlog excede estos límites o muestra otras formas de comportamiento no aleatorio, podría indicar que el proceso está siendo inestable. Las causas deberían ser investigadas. Por

ejemplo, si el límite superior es excedido en cualquier punto, podría ser señal que existen problemas en el proceso de corrección de defectos. A lo mejor un defecto particularmente complejo está consumiendo los recursos, causando el encolamiento de los defectos reportados. Si así fuese, se deben tomar las acciones correctivas que permitan retornar el proceso a su comportamiento original o característico.

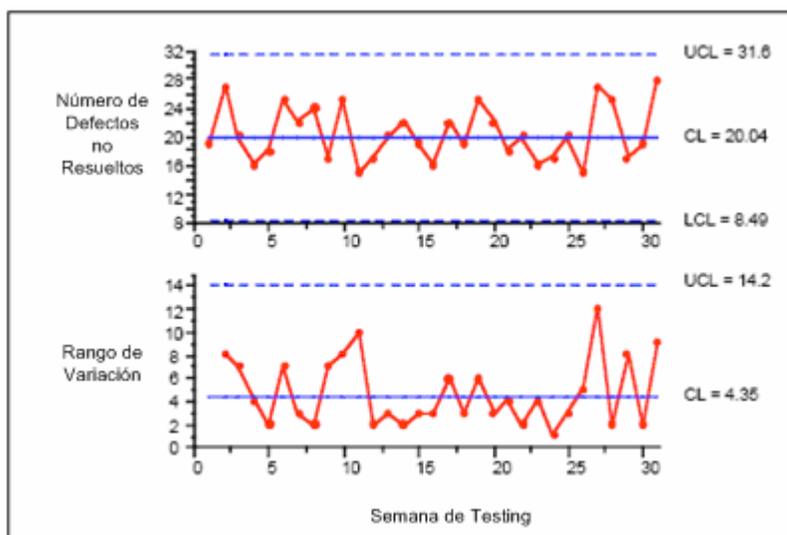


Figura 3-7: Gráfico de Control del Backlog de Defectos no Resueltos.

Se debe ser cuidadoso de no malinterpretar los límites sobre observaciones individuales y mover los rangos que son mostrados en el gráfico. Estos límites son estimados por límites naturales del proceso, basados en las mediciones anteriormente hechas. Estos límites del proceso naturales junto con la línea central se denominan, a menudo, como la “voz del proceso”.

El desempeño indicado por la voz del proceso no es necesariamente el desempeño que necesita ser provisto para alcanzar los requerimientos del cliente. Si la variabilidad y ubicación de los resultados medidos son tales que el proceso, a pesar de ser estable, produce demasiados productos desconformes, el proceso debe ser mejorado. Esto significa reducir la variabilidad, trasladar el promedio, o ambos.

3.4.3 Conformidad

Para que un proceso de software sea estable y predecible, debe operar consistentemente. Los procesos que están claramente definidos, efectivamente soportados, fielmente ejecutados, fortalecidos y mantenidos son probablemente más estables que aquellos que no. Si un proceso no es estable, la búsqueda de causas asignables a menudo comienza con un análisis de la

conformidad del proceso. Existen tres aspectos de conformidad que la experiencia demuestra que pueden afectar significativamente el desempeño del proceso. Cada uno de estos aspectos se puede medir.

- * Aptitud o habilidad para ejecutar el proceso. Medir la aptitud permite entender el grado en el cual la organización está habilitada y lista para utilizar un proceso en particular, y permite identificar apropiadamente las acciones a tomar para resolver las situaciones de carencia de aptitud y resolver las causas de inestabilidad o inhabilidad del proceso para reunir las necesidades del cliente.
- * Uso del proceso definido. La estabilidad del proceso depende de la ejecución consistente del proceso. Mediante la medición del grado de uso del proceso definido, se puede determinar cuando el proceso no es seguido fielmente y cuales son las razones de las desviaciones que se puedan encontrar, y así se pueden tomar las acciones que corresponda. La conformidad con estándares, directivas o restricciones también pueden resultar interesantes de conocer, pero únicamente si llevan o están enfocadas al desempeño del proceso.
- * Supervisión, valoración de desempeño, y evaluación del proceso. Todos los procesos están sujetos a fuerzas de entropía; esto es, que el proceso tiende a deteriorarse desde un estado controlado a un estado de desorden o descontrol. A menos que se tenga un consciente esfuerzo por mantener el proceso reforzando su uso apropiado y reparando los efectos de la entropía, se tenderá a perder el control.

El concepto de aptitud para ejecutar el proceso aplica a las personas, recursos, métodos, tecnologías y otros soportes relacionados al proceso. A pesar de que una organización pueda tener definido un proceso, esto no es garantía que las personas puedan usarlo y ejecutarlo apropiadamente. Existen muchas razones de que esto suceda, por ejemplo, capacitación insuficiente, herramientas e instalaciones inadecuadas, dificultades en la transferencia tecnológica, soporte de gestión inadecuado, e incompatibilidad entre el proceso y las características de dominio del software. La medición ayuda a detectar y diagnosticar estas condiciones.

Medir la fidelidad del uso del proceso involucra medir el alcance de uso (cuan ampliamente es usado), profundidad de uso (acuciosidad), frecuencia de uso (cuan a menudo es usado), y

duración de uso (cuánto está en uso). Evaluar el uso del proceso requiere de tener el criterio de que se debe reunir para que un proceso califique como que está siendo utilizado. Responder preguntas como ¿Usted utiliza la herramienta Y? o ¿usted utiliza el procedimiento X? no resulta muy útil para obtener comprensión del uso. En cambio, responder a preguntas como “¿Cuán a menudo usa X?, ¿Cuán a menudo utiliza Y?, o ¿Cómo y qué entrenamiento ha sido recibido?, dirige las descripciones y mediciones de atributos que proveen una mejor comprensión.

La supervisión, valoración de desempeño, y evaluación de un proceso son técnicas que pueden utilizarse para tratar la entropía del proceso. Las medidas utilizadas para este aspecto de conformidad siempre evolucionan y varían significativamente de una organización a otra. El modelo CMM, por ejemplo, define cinco niveles de madurez del proceso de software que son usados por muchas organizaciones para evaluar la madurez de sus procesos de software. Como esto, otros modelos y medidas se pueden encontrar en la literatura.

Las medidas de conformidad no son medidas de desempeño dado que no son atributos que reflejen el grado con el cual el proceso cumple su propósito, sino que abordan razones de por qué el proceso no pudo realizarse como debía. Estas medidas proveen información contextual para interpretar y actuar sobre los datos utilizados para caracterizar el desempeño del proceso. Si se utilizan apropiadamente, las medidas de conformidad proveen advertencias tempranas de los procesos que están cerca de salirse de control.

La tabla 3-1 lista algunas entidades y atributos de software que son buenos puntos de partida para medir el uso y aptitud del proceso. Las entidades de interés son personas, herramientas, procedimientos, instalaciones y planes de trabajo. Los atributos de interés para cada entidad varían con las preguntas. Diferentes interrogantes a menudo requieren de diferentes enfoques de medición [FLO2000].

La medición de conformidad no pretende conducir el desempeño del proceso, su propósito principal es proveer la información contextual que ayudará a explicar los resultados de desempeño y las variaciones y patrones que son observados.

Aptitud ¿Están disponibles todos los requisitos para una ejecución exitosa del proceso? (Profesionales, habilidades, experiencia, capacitación, instalaciones, herramientas, procedimientos documentados, etc.)		Uso ¿El proceso se está ejecutando fielmente? ¿Están siendo utilizadas las herramientas, métodos, prácticas y trabajo planeados?	
Entidades	Atributos	Entidades	Atributos
Profesionales	Habilidades Experiencia Capacitación Cantidad	Profesionales	Esfuerzo Tiempo
Herramientas	Accesibilidad Adecuación Utilidad Habilidades	Herramientas	Uso Cuán ampliamente Cuán frecuentemente Cuánto tiempo
Procedimientos	Cobertura Suficiencia Calidad Documentación	Procedimientos	Conocimiento Uso Cuán ampliamente Cuán frecuentemente Cuánto tiempo
Instalaciones	Espacio Computadores Soporte Técnico Suficiencia	Instalaciones	Uso Cuán ampliamente Cuán frecuentemente Cuánto tiempo
Plan de Trabajo	Objetivos Aplicabilidad Entendimiento Factibilidad Estructura de Interrupción	Plan de Trabajo	Conocimiento Uso Cuán ampliamente Cuán frecuentemente Cuánto tiempo

Tabla 3-1: Entidades y Atributos para Medir la Conformidad del Proceso.

3.4.4 Capacidad

¿Qué es la capacidad del proceso? Como en el caso de la estabilidad, se debe reconocer que los valores medidos de la mayoría de las características de procesos y productos varían a lo largo del tiempo. Cuando un proceso es estable (o está bajo control estadístico), sus resultados tendrán una media predecible y estarán dentro de rangos predecibles con respecto a la media. Se puede entonces resolver la pregunta de si el proceso logra o no sus objetivos.

La figura 3-8, muestra un histograma que corresponde a un diagrama de frecuencia de las mediciones obtenidas desde un proceso estable. El histograma muestra la distribución empírica de las mediciones del tiempo transcurrido entre la evaluación de un problema y su resolución en un proceso de corrección de defectos. Dado que se conoce que el proceso es estable (probablemente determinado por un gráfico de control), los resultados se pueden considerar para reflejar la habilidad del proceso de ejecutarse en forma oportuna. Dado que la variación es debida únicamente a un sistema constante de causas aleatorias (la definición de estabilidad), la media y los límites de control mostrados en la figura representan que el proceso esta habilitado

para realizarse, como está definido y ejecutado actualmente. Dentro del histograma, la media y los límites en conjunto representan la voz del proceso.

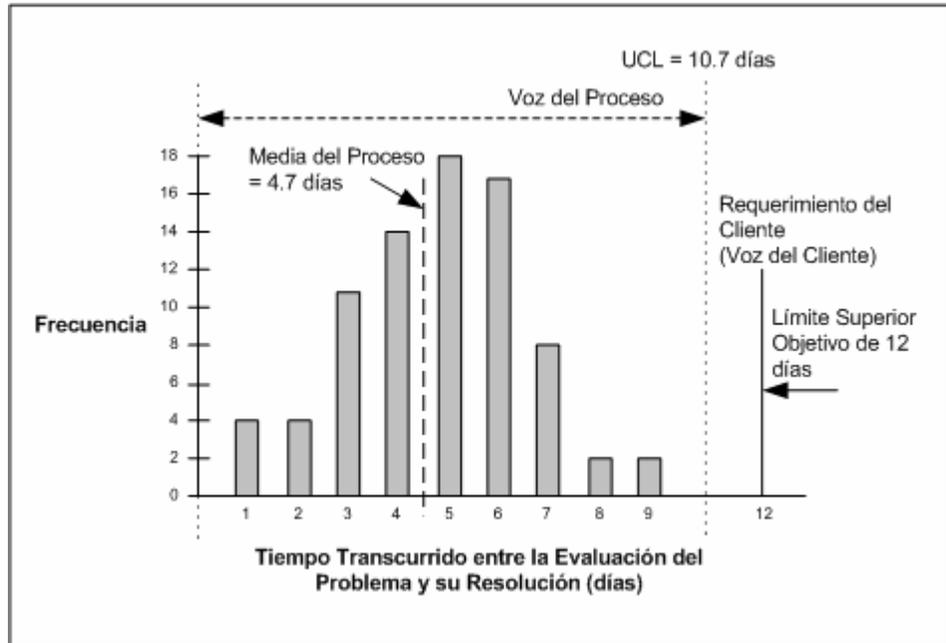


Figura 3-8: Histograma que refleja la Capacidad del Proceso.

Si se sobreponen los requerimientos del cliente (o negocio) en el histograma, es posible comparar lo que dice el proceso que es capaz de hacer y lo que el negocio dice que necesita. Por ejemplo, la línea sólida vertical a la derecha del histograma en la figura 3-8 representa el requerimiento del cliente. Los requerimientos (o especificaciones) como estos son a menudo denominados como “la voz del cliente”.

Si, de otro modo, uno o ambos límites naturales del proceso caen fuera de los límites de especificación, serían frecuentes las ocasiones en que el proceso podría no lograr reunir los requerimientos. Para cambiar esta situación, o la variabilidad tendría que ser reducida o la media del proceso tendría que ser movida (o ambas). Una tercera alternativa que puede existir en algunas situaciones, es relajar las especificaciones para traer el requerimiento y los límites del proceso dentro de los márgenes. La figura 3-9 muestra gráficamente estas tres alternativas.

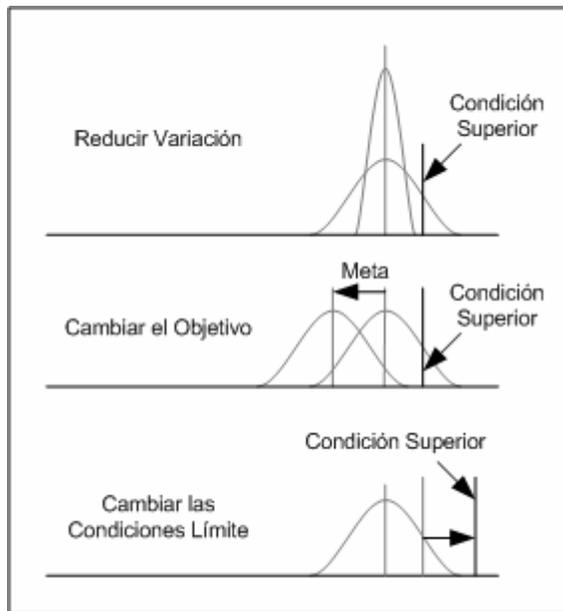


Figura 3-9: Alineación del Desempeño del Proceso a los Requerimientos del Proceso.

Cuando la variabilidad mostrada por la voz del proceso cae dentro de los límites requeridos por el cliente, el proceso está conforme a los requerimientos del cliente. Cuando un proceso es estable y está conforme a los requerimientos, se denomina “calificado” o capaz. El concepto de capacidad de este modo depende tanto de la estabilidad del proceso como de su aptitud para estar conforme con los requerimientos del cliente.

3.4.5 Mejoramiento e Inversión

Las estrategias y objetivos de negocio, junto con los datos precisos respecto a los atributos de calidad del producto y desempeño del proceso, son las guías claves que lideran las acciones que mejoran un proceso de software. Pero no es suficiente el sólo identificar lo que es necesario mejorar en un proceso, además se deben ver los beneficios que justifican los costos asociados al cambio del proceso. Esto a menudo significa que se requieren medidas más allá de las del desempeño del proceso. Por ejemplo, costos de capacitación y costos de equipamiento adicional, nuevas herramientas de programación, y así sucesivamente.

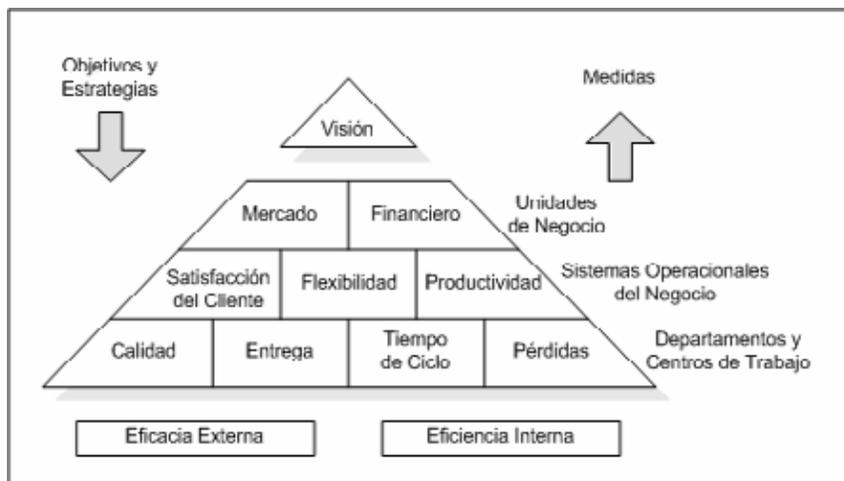


Figura 3-10: Pirámide de Desempeño para Sistemas Operacionales de Negocio.

La compensación económica puede no ser la única medida apropiada para cuantificar el valor del cambio del proceso, algunas medidas operacionales pueden ser igualmente necesarias. Por ejemplo, Lynch y Cross, como se indica en la figura 3-10, sugieren un número de medidas más allá de las tradicionales medidas financieras como rentabilidad, flujo de caja, y retorno de la inversión. Las medidas que ellos proponen se relacionan con los sistemas operacionales del negocio, y describen las fuerzas impulsoras que guían los objetivos estratégicos de la organización [FLO1997].

Indicadores Potenciales de Satisfacción del Cliente, Flexibilidad y Productividad.	
Satisfacción del Cliente	Tasa de renovación de licencias Número de licencias nuevas Renovación por cliente Número de nuevos clientes Número de quejas o reclamos. Tasa de clientes de productos o servicios.
Flexibilidad	Tiempo de cotización Entrega a tiempo Tiempo de venta Tiempo de adecuación de cambios de diseño Número de cambios demandados Número de procesos comunes Número de nuevos productos
Productividad	Reducción de costos de servicios y desarrollo de productos. Re-trabajo como porcentaje del trabajo total Proporción costo/ingreso Proporción de tiempo de desarrollo/ vida del producto

Tabla 3-2: Indicadores para Sistemas Operacionales de Negocio.

La satisfacción del cliente, flexibilidad, y productividad son las fuerzas impulsoras sobre las cuales se basan los objetivos de la compañía. El estado de estos factores puede ser

monitoreado por varios indicadores, como los sugeridos en la tabla 3-2. Estos indicadores pueden ser derivados, alternadamente, de medidas de niveles inferiores de gastos, entrega, calidad y duración del ciclo. El concepto se ilustra en la figura 3-11. La figura además precisa que muchas medidas de desempeño del proceso son obtenidas directamente de las mediciones reportadas por los proyectos que desarrollan los productos de la organización.

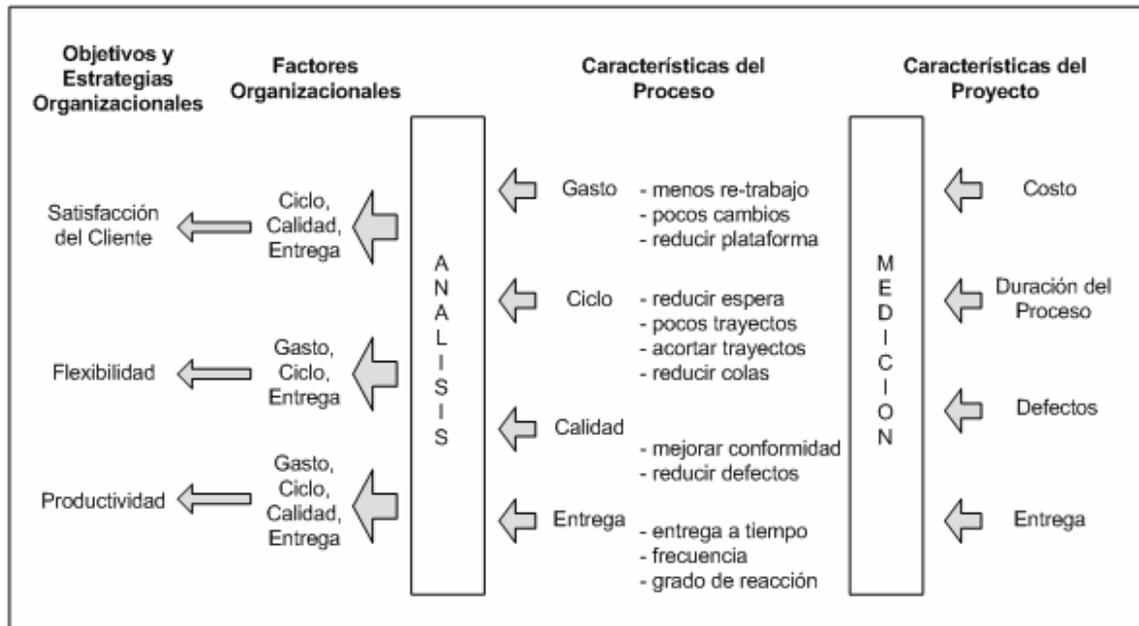


Figura 3-11: Fuentes de Indicadores de Satisfacción del Cliente, Flexibilidad y Productividad.

Las medidas que se deben utilizar para organizar y ganar la aceptación para la inversión y mejoramiento del proceso de software, son fundamentalmente las mismas sugeridas en los párrafos anteriores. Las medidas de nivel inferior o de área pueden ser relacionadas a medidas del proceso y producto de software con muy poca dificultad. El re-trabajo, número de defectos, programación, tiempo de desarrollo, y tiempo de respuesta del servicio son algunos ejemplos.

Es importante, por lo tanto, que las personas que proponen los mejoramientos entiendan no solamente los objetivos y estrategias de negocio de la organización, sino también las prioridades, riesgos, y factores críticos asociados con los objetivos y estrategias. Identificar las medidas del proceso que corresponden a los indicadores de negocio mencionados anteriormente es desafiante pero factible. La clave es relacionar los costos y beneficios de las acciones de mejoramiento del proceso a los indicadores de negocio usados en la organización.

La experiencia muestra que las mediciones y análisis las cuales puedan soportar el reconocimiento de las personas no directamente implicadas con la gestión y mejoramiento de

los procesos de software son esenciales. Uno de los temas más importantes es demostrar en un sentido práctico y estadístico que los cambios propuestos pueden razonablemente anticipar los cambios predichos. Cuando se tiene la capacidad de mostrar que el desempeño del proceso es estable y que los cambios por lo tanto se necesitan, si la capacidad del proceso va a ser mejorada, y cuando se puede predecir los beneficios de las mejoras del proceso propuestas basadas en evidencias convincentes, entonces la credibilidad y confianza en las propuestas que requieren inversión se acrecientan significativamente. Estas ofertas entonces tienen una mejor probabilidad de ser aceptadas y ser adecuadamente financiadas. Las ofertas y planes que se pueden demostrar cuantitativamente que ayudan al logro de los objetivos organizacionales, son más fácilmente aprobados y adoptados que aquellos que no pueden.

3.5 Modelo Global de un Proceso de Medición

Para que un proceso de medición sea exitoso debe cumplir con dos características claves:

- * La recolección, análisis y reporte de datos medidos deben estar relacionadas directamente a las necesidades de información de los responsables de tomar decisiones.
- * Un proceso de medición estructurado y repetible que defina las actividades e interfaces de información relacionadas. Este proceso debe ser flexible y adaptable para soportar los procesos de administración y procesos técnicos existentes, así como también soportar las características de un determinado dominio de aplicación.

Dado que los requerimientos se basan en las necesidades de información a diferentes niveles organizacionales, entonces se habla de que el proceso de medición es conducido por la información; luego el proceso de medición combina datos objetivos y subjetivos, integrándolos en productos de información que están directamente dirigidos a las necesidades de información definidas. En este contexto la medición no existe por sí sola, sino que está implementada dentro del ámbito de un proyecto o proceso desde donde se define que información es necesaria para quienes están encargados de tomar las decisiones.

Un proceso de medición basado en información, entonces, se constituye a partir de dos modelos:

- * para estructurar la información de un proyecto se utiliza un Modelo de Información de Medición.
- * y para describir las actividades y tareas de medición, un Modelo del Proceso de Medición.

3.5.1 Modelo de Información de Medición

El modelo de información de medición, es un concepto fundamental e inherente para el éxito de un programa de medición basado en la información. Este modelo es un mecanismo que enlaza las necesidades de información definidas de los productos y procesos del proyecto de software, a las entidades que pueden ser medidas. Establece una estructura definida que relaciona los conceptos de medición y, como tal, provee una base para comunicar fielmente los resultados de la medición al interior de la organización. El modelo de información de medición soporta directamente las actividades de planificación y análisis de la medición.

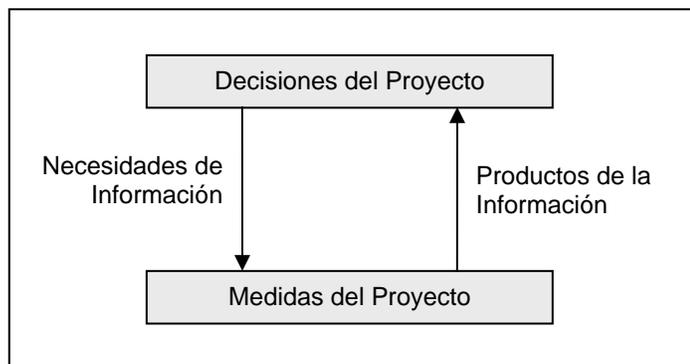


Figura 3-10: Relaciones del Modelo de Información de Medición.

La figura 3-10, muestra básicamente, las relaciones definidas por el modelo de información de medición. Durante la planificación y ejecución de las fases del proyecto de software, las decisiones técnicas y administrativas dirigidas a diferentes áreas deben ser tomadas sobre una base continua. Los responsables de la toma de decisiones deben compensar decisiones acerca de costos, tiempos, capacidades y calidad. Esto resulta en una necesidad de información que soporte el proceso de toma de decisiones. En un proyecto de software típico, hay diversas necesidades de información definidas en cualquier punto del tiempo. Estas necesidades tienden a ir cambiando significativamente durante el transcurso del proyecto, basadas en los cambios de objetivos, suposiciones y restricciones del mismo. Un plan de medición determinado puede verse como una instancia de la estructura definida por el modelo de información de medición.

El modelo de información de medición establece una estructura definida para relacionar los diferentes conceptos y términos. Como tal, establece una base para la definición consistente de la terminología de medición. Dado que la definición e implementación de un programa de medición incluye hacer muchas elecciones con respecto a la recolección, organización y análisis de datos, el éxito requiere de un enfoque sistemático para conceptualizar y describir estas

elecciones. Sin una terminología concisa y consistente, la comunicación efectiva entre los analistas de medición, proveedores de datos, y usuarios de la medición es imposible.

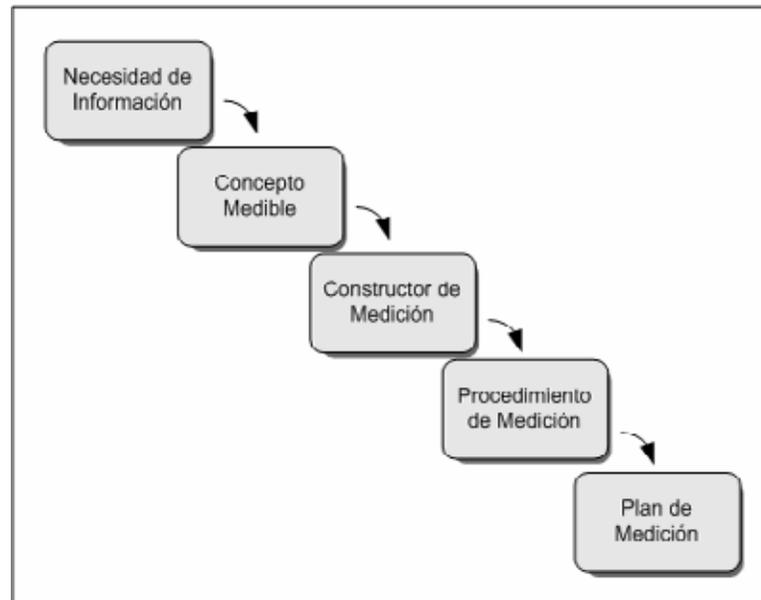


Figura 3-11: Evolución de una Necesidad de Información a un Plan de Medición.

La figura 3-11, muestra una visión general de cómo una necesidad de información evoluciona en un plan para generar los productos o resultados de medición del proyecto. La planificación de la medición comienza con el reconocimiento que un administrador o ingeniero tienen una **necesidad de información** específica requerida para soportar la toma de decisiones del proyecto. Las decisiones de proyecto están usualmente relacionadas a la planificación y ejecución del proyecto en un sentido operacional, pero también pueden enfocar requerimientos de nivel estratégico y organizacional. Los datos que ayudan a satisfacer las necesidades de información definidas pueden ser obtenidos por la medición de muchos elementos de proceso y diferentes características del producto de software, denominados *entidades de software*. El **concepto medible** es una idea acerca de las entidades que deben ser medidas con el objeto de satisfacer una necesidad de información. El concepto medible, eventualmente, será formalizado mediante un **constructor de medición** que especifica exactamente que será medido y cómo los datos serán combinados para producir los resultados que satisfagan la necesidad de información. Un **procedimiento de medición** define los mecanismos de recolección y organización de los datos requeridos para instanciar el constructor de medición.

El conjunto de las necesidades de información definidas, constructores de medición, y procedimientos de medición se combinan en un **plan de medición**. La ejecución del plan de

medición produce los resultados o **productos de información** que responden a las necesidades de información del proyecto. Los productos de información son la colección de indicadores, interpretaciones, y recomendaciones provistas al responsable de la toma de decisiones como una salida del proceso de medición.

Un plan de medición puede abordar una única necesidad de información. En la mayoría de los casos, sin embargo, aborda múltiples necesidades de información. El plan define cuales necesidades de información son aplicables a un proyecto en particular, cómo el software será medido para satisfacer estas necesidades de información, y como el proceso de medición será abordado y gestionado.

Los términos definidos en el proceso de medición son derivados del modelo de información de medición documentado en el estándar internacional ISO/IEC 15939. Este estándar describe en un sentido general como los datos son recolectados y organizados para satisfacer las necesidades de información definidas.

Necesidades de Información

Los procesos técnicos y administrativos pueden ser definidos y pueden operar a nivel de proyecto o nivel organizacional; los resultados deseados de estos procesos se definen usualmente en términos de objetivos. Las necesidades de información relacionan directamente a los objetivos establecidos y las áreas de interés que pueden impactar en el logro de estos objetivos. Estas áreas de interés son a menudo denominadas como **factores clave** (factores críticos). Se identifican tres tipos de factores clave:

- * Problemas – áreas de preocupación que un proyecto está experimentando actualmente o que es relativamente seguro que experimentará.
- * Riesgos – áreas de preocupación que podrían ocurrir, pero que no es seguro que ocurran.
- * Falta de Información – áreas de preocupación donde la información disponible es inadecuada para predecir confiablemente el impacto en el proyecto.

Identificar algo como un factor clave no necesariamente significa que esto sea un problema. De hecho, la identificación minuciosa y continua, y un seguimiento cuidadoso de los riesgos del proyecto minimizan el potencial para la aparición de problemas serios que podrían impactar

negativamente en el éxito del proyecto. La figura 3-12, muestra como las necesidades de información cambian en los diferentes niveles organizacionales.

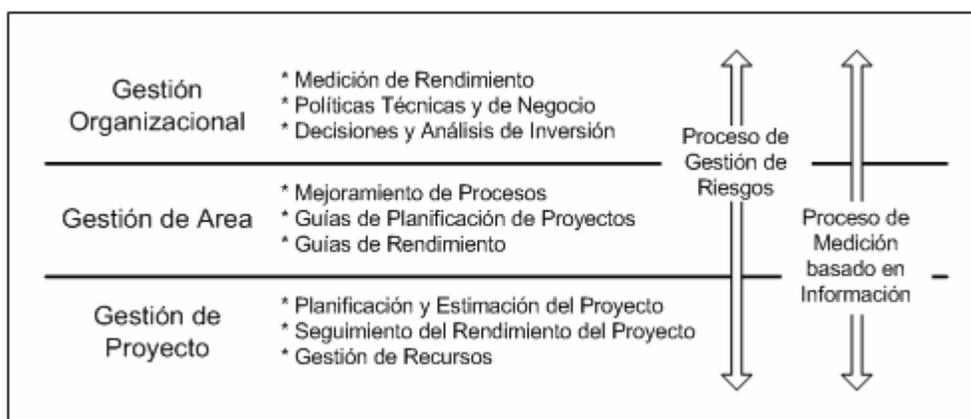


Figura 3-12: Necesidades de Información y Niveles Organizacionales.

La mayoría de los proyectos trabajan hacia el logro de objetivos estables en términos de presupuesto, planificación, calidad y funcionalidad, consecuentemente, la medición a nivel del proyecto tiende a enfocarse en proveer la información relacionada a factores críticos en estas áreas. Aunque cada proyecto involucra factores críticos únicos, la experiencia muestra que la mayoría de las necesidades de información de los proyectos de software pueden ser organizadas en categorías de información comunes. PSM define siete categorías de información de software comunes, que tienen una alta cohesión entre sí [MCG2001]:

- * **Planificación y Progreso:** esta categoría de información se enfoca en el logro de hitos del proyecto y la terminación de tareas individuales.
- * **Recursos y Costos:** esta categoría de información se relaciona al balance entre el trabajo ejecutado y los recursos de personal asignado al proyecto.
- * **Tamaño y Estabilidad del Producto:** esta categoría de información se enfoca a la estabilidad de la funcionalidad o capacidad requerida del software. También se relaciona al volumen de software entregado para proveer la capacidad requerida. La estabilidad incluye cambios en el alcance funcional o cantidad.
- * **Calidad del Producto:** esta categoría de información se enfoca en la habilidad del producto entregado para satisfacer las necesidades del usuario sin fallar.
- * **Rendimiento del Proceso:** esta categoría de información se relaciona con la capacidad del proveedor en relación a las necesidades del proyecto.

- * Efectividad Tecnológica: esta categoría de información aborda la viabilidad del enfoque técnico propuesto. Se centra en los enfoques de ingeniería tales como la reutilización de software, utilización de componentes de software comercial, confiabilidad de los procesos avanzados de desarrollo de software, e implementación de arquitecturas de software comunes.
- * Satisfacción del Cliente: esta categoría de información se preocupa del grado en que los productos y servicios entregados por el proyecto reúnen las expectativas del cliente.

En la práctica, relacionar la información con necesidades de información similares a menudo se pueden trabajar utilizando conceptos medibles similares, esto reduce el número de recursos que se deben aplicar para implementar un programa de medición viable.

Constructor de Medición

Un constructor de medición es una estructura detallada que enlaza las cosas que pueden ser medidas para una necesidad de información específica. La figura 3-13, representa la estructura básica de un constructor de medición.

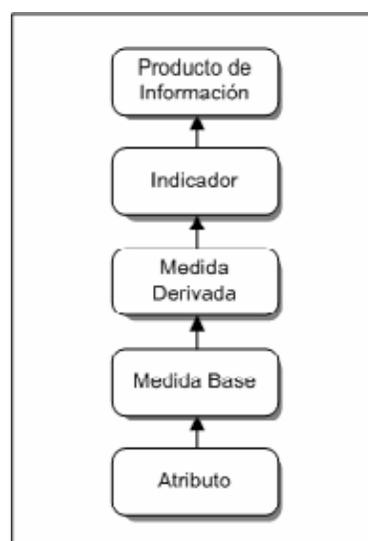


Figura 3-13: Niveles de un Constructor de Medición.

El constructor de medición describe como los atributos de software relevantes son cuantificados y convertidos en indicadores que provean una base para la toma de decisiones. Un único constructor de medición puede involucrar tres tipos, o niveles, de medidas: medidas base, medidas derivadas, e indicadores. El planificador de la medición necesita especificar los detalles del constructor de medición que se utilizará, así como los procedimientos de recolección, análisis y reporte de los datos, en el plan de medición. Mientras mejor es el diseño del

constructor de medición y mejor relaciona los atributos medidos del software a las necesidades de información identificadas, más fácil es para el jefe de proyecto efectuar decisiones informadas y objetivas.

En cada uno de los tres niveles de medidas – medidas base, medidas derivadas, e indicadores – información adicional es agregada en forma de reglas, modelos y criterios de decisión. La figura 3-14 muestra la estructura de un constructor de medición detalladamente. Las reglas específicas para asignar valores, y la definición de métodos de medición, funciones de medición, y modelos de análisis son asociadas a cada nivel de medida. En la formalización de un concepto medible como un constructor de medición, los detalles de los procesos y productos actuales del proyecto de software deben ser considerados, así como la descripción detallada de las necesidades de información asociadas.

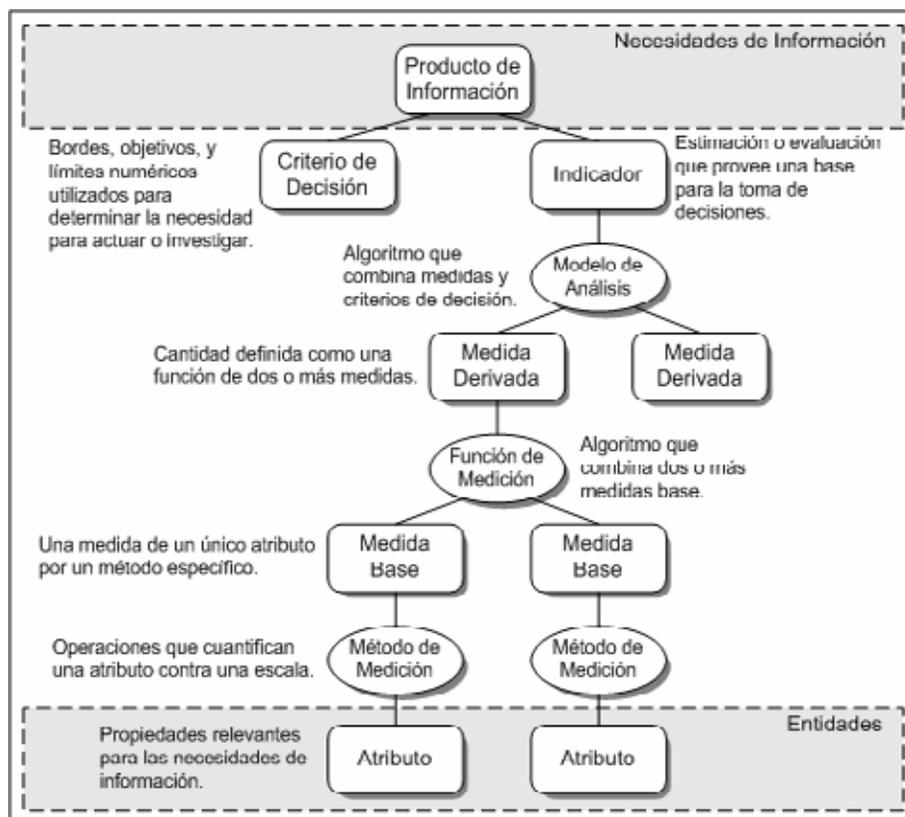


Figura 3-14: Descripción detallada de un Constructor de Medición.

Esta estructura detallada ayuda a asegurar la implementación de un programa de medición efectivo y eficiente. Los beneficios más importantes de la utilización de constructores de medición bien definidos se pueden detallar como:

- * Reducir la redundancia ayudará a la identificación de conjunto de medidas base (o datos primitivos) centrales que pueden servir a muchos propósitos.
- * Incrementar la precisión y repetición asegura que todos los aspectos esenciales de un enfoque de medición están adecuadamente definidos.
- * Maximizar el valor de las medidas base incrementa los patrones de medidas derivadas e indicadores que podrán ser fácilmente reconocidos, reutilizados y adaptados.
- * Documentar la relación entre las necesidades de información y como son satisfechas.

A pesar de que la figura 3-14 está organizada jerárquicamente, el proceso de definición de un constructor de medición es iterativo.

Un **atributo** es una característica distinguible de una entidad de software, donde se incluyen procesos, productos, proyectos y recursos. Una entidad puede tener muchos atributos, solamente algunos de los cuales tienen la posibilidad de ser medidos. Un atributo es distinguible cuantitativamente o cualitativamente por medios humanos o automáticos. Un atributo dado puede ser incorporado en múltiples constructores de medición soportando las mismas o diferentes necesidades de información.

Una **medida base** es la medida de un único atributo definido por un específico **método de medición**, cuya ejecución produce un valor para dicha medida. Una medida base es funcionalmente independiente de todas las otras medidas y capturas de información con respecto de un único atributo. La recolección de datos involucra la asignación de valores a las medidas base. Con el objeto de facilitar la verificación de la calidad de los datos recolectados, se debe especificar el rango y/o tipos de valores que una medida base puede tomar. Cada medida base está definida por lo siguiente:

- * **Método de Medición**, que corresponde a una secuencia lógica de operaciones, descritas genéricamente, utilizadas en la cuantificación de un atributo con respecto de una escala específica, y que puede ser automático o manual. Un método puede reutilizarse, sin embargo, cada combinación de un atributo y un método de medición da como resultado una medida base diferente. Dependiendo de la naturaleza de las operaciones utilizadas para cuantificar un atributo particular, se identifican dos *Tipos de Método*:
 - * Subjetivo – la cuantificación involucra un juicio o calificación humana.

- * **Objetivo** – la cuantificación basada sobre reglas numéricas tales como recuento. Las medidas objetivas proveen más exactitud y repetición que los métodos subjetivos, por lo que cuando sea posible se preferirán estos métodos.
- * **Escala**, es un conjunto ordenado de valores, continuos o discretos, o un conjunto de categorías a las cuales un atributo puede ser correspondido. El método de medición relaciona la magnitud de los atributos medidos a un valor sobre una escala. La escala está caracterizada por un tipo de escala, que habitualmente está limitada por el Tipo de Método. Dependiendo de la naturaleza de la relación entre los valores sobre la escala se reconocen los siguientes *Tipos de Escala*:
 - * Cociente (porcentaje)
 - * Intervalo
 - * Ordinal, y
 - * Nominal
- * **Unidad de Medición**, es una cantidad particular, definida y adoptada por convención, con cualquier otra cantidad de la misma clase es comparada para expresar la magnitud relativa a esa cantidad. Solamente las cantidades expresadas en la misma unidad de medición son comparables directamente. A menudo no están definidas para medidas determinadas por métodos subjetivos o que utilizan escalas ordinales o nominales.

Una **medida derivada** es una medida, o cantidad, que es definida como una **función** de dos o más medidas base y/o derivadas, y que captura información sobre más de un atributo. Transformaciones simples de medidas base (por ejemplo, tomar la raíz cuadrada de una medida base) no agregan información, estas no producen medidas derivadas. Las medidas derivadas son definidas por las características siguientes:

- * **Función de Medición**, es un algoritmo o cálculo ejecutado para combinar dos o más valores de medidas base y/o derivadas. La escala y unidad de la medida derivada depende de las escalas y unidades de las medidas base de las cuales está compuesta, así como de cómo ellas son combinadas por la función.

Un **indicador** es una medida que provee una estimación o evaluación de atributos específicos derivados de un **modelo de análisis** con respecto de las necesidades de información definidas. Los indicadores son la base para el análisis de medición y la toma de decisiones, corresponden

a lo que se presenta a los usuarios. Los indicadores a menudo reciben el nombre del concepto medible que ellos implementan. Los indicadores son definidos con las siguientes características:

- * **Modelo de Análisis**, es un algoritmo o cálculo que involucra dos o más medidas base y/o derivadas con criterios de decisión asociados. Un modelo de análisis está basado en la comprensión o suposiciones acerca de la relación esperada entre el componente medido y su comportamiento a través del tiempo. La escala y método de medición afecta la elección de técnicas de análisis o modelos utilizados para producir indicadores.
- * **Criterio de Decisión**, son umbrales, objetivos y límites numéricos utilizados para determinar la necesidad para actuar o impulsar investigaciones o describir el nivel de confianza en un resultado dado. El criterio de decisión ayuda a interpretar los resultados de medición. El criterio de decisión puede estar basado sobre un entendimiento conceptual del comportamiento esperado o calculado desde los datos.

El término 'medida' puede ser utilizado colectivamente para referirse a medidas base, medidas derivadas, y/o indicadores. El término 'dato' puede ser utilizado colectivamente para referirse a valores asignados a medidas base y medidas derivadas. La recolección de datos se refiere a la asignación de valores a las medidas base, y los valores de medidas derivadas e indicadores son calculados desde las medidas base. Correspondientemente conceptos medibles, constructores de medición e indicadores a menudo son denominados por el mismo nombre.

El modelo de información de medición sugiere dos principios generales para abordar la pregunta de cómo la medición podría ser estandarizada dentro de un proyecto u organización.

Estos principios son:

- * Estandarizar sobre medidas base más que sobre indicadores. El mismo conjunto de medidas base puede ser combinado de muchas formas para producir diferente indicadores que conduzcan a diferentes necesidades de información. Las medidas base están sujetas a atributos específicos – los cuales tienden a ser relativamente persistentes.
- * Promover la flexibilidad en los indicadores. No sólo una única vista de los datos puede efectivamente servir a todos los niveles y tipos potenciales de responsables de toma de decisiones en todas las etapas a través del ciclo de vida del proyecto. Los indicadores

están sujetos a las necesidades información – las cuales tienden a cambiar frecuentemente.

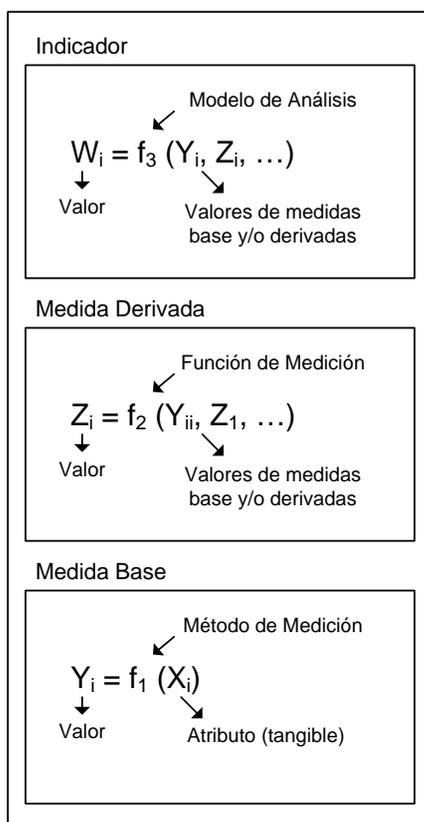


Figura 3-15: Descripción Matemática de un Constructor de Medición.

Los componentes clave de un constructor de medición incluyen métodos de medición, medidas base, funciones de medición, medidas derivadas, modelos de análisis, e indicadores. La figura 3-15 representa la relación de estos componentes en términos matemáticos.

3.5.2 Modelo del Proceso de Medición

El Modelo del Proceso de Medición trabaja en conjunto con el Modelo de Información de Medición, para proveer un marco de trabajo que permita la implementación de la medición sobre un proyecto. Ambos modelos trabajan juntos para definir un programa de medición apropiado para cada proyecto particular y único.

El modelo es construido sobre una típica secuencia de gestión “Planificar-Hacer-Chequear-Actuar” (Plan-Do-Check-Act), adaptada para soportar las actividades y tareas específicas de medición. El modelo está constituido por cuatro actividades principales, cada una de ellas esenciales para una exitosa implementación de un programa de medición. Estas actividades, representadas en la figura 3-16, son:

- * Elaborar un Plan de Medición
- * Ejecutar el Plan de Medición
- * Evaluar la Medición
- * Establecer y Mantener el Compromiso.

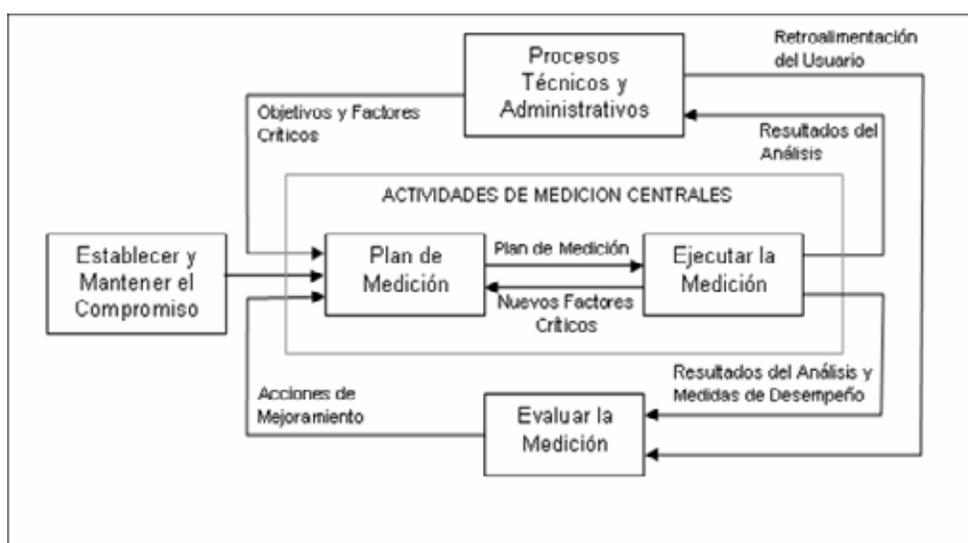


Figura 3-16: Representación del Modelo del Proceso de Medición.

La elaboración del Plan de Medición abarca la identificación de la información necesaria del proyecto y la selección de las medidas apropiadas que canalicen estas necesidades, utilizando para esto el Modelo de Información de la Medición. La elaboración del plan, también incluye tareas relacionadas a la especificación de procedimientos de recolección, análisis y reporte de datos; tareas relacionadas con la planificación de la evaluación de los resultados de medición dando forma a varios productos de información; y tareas de evaluación de la medición, en sí misma. Lo más relevante, es que las actividades de la planificación de la medición proveen la integración de las medidas en los procesos técnicos y administrativos del proyecto. Adicionalmente, el plan de medición, provee los recursos y tecnologías requeridas para implementar un programa de medición de un proyecto. El resultado de la planificación de la medición es una guía bien definida de medición que soporta directamente las necesidades de información del proyecto.

La ejecución de la medición, junto con la elaboración del plan de medición, es una de las actividades centrales (o actividades que conforman el núcleo del proceso de medición) que resuelven directamente los requerimientos de medición del usuario. La ejecución abarca la recopilación y procesamiento de los datos medidos; la utilización de los datos tanto para el análisis de necesidades de información individuales como el análisis interrelacionado de los factores críticos; y la generación de los productos de información para presentar los resultados de los análisis, cursos de acción

alternativos, y recomendaciones para los encargados de la toma de decisiones. La ejecución de la medición, implementa el plan de medición y produce los artefactos de información necesarios para una efectiva toma de decisiones basada en la medición.

La evaluación de la medición aplica técnicas de análisis y medición al proceso de medición mismo. Evalúa las medidas aplicadas y la capacidad del proceso de medición, y ayuda a identificar las acciones de mejoramiento relacionadas. El establecimiento y mantenimiento del compromiso garantiza que la medición es respaldada a nivel organizacional y de proyecto. Provee los recursos y la infraestructura organizacional requeridos para implementar un programa de medición viable.

El Modelo del Proceso de Medición está diseñado para ser iterativo. Está definido para ser adaptado a las características y al contexto de un proyecto particular y ser adaptable a los requerimientos de información y decisión que cambian en forma continua.

Ambos modelos, el modelo de información de la medición y el modelo del proceso de medición, establecen un enfoque que reúne las experiencias y principios aprendidos por aplicaciones de medición de software anteriores. En conjunto proveen los cimientos para un programa efectivo de medición de software.

3.6 Principios del Proceso de Medición

Cada proyecto es caracterizado por diferentes atributos técnicos y de gestión, así como también por sus únicos objetivos y factores del software y sistema. Los diferentes enfoques de medición explican como especificar y aplicar un programa de medición que reúna las necesidades de información específicas del proyecto. El enfoque PSM, para cumplir con esto, define nueve principios que describen las características de un efectivo programa de medición [MCG2003]. A continuación se describen brevemente los nueve principios.

1. Utilizar factores críticos y objetivos para guiar los requerimientos de medición.

El propósito de la medición es ayudar a la gestión a alcanzar los objetivos del proyecto mediante la identificación, seguimiento, y gestión de los problemas actuales y obstáculos potenciales para el éxito. Los objetivos del proyecto son metas y requerimientos expresados en términos de costos, tiempos, calidad, funcionalidad y rendimiento técnico. Los factores críticos son áreas de inquietud que presentan obstáculos para alcanzar los objetivos del proyecto. Los factores críticos incluyen problemas, riesgos y pérdidas de información.

Para que la medición sea eficiente en ayudar a la gestión, debe basar sus requerimientos de medición en los factores críticos que caracterizan a un proyecto o proceso.

2. Definir y recolectar medidas basándose en los procesos técnicos y de gestión.

Para recolectar los datos de medición efectivamente, hay que considerar los procesos del proveedor y el consumidor. Los procesos técnicos y de gestión determinan Qué y Cómo los ítems de datos específicos serán recolectados. Hay que intentar definir medidas de modo que efectuar su recolección sea natural al trabajo desarrollado.

3. Recolectar y analizar los datos a un nivel de detalle suficiente que permita identificar y aislar los problemas.

El proceso de medición depende de una periódica recolección, procesamiento, y análisis de los datos de medición más que de una revisión de reportes de análisis pre-definidos. Estos datos incluyen estimaciones, planes, cambios a los planes, y conteo de las actividades, productos y gastos actuales. El nivel de unidad y el nivel de actividad son los niveles de detalle usados comúnmente.

4. Implementar una capacidad de análisis independiente.

Todos los proyectos incluirán una evaluación de los datos de medición por un equipo que es independiente del área que produjo los datos. Esto asegura que el proceso de medición es objetivo y provee una evaluación precisa e imparcial del proyecto.

5. Utilizar un proceso de análisis sistemático para proyectar las medidas a las decisiones.

Las conclusiones y recomendaciones basadas en la medición deben ser generadas en una manera sistemática para formar una base sólida para las decisiones y acciones subsecuentes de gestión. La información se debe poder trazar y debe ser repetible. La capacidad de trazar (trazabilidad) significa que las conclusiones y recomendaciones son generadas a partir de datos de medición en una definida secuencia de pasos. La capacidad de repetir (repetibilidad) significa que diferentes análisis siguiendo la misma secuencia de pasos presumiblemente llegarán a las mismas conclusiones y recomendaciones. Un enfoque de análisis particular o ad_hoc no provee a la gestión la confianza para actuar sobre la información de medición.

6. Interpretar los resultados de la medición en el contexto de otra información del proyecto.

La medición provee una indicación de que un problema puede existir u ocurrir. No existen los resultados de medición buenos o malos por sí mismos. La varianza entre los valores planificados y actuales únicamente indica una alerta que gatilla la recolección de información adicional para evaluar la causa y severidad de la situación y para evaluar el impacto sobre el éxito del proyecto.

7. Integrar la medición al proceso de gestión del proyecto a través de su ciclo de vida.

Los resultados de medición deben ser provistos a los administradores como una parte integral de la información de soporte de decisiones, más que ser reportados separadamente. El proceso de medición aplica al ciclo de vida completo, lo que va cambiando es la orientación de los análisis, de este modo en fases iniciales la atención está en las estimaciones, y en las fases finales en el rendimiento. Los resultados de medición se deben proveer periódicamente y en los puntos de decisión apropiados a través del ciclo de vida.

8. Utilizar el proceso de medición como base para la comunicación objetiva.

Es necesario comunicar al equipo completo de proyecto cada paso de la definición de los requerimientos de medición y del análisis de los datos de medición. La mayoría de las decisiones que están basadas en los datos afectan a más de una parte involucrada. Una acción correctiva que es planificada con todos los participantes en mente es más probable de ser exitosa que una que es impuesta arbitrariamente.

9. Enfocar inicialmente el análisis a nivel del proyecto.

Un proyecto exitoso significa reunir los objetivos específicos del proyecto. Mientras que las organizaciones más grandes tienen inquietudes y objetivos que atraviesan múltiples proyectos, los enfoques de medición, subrayan la necesidad para medir y entender los proyectos individuales antes que intentar hacer comparaciones cruzando múltiples proyectos.

4. PROCESO DE MEDICIÓN DE SOFTWARE PARA GESTIONAR LOS PROCESOS

El proceso de medición está definido por cuatro actividades, que se muestran en la figura 4-1. Las actividades de “Especificar Medidas” y “Aplicar Medidas”, conforman el núcleo del proceso de medición, que conduce directamente la toma de decisiones. La actividad de “Implementar el Proceso”, involucra las tareas que establecen el proceso de medición dentro de una organización. Y por último, la actividad de “Evaluar la Medición”, identifica las tareas de evaluación y mejoramiento del programa de medición como un todo.

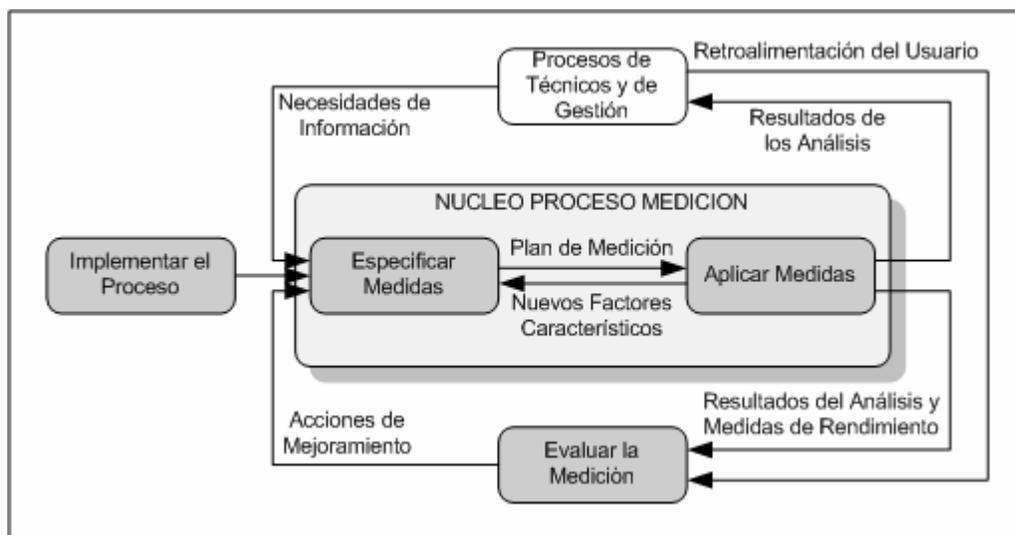


Figura 4-1: Actividades del Proceso de Medición

La actividad de especificación de medidas conduce la selección de un conjunto efectivo y económico de medidas de proyecto. Esta actividad incluye la identificación y organización de prioridades de los factores claves del proyecto, la selección y especificación de las medidas apropiadas, y la integración de las medidas al ciclo de vida del proceso del proyecto. La actividad de aplicación de medidas involucra la recolección y análisis de datos, y la elaboración de recomendaciones basadas sobre los datos definidos en el proceso de especificación. La actividad de implementación de la medición, conduce los cambios culturales y organizacionales necesarios para el establecimiento del proceso de medición. Para una implementación exitosa del proceso de medición se requiere del soporte de los administradores del proyecto y gerentes de área, tanto como del equipo completo del proyecto. La actividad de evaluación de la

medición, evalúa el proceso de medición y las medidas, e identifica los mejoramientos potenciales.

El proceso de medición debe ser integrado al ciclo de vida del proceso de proyectos de software y de sistemas. Dado que los ciclos de vida de los procesos son dinámicos, el proceso de medición también debe cambiar y adaptarse según el proyecto evolucione. Las actividades de especificación de medidas y aplicación de medidas son iterativas a través del ciclo de vida del proyecto; factores críticos, medidas y técnicas de análisis pueden cambiar a lo largo del tiempo para reunir las necesidades del proyecto.

La figura 4-2, esquematiza de mejor forma la secuencia de actividades que conforman el proceso de medición, mostrando como se van dando las iteraciones entre las sub-actividades. No se incluyen todas las actividades del proceso de medición, sino que aparecen aquellas donde existe la integración con el proceso que está siendo medido.

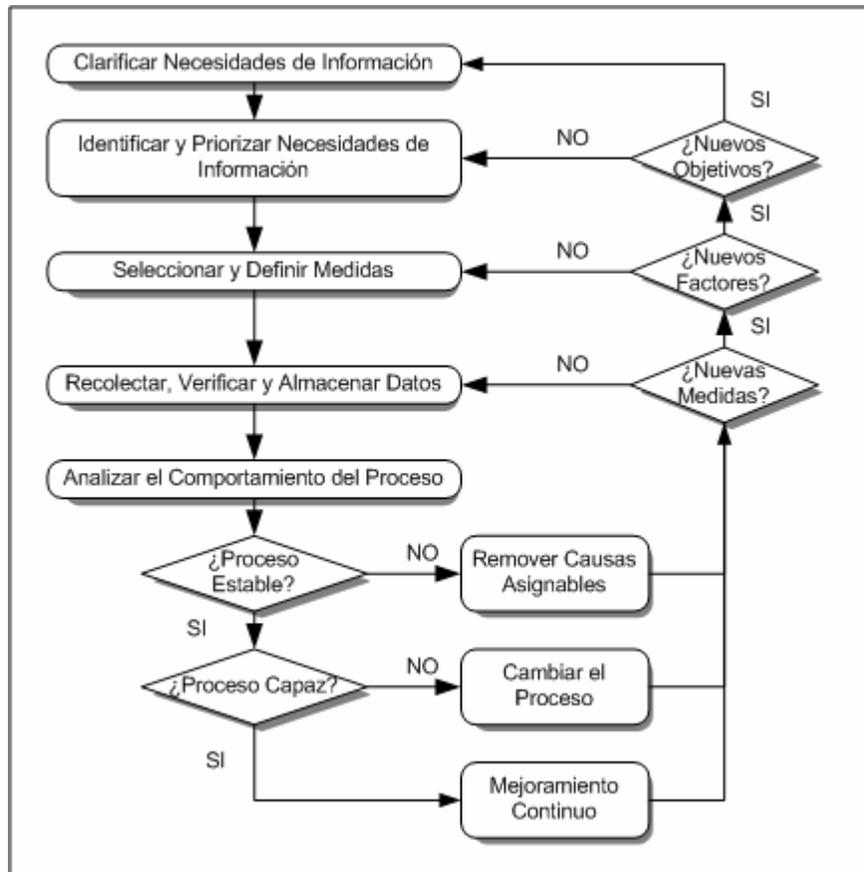


Figura 4-2: Diagrama de Flujo General Proceso de Medición

4.1 Planificación de la Medición

La actividad de planificación de la medición provee un método consistente para la identificación de las necesidades de medición del proyecto, selección y especificación de las medidas, y la integración de las mismas a los procesos técnicos y de gestión del proyecto. El objetivo de esta actividad es la selección y definición de medidas que provean un alto entendimiento en las necesidades de información del proyecto identificadas, y con mayor prioridad.

La figura 4-3 diagrama la actividad de planificación de medición. La primera tarea es la identificación y ordenamiento de prioridades de las necesidades de información, la segunda tarea es la selección y especificación de medidas apropiadas que resuelvan las necesidades de información identificadas, y por último, la tercera tarea involucra la integración de las medidas a los procesos del proyecto.

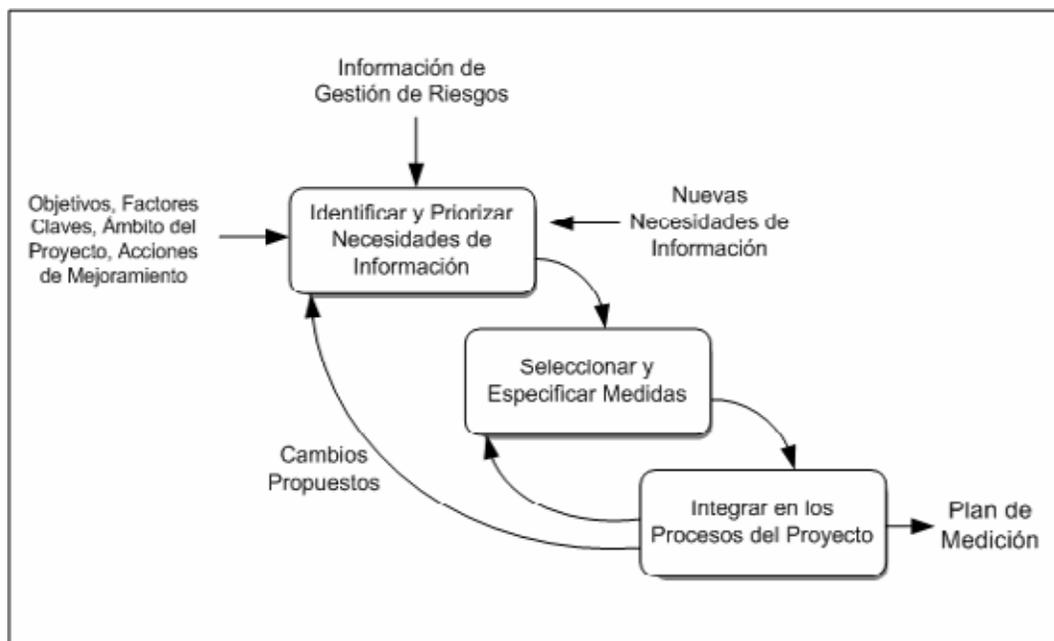


Figura 4-3: Diagrama de la actividad de Planificación de la Medición.

Los resultados de la planificación del proceso son documentados en un plan de medición del proyecto. El plan puede ser formal o informal, y puede ser incorporado dentro de otro plan, como el plan de desarrollo de software o dentro del plan del proyecto completo. La actividad de planificación es iterativa, dado que nuevas necesidades de información y mejoras pueden ser propuestas durante el curso del proyecto; además medidas alternativas pueden ser propuestas para satisfacer de un mejor modo las necesidades de información o para minimizar los costos de medición. El plan de medición, entonces, evoluciona continuamente, y el proceso debe ser capaz de soportar esta evolución.

4.1.1 Identificar y Priorizar las Necesidades de Información

Todos los proyectos de software son caracterizados por objetivos específicos, los cuales pueden ser establecidos en forma descendente por la gerencia de área o ser definidos por el jefe de proyecto en conjunto con el usuario del sistema. Estos objetivos son, normalmente, definidos en términos de capacidad del sistema completo, recursos presupuestados, hitos, niveles de calidad, y metas de rendimiento del negocio o sistema; y el éxito del proyecto depende del logro de estos objetivos. Los factores clave son áreas de interés que pueden impactar el logro de un objetivo del proyecto y pueden incluir riesgos, problemas, y falta de información.

Adicionalmente a las necesidades de información identificadas al inicio del proyecto, durante el progreso del proyecto pueden surgir nuevas necesidades de información, debido a cambios en factores que habitualmente están asociados a necesidades de información, tales como modificaciones en los requerimientos, nuevos requerimientos, cambios tecnológicos, disponibilidad de recursos, entre otros.

La secuencia de pasos para llevar a cabo esta tarea, puede describirse como:

- * Identificar las necesidades de información
- * Relacionar las necesidades de información a categorías de información comunes
- * Asignar prioridades a las necesidades de información

Identificar Necesidades de Información

Las necesidades de información provienen de diversas fuentes, esto además asegura que se identifiquen todas las necesidades de información relevantes del proyecto. Las fuentes principales son:

- * Evaluación de Riesgos: La evaluación de riesgos puede señalar necesidades de información relacionadas a requerimientos, tecnologías, procesos, costos, o tiempos. Los riesgos pueden ser igualmente identificados de manera informal en la ausencia de un proceso de gestión de riesgos estructurado. La gestión de la medición y la gestión de riesgos son sinérgicas, ambas disciplinas enfatizan la prevención y detección temprana de problemas en lugar de esperar a que los problemas sean críticos. El proceso de gestión de riesgos ayuda a identificar y establecer las prioridades de las necesidades de información del proyecto, y a su vez, el proceso de medición desempeña un rol en la

gestión de riesgos indicando si los riesgos se están manifestando y si los pasos de la mitigación de riesgos están teniendo el efecto deseado.

- * **Supuestos y Restricciones:** El plan de proyecto está, usualmente, basado en diversos supuestos, tales como la disponibilidad de ciertos recursos; y puede presentar ciertas restricciones, poco flexibles, en términos de tiempo y presupuesto. Si alguna desviación de estos supuestos o restricciones pone en riesgo el éxito del proyecto, deberían incluirse como necesidades de información.
- * **Tecnologías Requeridas:** El éxito del proyecto puede depender de la instauración de ciertas tecnologías tales como la utilización de componentes comerciales. Si los objetivos del proyecto dependen de la utilización de tecnologías específicas, la efectividad de estas tecnologías será identificada como una necesidad de información.
- * **Criterios de Aceptación del Producto:** Los clientes pueden exigir o imponer rigurosos hitos o criterios de aceptación con respecto a la entrega del producto de software. Si existen dudas significativas con respecto a la habilidad de la organización para reunir los criterios de aceptación definidos, u otros criterios externos, sería útil identificar el grado de satisfacción de estos criterios como una necesidad de información.
- * **Experiencia Histórica:** El equipo de proyecto pueden identificar potenciales áreas de interés debido a su experiencia en proyectos similares, las cuales debieran identificarse como necesidades de información.

Para hacer un levantamiento efectivo, es necesario involucrar a todas las partes participantes en el proyecto o proceso, esto adicionalmente, aumenta el compromiso al sentirse parte del proceso de medición.

Una manera de estimular la identificación de requerimientos, es la utilización de ciertas categorías de información comunes a la mayoría de los proyectos. PSM describe siete áreas de interés o categorías de información, las cuales pueden utilizarse para ayudar a la identificación de necesidades de información.

Relacionar Necesidades de Información a Categorías de Información

Los diferentes estándares de medición, establecen que es útil el agrupar las necesidades de información en áreas generales, a la mayoría de los proyectos, que deben ser manejadas día a

día por el jefe de proyecto. Este agrupamiento facilita la posterior especificación de los indicadores que darán respuesta a las necesidades de información definidas.

Categoría de Información	Concepto Medible	Medidas Potenciales
Planificación y Progreso	Hitos Rendimiento Ruta Crítica Progreso de Actividades Capacidad Incremental	Fechas de Hitos Tiempo Inactivo Requerimientos Probados Reportes de Error Abiertos Reportes de Error Cerrados Cambios Requeridos Abiertos Cambios Requeridos Resueltos Componentes Diseñados Componentes Codificados Componentes Integrados Casos de Prueba Abiertos Casos de Prueba Cerrados Actividades Abiertas Actividades Completadas Módulos Integrados Funcionalidades Integradas
Recursos y Costos	Esfuerzo Rendimiento Financiero Recursos de Ambiente y Soporte	Esfuerzo de Desarrollo Nivel de Experiencia Productividad del Equipo BCWS, BCWP, ACWP Presupuesto Costos Cantidad Necesaria Cantidad Disponible Tiempo Disponible Tiempo Utilizado
Estabilidad y Tamaño del Producto	Estabilidad y Tamaño Físico Estabilidad y Tamaño Funcional	Tamaño Base de Datos Cantidad de Módulos Cantidad de Interfaces Número de Requerimientos Cambios Funcionales
Calidad del Producto	Exactitud Funcional Eficiencia Portabilidad Usabilidad Confiabilidad	Defectos Tiempo Medio de los Reportes Utilización Rendimiento Operativo Tiempo de Respuesta Conformidad con Estándares Errores Operativos Tiempo Medio entre Fallas
Rendimiento del Proceso	Conformidad del Proceso Eficiencia del Proceso Efectividad del Proceso	Índice de Madurez de Referencia Productividad Tiempo del Ciclo Defectos Contenidos Esfuerzo Re-trabajo
Efectividad Tecnológica	Aptitud Tecnológica Volatilidad Tecnológica	Cobertura de Requerimientos Cambios Línea Base
Satisfacción del Cliente	Retroalimentación Soporte Cliente	Índice de Satisfacción Cuota de Compensación Requerimientos de Soporte Tiempo Medio de Soporte

Tabla 4-1: Relación de Medidas y Categorías de Información

Se utilizará la definición del enfoque PSM, dada la familiaridad que existe entre las siete categorías definidas con respecto a la mayoría de los proyectos de desarrollo en el ámbito nacional. Las siete categorías de información definidas por PSM, son:

- * Planificación y Progreso.
- * Recursos y Costos

- * Tamaño y Estabilidad del Producto
- * Calidad del Producto
- * Rendimiento del Proceso
- * Efectividad Tecnológica
- * Satisfacción del Cliente

La tabla 4-1, muestra medidas potenciales que están asociadas a las categorías antes descritas. La tabla relaciona cada categoría con un conjunto de conceptos medibles, y a su vez cada concepto con medidas que pueden ser consideradas al momento de especificar los indicadores que den respuestas a las necesidades de información definidas. Esta tabla está extraída desde los diferentes estándares estudiados, se extrajeron aquellos conceptos medibles, y medidas más cercanas a la realidad del desarrollo en nuestro entorno. Este podría ser un punto de partida, y una organización podría generar su propia categorización, o aumentar la descrita en esta tabla.

Algunas necesidades de información pueden no caber en ninguna de las categorías definidas; en estos casos, las medidas apropiadas serán definidas aplicando los principios generales descritos en las secciones posteriores.

Asignar Prioridades a Necesidades de Información

Las necesidades de información deben ser priorizadas para asegurar que el plan de medición aborde aquellas que tienen mayor potencial de impactar los objetivos del proyecto.

Necesidades de Información del Proyecto	Probabilidad de Ocurrencia	Impacto Relativo	Riesgo del Proyecto
Planificación Agresiva	1.0	10	10.0
Restricciones de Presupuesto	1.0	10	10.0
Requerimientos Inestables	1.0	8	8.0
Productividad del Equipo	1.0	6	6.0
Experiencia del Equipo	1.0	5	5.0
Dependencias Críticas	0.5	7	3.5
Confiabilidad de los Requerimientos	1.0	3	3.0
Actividades Concurrentes	1.0	2	2.0
Rendimiento de Costos	0.2	9	1.8
Estimaciones de Tamaño Dudosas	1.0	1	1.0

Tabla 4-2: Ejemplo de Asignación de Prioridades de Necesidad de Información

Existen muchos modos de efectuar este trabajo, en este caso, se utilizará un mecanismo similar al usado para la gestión de riesgos. Se le otorga una asignación numérica a cada necesidad de

información basada en el impacto sobre proyecto y probabilidad de ocurrencia. La tabla 4-2, muestra un ejemplo de cómo sería este enfoque. En la tabla se muestran un conjunto de necesidades de información identificadas, y se les ha asignado un impacto relativo, y una probabilidad de ocurrencia, con estos dos valores (multiplicándolos) se ha obtenido un factor de riesgo. Aquellas necesidades de información con factor de riesgo más alto, debieran ser abordadas primariamente por el proceso de medición.

Si alguna necesidad de información, correspondiera a riesgos identificados mediante el proceso de gestión de riesgos, su impacto debiera estimarse a partir de los resultados de ese proceso. Luego, todas las necesidades serán priorizadas en conjunto.

La mayoría de los mecanismos para establecer prioridades, están sujetos a algún grado de subjetividad, dado que se depende del criterio de los profesionales que asignarán los factores de riesgo. Sin importar como las necesidades de información sean priorizadas, aquellas que sean similares se deben agrupar, con el fin de facilitar la selección de las medidas que abordan múltiples necesidades de información.

La asignación de prioridades es dinámica, a medida que el proyecto avanza se pueden incorporar nuevas necesidades de información, y por lo tanto la probabilidad e impacto cambiará; además influye el progreso dado que las prioridades cambiarán a medida que se acerque la fecha estimada de un impacto proyectado.

4.1.2 Seleccionar y Especificar las Medidas

Esta tarea describe como las medidas base, medidas derivadas, e indicadores son seleccionados y especificados para conducir las necesidades de información identificadas, puesto que cada proyecto está descrito por un conjunto único de necesidades de información, procesos, y productos, el conjunto de medidas a aplicar para cada proyecto también es único.

Los pasos en la tarea de selección de medición incluye:

- * Caracterizar el contexto del proyecto
- * Identificar los conceptos medibles apropiados a cada necesidad de información
- * Seleccionar las medidas a aplicar
- * Especificar los constructores de medición

Para efectuar la selección y especificación de medidas, es útil tener en cuenta ciertos factores tales como los análisis y reportes que se necesitarán, características del contexto del proyecto, entre otros.

Un esquema práctico para la selección de medidas, es descrito en la figura 4-4, que relaciona las necesidades de información a las categorías y conceptos medibles para ayudar a la selección apropiada [MCG2003]. Cada categoría de información, tiene asociado ciertos conceptos medibles, que a su vez tienen asociadas ciertas medidas. Las categorías de información predefinidas, conceptos medibles, y medidas descritas en la tabla 4-1 proveen un punto de partida para la selección y especificación de la medición.

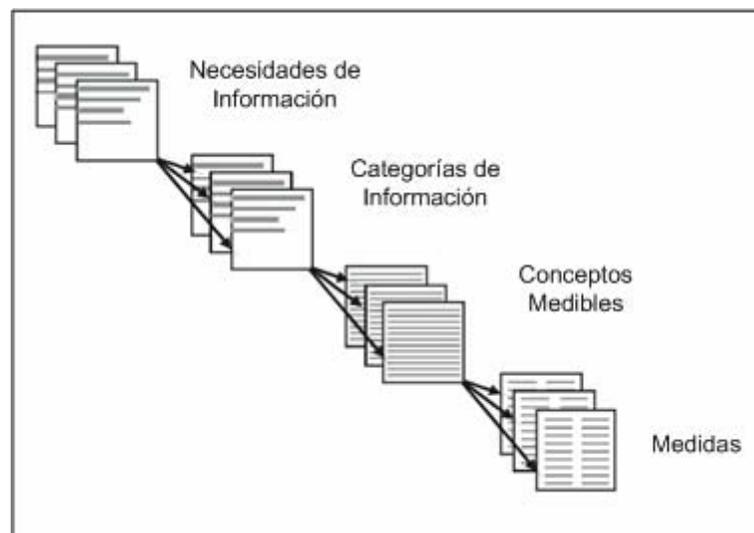


Figura 4-4: Mecanismo de Selección de la Medición.

Caracterizar el Contexto del Proyecto

Definir un efectivo programa de medición requiere del entendimiento del contexto en el cual la medición ocurre, puesto que tiene poco sentido definir medidas que no serán implementadas dentro de un proceso existente. El contexto está dado por los procesos técnicos y de gestión del proyecto. Las necesidades de información establecen la información que el proceso de medición debe derivar desde los datos, y el contexto del proyecto determina los datos específicos a ser recolectados y cómo se utilizará la información resultante.

Algunos factores de proyecto claves a considerar son:

- * El modelo de ciclo de vida o estructura de actividad utilizada para definir el proceso de software.

- * La estructura del producto, incluyendo incrementos o evoluciones de las diversas tareas de desarrolladores externos.
- * Actividades de medición actuales.
- * Tecnología de sistema y software, incluyendo técnicas de diseño, lenguajes de programación, ámbito y herramientas.
- * Fuentes planificadas de componentes de software, tales como componentes externos, desarrollos nuevos o componentes reutilizados.
- * Prácticas de gestión, coordinación, revisión, pruebas e inspección.
- * Estándares de ingeniería y de gestión que serán aplicados.
- * La madurez del proceso de cada organización de software involucrada en el proyecto.

Siempre que sea posible, prácticas actuales y mecanismos de recolección de datos existentes serán utilizados, y requerimientos de medición nuevos serán minimizados. La madurez de un proceso de desarrollo afecta la eficiencia y confiabilidad de la medición, la experiencia muestra que organizaciones con procesos ad-hoc son más proclives a mal utilizar los datos de la medición. Los resultados de la caracterización del proyecto son utilizados para identificar oportunidades de medición.

Identificar Conceptos Medibles

Un concepto medible es una idea sobre como ciertas actividades y productos pueden ser relacionadas a las necesidades de información. Una forma específica de implementar un concepto medible es llamado constructor de medición. Los constructores de medición son combinaciones de medidas base, medidas derivadas, e indicadores. Para cada necesidad de información se seleccionará, a lo menos, un concepto medible.

La tabla 4-3 provee una lista de los conceptos medibles comúnmente utilizados para cada categoría de información; adicionalmente incluye un ejemplo de pregunta que puede ser resuelta por cada concepto medible. Esta estructura es útil para identificar el o los conceptos medibles que mejor se ajustan a cada necesidad de información. Para necesidades de información de alta prioridad o críticas, se puede seleccionar más de un concepto medible.

Categoría de Información	Concepto Medible	Preguntas Asociadas
Planificación y Progreso	Hitos Rendimiento Ruta Crítica Progreso de Actividades Capacidad Incremental	¿Se está cumpliendo con la planificación de Hitos? ¿Hay tareas críticas inactivas? ¿Cuál es el progreso de actividades? ¿La capacidad se está logrando según la programación de construcciones y entregas incrementales?
Recursos y Costos	Esfuerzo Rendimiento Financiero Recursos de Ambiente y Soporte	¿El esfuerzo utilizado está acorde con lo planificado? ¿El proyecto está gastando más de lo presupuestado? ¿Está disponible el material y equipo necesario?
Estabilidad y Tamaño del Producto	Estabilidad y Tamaño Físico Estabilidad y Tamaño Funcional	¿Cuánto está cambiando el tamaño y características físicas del producto? ¿Cuánto están cambiando los requerimientos funcionales?
Calidad del Producto	Exactitud Funcional Eficiencia Portabilidad Usabilidad Confiabilidad	¿El producto reúne la funcionalidad mínima de entrega? ¿Están identificados los problemas a resolver? ¿El sistema hace un uso eficiente del servidor donde corre? ¿El sistema puede ser fácilmente migrado a otra plataforma? ¿Los errores operativos están dentro de los límites aceptables? ¿La interfaz de usuario es adecuada a las operaciones del usuario? ¿Cuán a menudo el servicio a los usuarios es interrumpido?
Rendimiento del Proceso	Conformidad del Proceso Eficiencia del Proceso Efectividad del Proceso	¿Cuán consistentemente el proyecto implementa los procesos definidos? ¿Son eficientes los procesos en el logro de los compromisos y objetivos planificados? ¿Cuánto esfuerzo adicional es causado por re-trabajo?
Efectividad Tecnológica	Aptitud Tecnológica Volatilidad Tecnológica	¿Puede la tecnología reunir todos los requerimientos, o será necesario tecnología adicional? ¿Poner en uso nueva tecnología es riesgoso por necesitar muchos cambios?
Satisfacción del Cliente	Retroalimentación Soporte Cliente	¿Cómo perciben los clientes el rendimiento del proyecto? ¿Qué tan rápido son cubiertos los requerimientos de soporte de los clientes?

Tabla 4-3: Conceptos Medibles y Preguntas Relacionadas

Seleccionar las Medidas Aplicables

La selección de medidas se efectúa escogiendo aquellas que mejor se ajusten a las necesidades identificadas, desde el conjunto de medidas base y derivadas asociadas a cada categoría de información. Es necesario considerar, además, la eficiencia y efectividad de las medidas y la habilidad del proyecto para producirlas.

Los siguientes criterios de decisión pueden ayudar a la identificación de las mejores medidas para el proyecto:

- * Efectividad de la Medición: ¿Cuán eficaz es la medida en proveer el entendimiento deseado? ¿Es una medida directa de las características del proceso o producto en cuestión? ¿La medida proporciona entendimiento relacionado a más de una necesidad de información?

- * Características de Dominio: ¿Son medidas más certeras en un dominio dado?
- * Prácticas de Gestión de Proyecto: ¿Pueden las prácticas de gestión existentes ser adaptadas para soportar los requerimientos de medición? Por ejemplo, ¿existe un sistema de registro de tareas en uso que provea una o más de las medidas deseadas? ¿existe un modelo de estimación en uso que requiera de entradas de medición específicas?
- * Costos y Disponibilidad: ¿Qué datos estarán fácilmente disponibles en el contexto del proyecto? ¿Cuánto esfuerzo será necesario para recolectar y empaquetar los datos para el análisis?
- * Alcance del Ciclo de vida: ¿La medida se aplica a la fase del desarrollo en consideración? ¿Se aplica a múltiples fases del desarrollo?
- * Requerimientos Externos: ¿La empresa u organización completa ha impuesto requerimientos de medición?
- * Tamaño y Origen de Componentes de Sistema: ¿El tamaño del proyecto justifica una mayor inversión en medición? ¿Esta medida tiene sentido si la mayor parte del sistema involucra componentes provistos externamente, reutilización de software o componentes comerciales?

En la mayoría de los casos, el proceso de selección requiere compensaciones entre los criterios de selección de medidas. Por ejemplo, una medida dada puede directamente enfocar una necesidad de información de alta prioridad, pero puede ser demasiado costosa de implementar en términos de tiempo y recursos. La selección inicial de medidas se va refinando en el transcurso que las medidas van siendo incorporadas a constructores de medición.

Especificar Constructores de Medición

La especificación de los constructores de medición, toma los conceptos medibles y medidas probables seleccionadas, estructurándolos a partir de la definición de medidas base, medidas derivadas e indicadores, incluyendo una definición operacional de las medidas relevantes.

La tabla 4-4, presenta una plantilla para la especificación de constructores de medición. Los campos de la plantilla corresponden a los elementos del modelo de información de medición que se describió anteriormente.

Constructor de Medición	
Necesidad de Información	
Concepto Medible	
Entidades Relevantes	
Atributos	
Medidas Base	
Método de Medición	
Tipo de Método	
Escala	
Tipo de Escala	
Unidad de Medición	
Medidas Derivadas	
Función de Medición	
Indicador	
Modelo de Análisis	
Criterio de Decisión	

Tabla 4-4: Plantilla de Constructor de Medición.

Las especificaciones de medición serán documentadas para una fácil referencia, usualmente en el plan de medición. Mantener una base de experiencia de constructores de medición previamente desarrollados también facilita la planificación y mejora la relación costo-efectividad del programa de medición dentro de la organización.

La tarea de especificar un constructor de medición usualmente es ejecutada en forma iterativa. Esto es, las probables medidas base, medidas derivadas, e indicadores son delineadas y entonces son ajustadas a cada nivel para lograr un constructor de medición que se ajuste a la necesidad de información. Una medida base puede ser parte de múltiples medidas derivadas e indicadores, este hecho hace flexible al proceso de medición, pudiendo definir nuevos indicadores a partir de medidas ya recolectadas.

Un indicador es una medida que provee una estimación o evaluación de atributos específicos derivados desde un modelo de análisis con respecto a las necesidades de información definidas; y resulta de la combinación de medidas base y/o derivadas utilizando algoritmos o modelos predefinidos. Generalmente, el valor de un indicador es un número o una serie de números, y es representado mediante un gráfico o una tabla.

Usualmente, se define un conjunto básico de indicadores que son producidos regularmente, y a través de la actividad de análisis surgen nuevos indicadores para dar soporte a las preguntas que surgen de esta actividad. Esto significa que los constructores de medición pueden ser redefinidos y ser introducidos nuevos constructores durante la fase de análisis. Los procedimientos de medición deben permitir esa flexibilidad.

Un buen indicador se caracteriza por:

- * Soportar el análisis de las necesidades de información involucradas.
- * Soportar los tipos de análisis necesarios (análisis de estimación, factibilidad, o rendimiento)
- * Proveer el nivel apropiado de detalle
- * Indicar una acción de gestión posible
- * Proveer información temporal para la toma de decisiones y acciones

Los indicadores, por lo general, comparan valores actuales contra valores esperados. La expectativa, o valor esperado, puede estar basada sobre medias históricas, valores planificados, valores límite, o rangos de borde. Los criterios de decisión establecen si la diferencia entre los datos actuales y los datos esperados es significativa.

La figura 4-5 provee un ejemplo de un indicador de progreso de codificación. Hay que notar lo siguiente:

- * Los valores esperados son representados por una medida base que contiene datos acumulados (la serie "planificada"), los cuales muestran el monto de código que debería estar completado en el período de tiempo para la cual la fase de codificación está planificada.
- * Los valores actuales son representados por una medida base separada, que también contiene datos acumulados (la serie "actual"), los cuales son actualizados en cada periodo y muestra el número total de unidades que han sido completadas a la fecha.
- * La varianza es la brecha entre los valores actuales y los valores planificados. El criterio de decisión para este indicador especifica que una varianza de más de un 20% requiere de un análisis adicional. Por ejemplo, para el 29 de Octubre, la varianza acumulativa es un negativo 25%, requiriendo una investigación adicional. (El modelo especifica que el número acumulado de unidades completadas es dividido por el número acumulado de unidades planificadas, y el producto es multiplicado por 100).

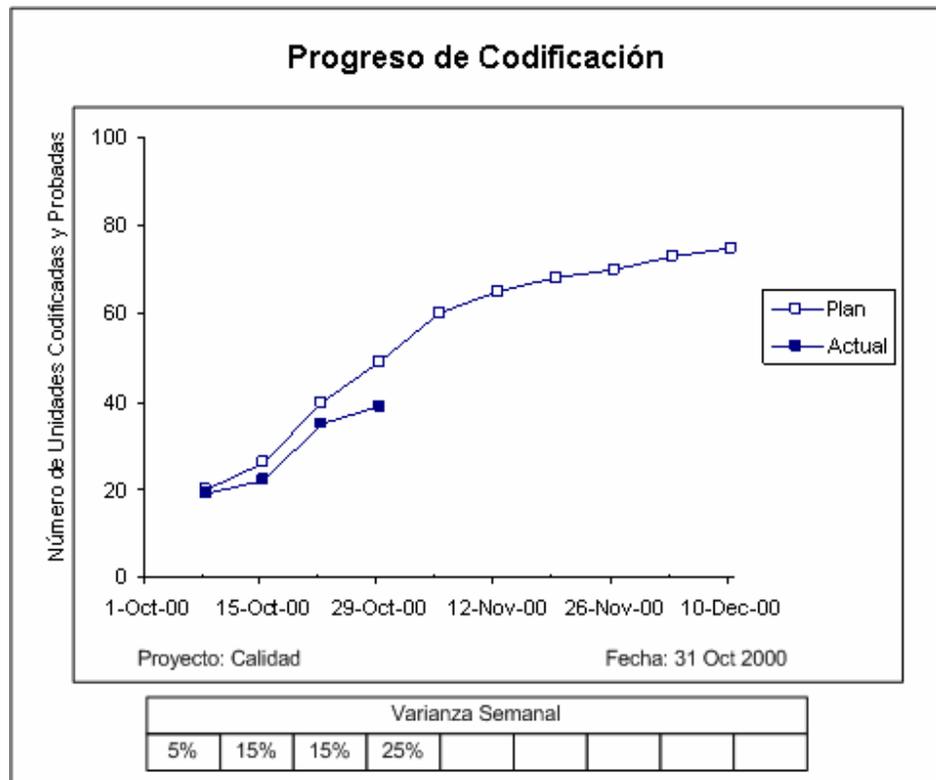


Figura 4-5 Representación Gráfica de Indicador de Progreso de Codificación.

Desarrollar especificaciones claras para todos los constructores de medición facilita la recolección de datos confiables y consistentes, además deben quedar claros todos los términos utilizados, inclusive aquellos términos obvios tales como esfuerzo de mes-hombre, puesto que cada organización puede establecer esta medida en forma diferente. Completar cuidadosamente la plantilla descrita en la tabla 4-4 asegura que toda la información necesaria ha sido especificada.

4.1.3 Integrar el Enfoque de Medición a los Procesos del Proyecto

La próxima tarea es definir como el enfoque de medición será integrado a los procesos técnicos y de gestión del proyecto. Esto incluye tanto la integración de los procedimientos de recolección de datos a los procesos proveedores de los datos, y la integración de los procedimientos de análisis y reportes en los procesos de toma de decisiones.

Los pasos para especificar la integración, se describen como:

- * Identificar las oportunidades de medición
- * Definir los procedimientos de recolección y análisis de datos
- * Documentar los procedimientos y especificaciones en el plan de medición

Identificar Oportunidades de Medición

Durante la planificación y especificación de la medición cualquier mecanismo de medición ya en uso será tomado como prioritario. La utilización de fuentes de datos existentes ofrece la ventaja de la familiaridad con los procedimientos y potencialmente bajar los costos de implementación del programa de medición, y acelerar la implementación dado que los involucrados ya conocen algunos elementos del proceso de medición.

Los datos de medición provienen de diversas fuentes, donde las fuentes electrónicas, usualmente son menos costosas que las manuales. Existen tres fuentes primarias que describen el origen de los datos:

- * Datos Históricos: Esto incluye datos recolectados de proyectos anteriores. Esta información ayuda a generar estimaciones y a determinar la factibilidad de los planes.
- * Datos de Planificación: Estos datos representan típicamente valores estimados y esperados del proyecto. Generalmente contienen los presupuestos y planificaciones contra los cuales el progreso y gastos serán medidos. Los datos deben ser recolectados desde los planes iniciales y planes revisados, incluyendo cambios incrementales en los planes.
- * Datos del Rendimiento Actual: A medida que un proyecto evoluciona, datos actuales estarán disponibles. Muchas fuentes de datos existen dentro de los procesos técnicos y de gestión. La utilización consistente de herramientas de gestión de proyectos facilita la recolección de datos.

Concepto Medible	Fuente
Hitos	Planificación
Progreso de Actividades	Reporte de Estado
Capacidad Incremental	Reportes de Construcción Registros de Cuenta de Estado
Esfuerzo	Tabla de Tiempos
Rendimiento Financiero	Reportes de Valor Devengado Registros Financieros
Estabilidad y Tamaño Físico	Lista de Productos Registros del Laboratorio de Pruebas
Estabilidad y Tamaño Funcional	Especificaciones de Requerimiento y Diseño Requerimientos de Cambios
Exactitud Funcional	Reportes de Pruebas Reportes de Revisión / Inspección Notas de Revisión de Diseño y Acciones
Eficiencia	Reportes de Análisis de Rendimiento

Tabla 4-5: Ejemplos de Fuentes de Datos para Conceptos Medibles.

Los métodos más eficientes de recolección de datos dependen de la naturaleza de los procesos técnicos y de gestión. La tabla 4-5 muestra algunos ejemplos de fuentes de datos comunes.

Cuando se implementa la medición sobre proyectos ya existentes, hay que poner énfasis en reconocer aquellas necesidades de información que ya estén identificadas y aquellas actividades de medición que ya estén implementadas. Los datos existentes serán utilizados, si estos soportan las necesidades de información identificadas. Sin embargo, las medidas existentes a menudo no están definidas al nivel de detalle requerido por el programa de medición. Establecer buenas especificaciones es necesario así como importante para la utilización de datos existentes como también cuando se implemente un nuevo conjunto de medidas.

Desarrollar Procedimientos de Medición

Los procedimientos de medición establecen el modo en que serán recolectados los datos, y serán desarrollados tanto para la recolección y almacenamiento de datos, como para su análisis y reporte.

Algunas consideraciones que se deben tener en cuenta cuando se desarrollan procedimientos de medición de proyectos:

- * **Estructuras de Agrupación:** Las estructuras de agrupación capturan las relaciones entre las entidades medidas de modo tal que los datos puedan ser combinados y descompuestos como sea apropiado a la pregunta que se está considerando durante el análisis, adicionalmente será útil almacenar esta información junto a la medida. Las estructuras de agrupación más comunes son las siguientes, que se representan en forma simplificada en la figura 4-6:
 - * Estructura de Componentes, provee una base para incorporar información acerca del tamaño y calidad del producto.
 - * Estructura Funcional, provee una base útil para adicionar información acerca de tamaño funcional y calidad.
 - * Estructura de Actividades, provee una base para adicionar datos de esfuerzo y otros recursos.

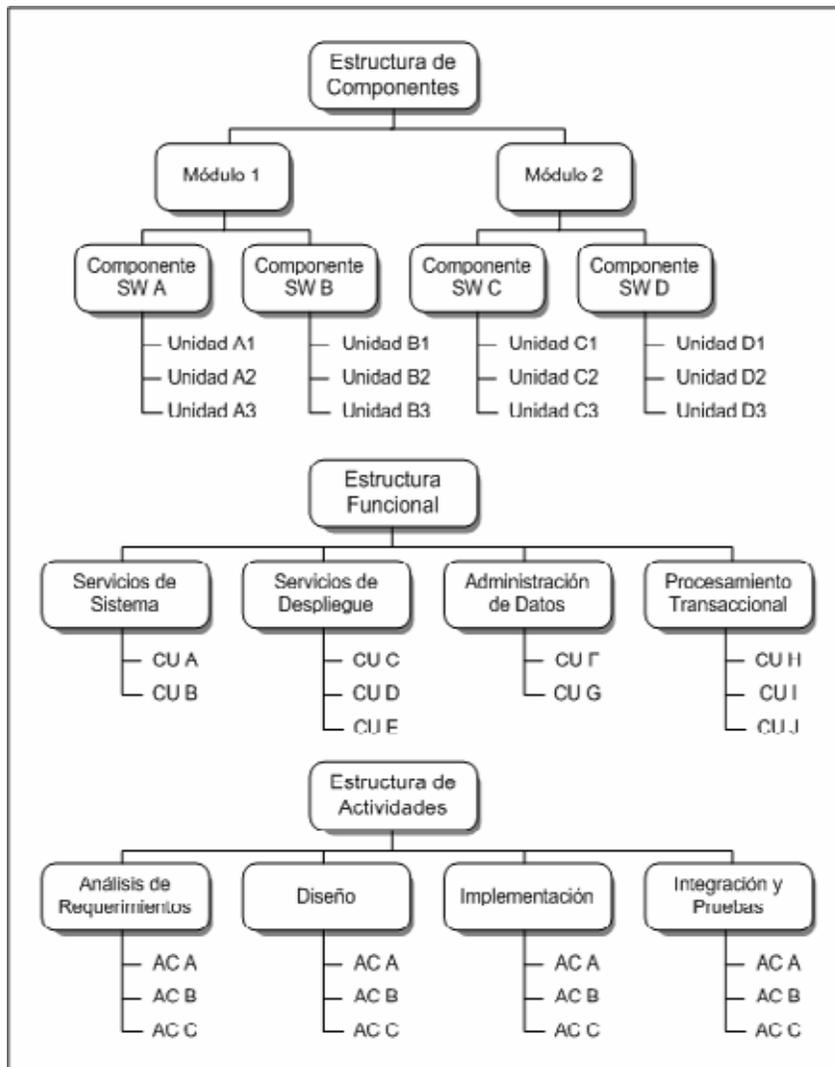


Figura 4-6: Estructuras de Agrupación de Medición.

- * **Periodicidad:** La recolección, análisis y reporte debe ocurrir con la periodicidad suficiente para soportar el proceso de toma de decisiones. Se debe considerar recolectar los datos en forma más frecuente al que son analizados para asegurar la calidad de los datos, esto, dado que la memoria humana puede deteriorar o perder datos, aún en el transcurso de un mes.
- * **Responsabilidades Individuales:** La responsabilidad para cada paso del proceso de medición debe asignarse a los profesionales apropiados; se debe identificar dentro del equipo a quienes proveen los datos, quienes realizarán los análisis, así como quienes utilizarán los resultados de la medición.
- * **Fuente:** Especificar la fase y actividad durante la cual cada medida base es recolectada y analizada.

- * **Mecanismos de Análisis y Reportes:** Se deben identificar las herramientas y procedimientos para analizar las medidas base y derivadas para producir indicadores. Aún para los datos que están fácilmente disponibles, la falta de una herramienta de análisis apropiada puede hacer costoso el uso de los datos.
- * **Valores Planificados y Actuales:** Muchos análisis involucran la comparación del rendimiento actual contra los planes, por lo cual la recolección habitualmente comienza durante la fase de planificación, y continúan sobre las fases posteriores.
- * **Gestión de la Configuración:** Es útil, en base a no perder datos, que la recolección y reportes sean administrados del mismo modo que el software, de forma de poder volver a versiones anteriores. Como mínimo, las fechas de recolección y análisis es necesario asociarlas con los datos y reportes.

Documentar el Plan de Medición del Proyecto.

El plan de medición debe ser documentado, y debe contener todos los resultados de la planificación que incluyen las necesidades de información, conceptos medibles, constructores de medición, y procedimientos de medición; adicionalmente, debe explicar como el proceso de medición será integrado a los procesos del proyecto de manera que quienes toman las decisiones puedan utilizar los resultados.

El plan de medición puede ser formal o informal, y puede ser desarrollado como un documento separado aunque comúnmente es incluido en el plan de desarrollo de software, la planificación del proyecto, o documentos similares de planificación. La tabla 4-6 muestra un esquema típico de un plan de medición.

El plan de medición es dinámico, al igual que el proceso de medición, y será actualizado en la medida que vayan surgiendo nuevas necesidades de información. Un plan de medición minucioso y completo, así como constructores de medición bien definidos, son esenciales para obtener buenos datos, y asegurar que el proceso de medición sea repetible, y que todos los involucrados comprendan las medidas, análisis y recomendaciones resultantes.

Parte Uno – Introducción
Propósito y Alcance
Parte Dos – Descripción del Proyecto
Características Técnicas y de Gestión del Proyecto
Parte Tres – Roles de Medición, Responsabilidades y Comunicaciones
Como se integrará la medición al Proceso del Proyecto Responsabilidades de Medición Herramientas y Base de Datos Fase de Implementación Criterio de Evaluación
Parte Cuatro – Descripción de Necesidades de Información de Proyecto
Metas y Factores Claves Organizacionales Lista Priorizada de Necesidades de Información del Proyecto
Parte Cinco – Especificaciones de Medición (Para cada necesidad de información)
Concepto Medible Entidades Relevantes Atributos Medidas Base Método de Medición Tipo de Método Escala Tipo de Escala Unidad de Medición Medidas Derivadas Función de Medición Indicador Modelo de Análisis Criterio de Decisión
Parte Seis – Estructuras de Agregación del Proyecto
Estructura de Agregación de Componentes Estructura de Agregación de Actividades Estructura de Agregación Funcional
Parte Siete – Mecanismos de Reporte y Periodicidad
Mecanismos de Reporte y Periodicidad Reportes de Contenido

Tabla 4-6: Esquema de plan de Medición de Proyecto.

4.2 Aplicación de las Medidas

Esta sección describe como el plan es implementado para producir los productos de información requeridos por el jefe de proyecto para tomar decisiones de software informadas. La figura 4-7 muestra las tres tareas asociadas con la ejecución de la medición en un proyecto de software.

El plan de medición provee el camino para implementar las medidas en el proyecto. La primera tarea involucra implementar los procedimientos de recolección de datos para obtener las medidas base definidas en el plan, a continuación, los procedimientos de análisis de datos son ejecutados para producir los indicadores diseñados necesarios para ejecutar el análisis planificado, y finalmente, la información obtenida a través del análisis es utilizada para formular recomendaciones que son reportadas a quien toma las decisiones en el proyecto. Estas tres

tareas de ejecución de medición son repetidas a través del ciclo de vida del proyecto periódicamente reflejando los cambios en las necesidades de información del proyecto y los cambios en las características del proyecto.

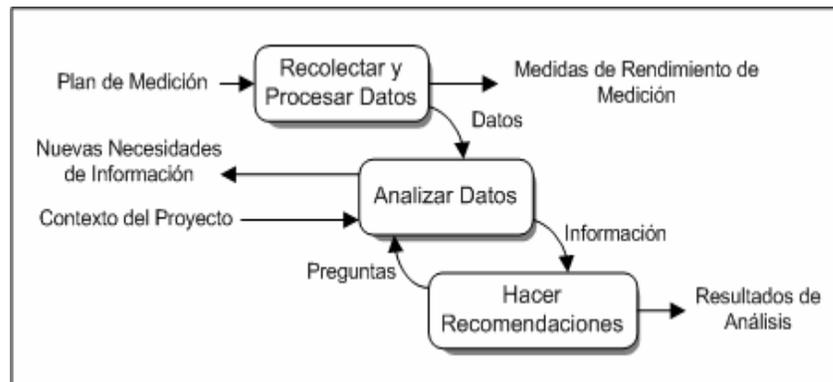


Figura 4-7: Tareas de la Ejecución de la Medición.

4.2.1 Recolectar y Procesar Datos

Las tareas operacionales de medición comienzan con la recolección de los datos. Los procedimientos definidos en el plan de medición serán integrados al proceso de software y serán convertidos en procedimientos operacionales. Esto implica asignar a los profesionales correctos, herramientas y prácticas en los lugares correctos dentro del proceso de software. Además, significa capturar y almacenar los datos para su posterior análisis y mejoramiento de procesos.

Las principales actividades de la recolección y procesamiento de datos son:

- * Capacitar al equipo que ejecutará la recolección de datos en los procedimientos definidos.
- * Capturar y registrar los datos para cada proceso que se está midiendo.
- * Utilizar formas y formatos definidos para suplir los datos recolectados a los individuos y grupos que ejecutarán los análisis.
- * Monitorear la conformidad de la ejecución y el rendimiento de las actividades de recolección y almacenamiento de los datos.

El cómo los datos son recolectados durante las actividades del proyecto, afectan los costos y precisión de esta tarea. Así mismo, es importante el cómo los datos son almacenados, dependiendo de la naturaleza de los procedimientos definidos, esto puede ser una labor muy

simple, o ser una labor muy compleja y altamente demandante. Es importante tener algunas consideraciones, tales como:

- * La utilización de herramientas automáticas de recolección de datos reduce, en la mayoría de los casos, los costos de recolección de datos.
- * El almacenamiento de datos debe soportar el tener datos planificados, y datos actuales; y adicionalmente, soportar la actualización de los datos.
- * Para almacenar los datos se pueden utilizar diferentes medios, o diferentes base de datos según la naturaleza de los datos a almacenar, lo importante es considerar que datos son dinámicos y cuales son más estables. Por ejemplo, los límites de control pueden almacenarse en una fuente organizacional diferente de la fuente donde se almacenarán los datos planificados y actuales en forma acumulativa.

La figura 4-8 representa como los datos almacenados en diferentes fuentes son combinados mediante los constructores de medición para llevar los datos juntos a la fase de análisis. Como se discutió anteriormente, el método de medición para cada una de las medidas base y el procedimiento de medición, proveen los detalles del “como”, incluyendo como los datos serán capturados, y “como” y “donde” serán almacenados. En este caso, los métodos de medición tanto para los valores planificados y actuales describen como los datos son agregados por semanas y acumulados sobre el tiempo. Una medida derivada es producida a partir de las medidas base de los planes y rendimiento actual, para proveer un indicador de la variación del porcentaje que existe en cada una de las semanas entre el desempeño planificado y el actual. Estas mediciones son entonces combinadas dentro de un indicador, en este caso representados por un gráfico de línea y una tabla de variación, que el jefe de proyecto y el equipo de desarrollo pueden revisar y utilizar como base de sus discusiones del estado y progreso de la codificación.

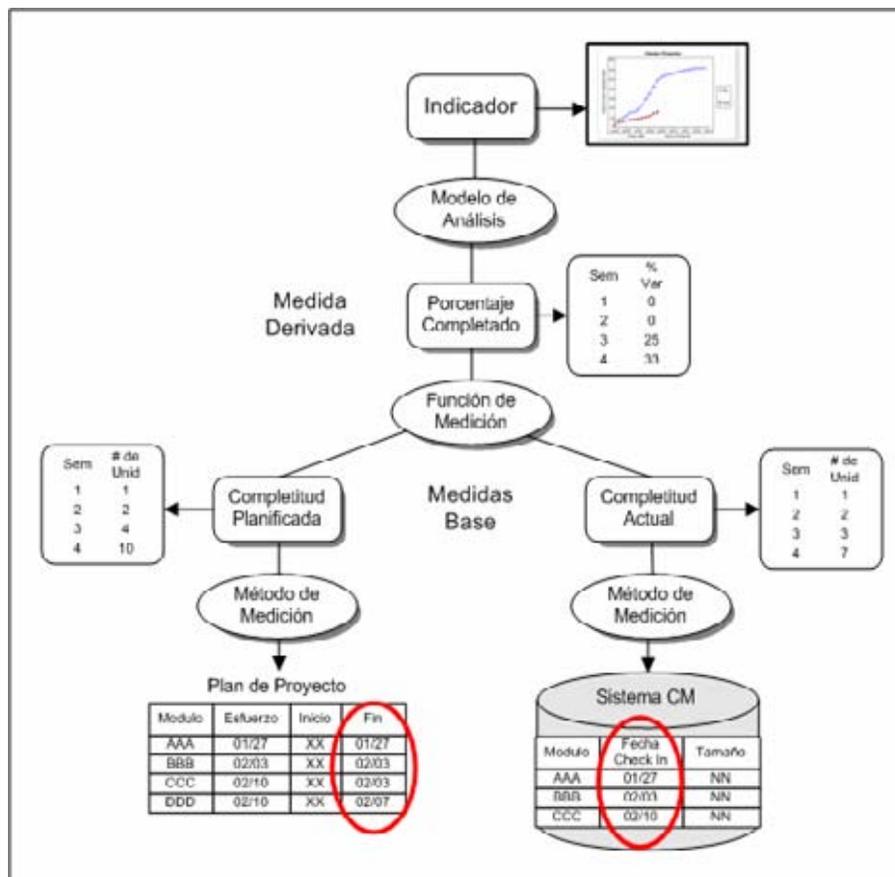


Figura 4-8: Combinación de Múltiples Fuentes de Datos.

Como este ejemplo muestra, las medidas base usualmente requieren procesamiento adicional antes de ser parte del análisis. Este puede involucrar la agregación de datos, normalización de datos, derivación de medidas adicionales por aplicación de fórmulas o funciones a los datos.

La confiabilidad de un proceso de análisis flexible depende de la gestión efectiva de los datos. Como con otros activos importantes del proyecto, los valores de las medidas base y los indicadores deben ser gestionados y controlados. Los conceptos de gestión de la configuración, tales como el acceso controlado de escritura y utilización de números de versión para archivos y conjuntos de datos, deberán ser aplicados para mantener la integración de los datos. Mantener los datos sincronizados también es importante cuando los datos deben ser extraídos desde sus fuentes originales, y almacenados en algún lugar que facilite su análisis. Todos los datos deben ser identificados por su fecha y fuente de recolección; esto ayudará a los analistas de medición a alinear los descubrimientos y conclusiones con los eventos del proyecto y permitirán la comparación de datos a través del tiempo y de diferentes fuentes.

Aún si las especificaciones son precisas y bien entendidas por el dueño del proceso, todavía muchos problemas de datos aparecerán cuando los datos estén siendo generados, capturados, almacenados, y procesados. Los problemas típicos incluyen los siguientes:

- * Datos no capturados: cuando la generación de los datos depende de una actividad manual, ¿Qué pasa cuando la actividad es by-paseada? El proceso debiera permitir caminos alternativos para corregir los datos defectuosos.
- * Valores erróneos capturados: aún cuando las medidas base son claramente especificadas y las personas son capacitadas en como registrar la información, información deficiente es todavía ingresada.
- * Errores en el sistema de medición: la mayoría de los sistemas de medición son herramientas comerciales, planillas de cálculo propias, o base de datos que cambian constantemente. Estos cambios pueden llevar a errores en la recolección y procesamiento de los datos, por lo cual todos los cambios y mejoras al sistema de medición y herramientas asociadas deben ser probados.

1	Datos Efectivos ¿Están los datos relacionados a las actividades de proyecto actuales? ¿Los datos están actualizados? ¿Todos los datos relevantes en la fase actual, han sido recolectados y procesados?
2	Atributos y Estructura de Agregación de Datos ¿Los valores de los campos en la estructura de agregación de datos son consistentes para todos los registros? ¿Los valores de los campos que serán utilizados en los registros de estructura de agregación son consistentes para todos los equipos de proyecto? ¿Se utilizan las mismas unidades de medidas para todos los equipos de proyecto?
3	Contenido de los Datos ¿Los datos están acorde a la especificación de medición del plan? Para los datos de escala de intervalo / porcentaje - ¿Los valores están dentro de los rangos aceptables? ¿El formato de los campos es el correcto?
4	Complejidad de los Datos ¿Se han recolectado todos los datos? ¿Se ha podido obtener todas las medidas base y derivadas? ¿Se han entregado los datos de contexto del proyecto?
5	Cambios en los Datos Existentes ¿Tiene el plan valores que cambian inesperadamente? ¿Cambios en los valores planificados representan una re-planificación mayor? ¿Los valores actuales cambian inesperadamente?
6	Integridad de los Datos ¿Los datos lucen como se espera? (existe variación en los datos esperados) ¿Los datos muestran valores extremos? (uno o más valores escapan del resto de los valores en magnitud)

Tabla 4-7: Ejemplo Checklist de Verificación de Datos.

Los datos deben ser verificados antes de ser utilizados para análisis. La verificación de los datos debe considerar tanto la precisión de los datos como son registrados, y la fidelidad con la

cual son procesados. Un examen de los datos almacenados puede frecuentemente descubrir problemas. Los "checklist" pueden proveer una herramienta útil para la verificación de datos. La tabla 4-7, contiene un ejemplo de un checklist de verificación.

Cualquier dato de interés o inconsistencias deben ser resueltos por medio de la comunicación con el proveedor del dato en el equipo de proyecto. Datos perdidos, cambios significativos en los valores, o cambios en la estructura de los datos deben ser siempre discutidos con el equipo de proyecto. El desarrollo de software es una actividad intensamente humana; frecuentemente las cosas no son como se planifican. Debido a que el rendimiento cambia de semana a semana, es raro que los resultados actuales calcen exactamente con el plan.

4.2.2 Análisis de Datos

La tarea principal de la actividad de aplicación de medición es analizar los datos, aquí es donde se debe enfocar el mayor esfuerzo de esta actividad. Esta tarea transforma los valores de las medidas base en valores para indicadores, el bloque de construcción básico del análisis. Los indicadores y criterios de decisión asociados son utilizados para tomar decisiones de planificación o determinar las necesidades de acciones correctivas una vez que el proyecto ha comenzado. Estos análisis son llevados a cabo por la ejecución de los análisis de datos definidos en el plan de medición. Sin embargo, dado que todas las necesidades de información y preguntas de gestión no pueden ser anticipadas durante la planificación, el procesamiento de análisis de datos debe también proveer el uso de técnicas de análisis alternativas.

La figura 4-9 muestra los tres tipos de análisis típicos utilizados para soportar las decisiones de gestión del proyecto: estimación, análisis de factibilidad, y análisis de rendimiento. Cada tipo de análisis se basa en técnicas de medición únicas, con sus propias entradas, y produce diferentes tipos de resultados. El foco del análisis siempre cambia sobre el transcurso del proyecto, y para la mayoría de los proyectos, los tres tipos usualmente deben ser abordados.

Tempranamente en los proyectos de software, y cuando los planes son actualizados, el foco está en la estimación para soportar la planificación del proyecto. La estimación establece valores objetivos para tamaño del producto, esfuerzo del proyecto, programación del proyecto, y otros objetivos claves. La estimación usualmente comienza con datos históricos y supuestos acerca de los procesos y productos del proyecto. La estimación también identifica inciertos que son retroalimentados en la identificación de las necesidades de información. La estimación

debiera ser conducida durante las fases de planificación inicial del proyecto y cuando se efectúen re-planificaciones.

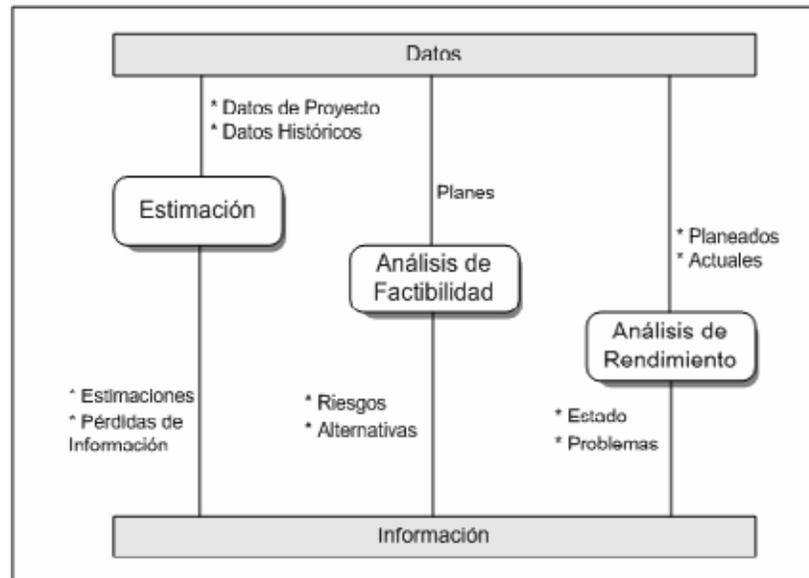


Figura 4-9: Tipos de Análisis Típicos.

Cuando la planificación del proyecto está cerca de ser completada, el foco se desplaza al análisis de factibilidad. Este tipo de análisis determina tanto los planes y objetivos del proyecto como que sean realistas y alcanzables. El análisis de factibilidad utiliza datos históricos, experiencia, y chequeo de consistencia para evaluar los planes del proyecto. Esto también ayuda a definir la interdependencia entre los parámetros de planificación claves relacionados a las capacidades del producto, los costos, y la programación. Los riesgos identificados durante esta fase deben ser incorporados en el proceso de gestión de riesgos del proyecto. El análisis de factibilidad debe ser conducido durante la fase inicial de planificación del proyecto y durante todas sus re-planificaciones subsecuentes.

Una vez que el proyecto ha comenzado, el análisis de rendimiento determina cuando el proyecto está acorde a los planes, supuestos, y objetivos definidos. Las entradas incluyen los datos actuales y planificados de rendimiento. El análisis de rendimiento está diseñado para identificar riesgos, problemas, y acciones correctivas y preactivas. El análisis de rendimiento debe ser conducido en forma regular a través de todo el ciclo de vida del proyecto.

En este documento no se ahondará mayormente en las técnicas de medición utilizadas por cada uno de los análisis, dado que escapa al alcance de la investigación. Durante el análisis es donde entran en juego las perspectivas descritas anteriormente.

Generación de Indicadores

Como se ha descrito anteriormente, los indicadores son combinaciones de medidas base y/o derivadas y criterios de decisión o evaluación predefinidos. Además, se ha señalado que un conjunto inicial de indicadores es diseñado durante la actividad de planificación de medición para soportar las necesidades de información identificadas, sin embargo, indicadores nuevos o adicionales pueden ser necesarios para abordar nuevos factores claves y preguntas de gestión que aparezcan durante el análisis.

Pocas veces una necesidad de información puede ser cubierta únicamente mediante la recolección de datos del rendimiento actual. La mayoría de las veces, los datos deben ser comparados con valores esperados, los cuales pueden ser valores planificados, medias históricas, límites derivados o valores de borde. Usualmente los valores esperados convierten a las medidas base en un indicador. Adicionalmente, criterios de decisión predefinidos son utilizados para decidir si las diferencias entre los valores actuales y esperados son significativas.

En la mayoría de los proyectos, las necesidades de información evolucionan rápidamente. Mientras el plan de medición puede contener un conjunto de indicadores predefinidos diseñados para proveer entendimiento de necesidades de información conocidas, el proceso de medición deberá permitir la generación dinámica de indicadores para ayudar a investigar problemas que puedan aparecer. Dado que las medidas base y derivadas pueden ser combinadas de muchas formas diferentes, varios indicadores pueden ser construidos a partir del mismo conjunto de medidas. Esto permite una gran flexibilidad en el direccionamiento de necesidades de información y análisis de factores claves y en la adaptación para cambios en los requerimientos de información.

La figura 4-10 muestra una vista compuesta de este enfoque. Cuando los índices de cierre no están conforme con lo esperado y/o cuando la densidad de defectos es más alta que lo esperado, indicadores más detallados pueden ser generados para ayudar a descubrir las causas de estos problemas. Los nuevos indicadores pueden ayudar a determinar que tipos de defectos están ocurriendo más a menudo, que subsistemas son más propensos a presentar defectos, y cuanto tiempo ciertos defectos han estado abiertos.

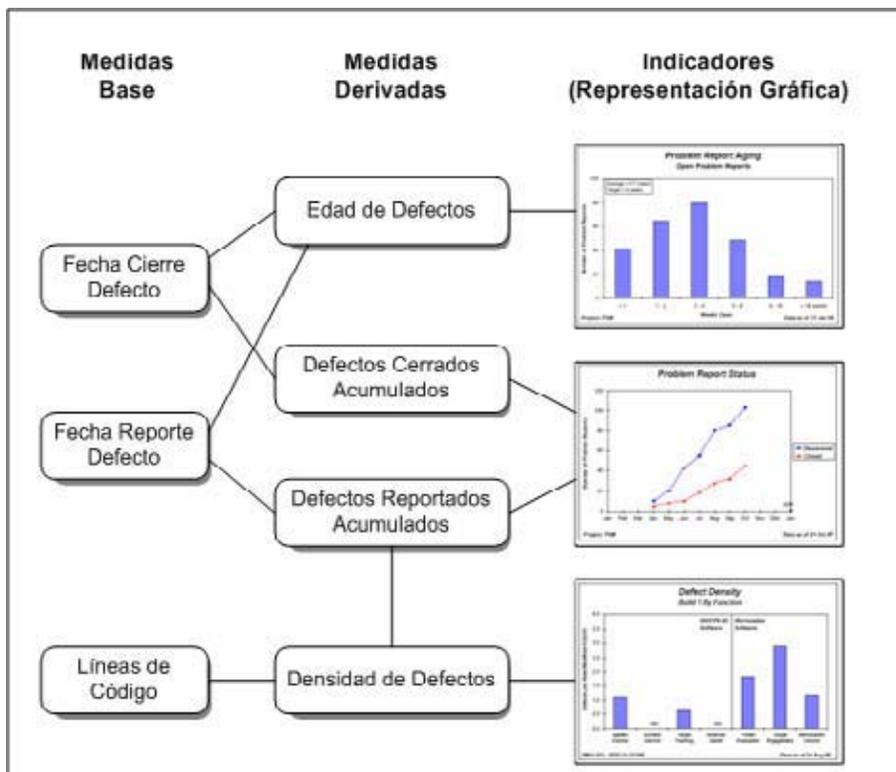


Figura 4-10: Vista Compuesta de Múltiples Indicadores.

Representación de Indicadores

Los indicadores son a menudo mejor desplegados gráficamente más que como una tabla de números. Los gráficos marcan tendencias en los datos, varianzas, y relaciones más obvias y fáciles de interpretar. Muchas técnicas de diagramación simples pueden ser utilizadas para producir representaciones gráficas de datos medidos. Las tres más comúnmente usadas son:

- * Gráficos de Líneas: Proveen una manera de representar una serie de valores de datos medidos a través del tiempo. Múltiples series de datos pueden representarse en un único gráfico, por ejemplo para realizar comparaciones.
- * Gráficos de Barra: Provee una manera para representar la cantidad o frecuencia de un conjunto de componentes o eventos.
- * Gráficos de Dispersión: son utilizados para mostrar posibles relaciones entre dos factores. Estos son producidos por medio de la diagramación de una serie de coordenadas x e y. Una vez diagramados los puntos permite analizar la tendencia de la relación.

Gráficos bien diseñados facilitan la comunicación de los resultados de las mediciones. Los gráficos no deben ser complejos, deben entregar un mensaje claro. Es mejor tener múltiples

gráficos a tener muchas medidas en un solo gráfico. Algunas directivas para el desarrollo efectivo de gráficos son:

- * Proveer un título descriptivo para identificar la necesidad de información o concepto medible representado por el gráfico.
- * Incluir el nombre del proyecto como cabecera o pie del gráfico.
- * Asegurar que las etiquetas de los ejes incluyan unidades de medida y marcadores de escala.
- * Proveer anotaciones de los hitos más importantes del proyecto cuando se muestren tendencias de tiempo.
- * Usar las técnicas de conectar los puntos más que el ajuste de curvas para representar tendencias.
- * Incluir una fecha indicando periodo representado por los datos. Muchos gráficos mostrarán planes o proyecciones.
- * Usar estilos contrastantes para líneas, barras, puntos de datos que representen diferentes medidas base o derivadas.
- * Etiquetar las líneas, barras, y puntos de datos directamente en la figura si es posible. De otro modo, usar una leyenda que asocie una etiqueta con cada uno de los estilos contrastantes de líneas, barras o puntos de datos.
- * Identificar las fuentes de datos. Incluir el número de versión de los documentos.
- * Usar convenciones similares para todos los reportes.
- * Ajustar el eje horizontal para mostrar las ventanas de tiempo esperadas para los datos diagramados.
- * Etiquetar eventos significantes y tendencias en los datos.
- * Chequear que el uso de porcentajes no oculten tendencias significativas en los datos.
- * Usar los mismos ejes en los gráficos cuando se comparen dos gráficos.

El Modelo de Análisis Integrado

Hasta ahora, se ha enfocado la discusión en la generación de un único indicador para proveer conocimiento acerca de una necesidad de información del proyecto. Hay que notar que las

categorías de información comunes para los proyectos de software no son independientes unas de otras.

El modelo de análisis integrado representado en la figura 4-11, muestra las relaciones entre las categorías de información. Este modelo ayuda a construir la capacidad de alertar tempranamente dentro del proceso de medición y ayuda a relacionar las necesidades de información del proyecto y factores claves en términos de causa y efecto.

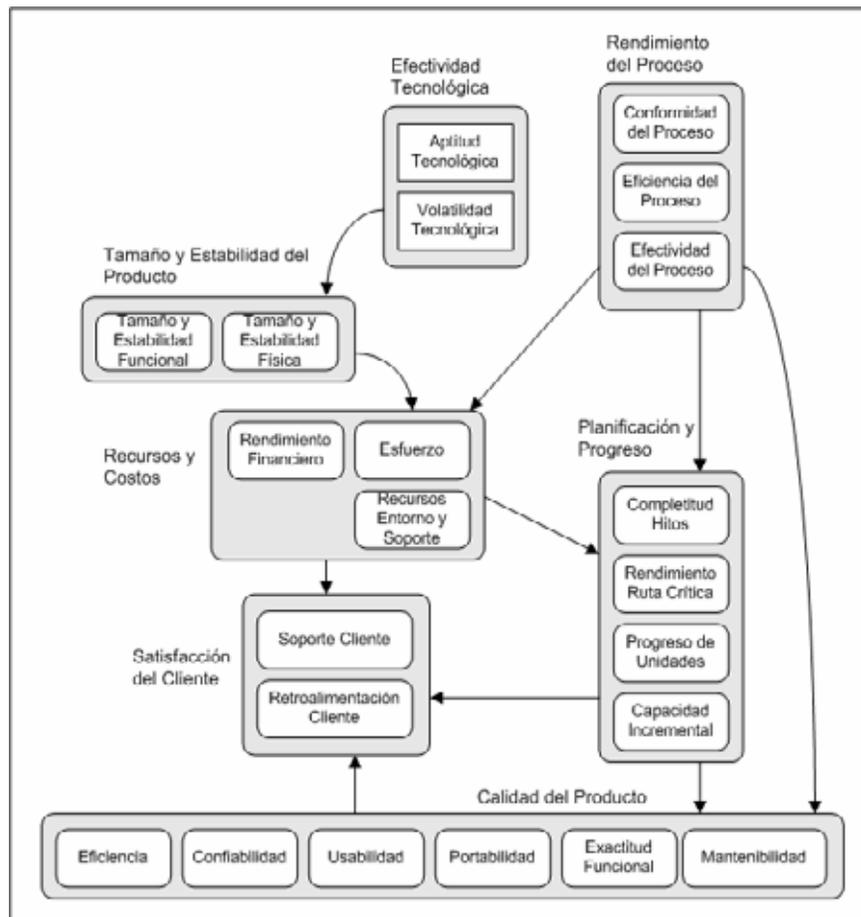


Figura 4-11: Modelo de Análisis Integrado.

Cada una de las flechas en la figura, representa una relación; por ejemplo, así como el tamaño y estabilidad del producto cambia, se afectan los recursos y costos. Cada categoría de información está relacionada con su vecina en el modelo de análisis integrado. Esto significa que los factores claves superiores pueden servir como indicadores guías de problemas con factores claves inferiores. De otro modo, los factores claves superiores pueden ser investigados para descubrir las causas de origen de problemas actuales.

Adicionalmente, la figura 4-11, se muestran los conceptos medibles en cada categoría, lo cual facilita la navegación a través del modelo de análisis integrado. Por ejemplo, dos áreas de

interés para un determinado proyecto son la incertidumbre de los requerimientos y la habilidad para reunir los compromisos de costos y tiempos. Una medida comienza a indicar que el tamaño estimado de un componente ha ido en aumento desde su estimación inicial.

El modelo de análisis integrado muestra que el aumento del tamaño es un indicador guía de un incremento proyectado en el esfuerzo de desarrollo y costo, lo cual, tiene un impacto potencial sobre la programación de tiempos del proyecto. El paso siguiente sería analizar la varianza entre el esfuerzo actual y planificado en las fechas observadas para el tamaño, lo cual permitiría reflejar si el aumento en el tamaño del componente está teniendo un impacto en el esfuerzo y por consiguiente impactará los tiempos comprometidos.

Este ejemplo muestra como el modelo de análisis integrado puede ser utilizado como una herramienta para la resolución de problemas, proyección o predicción de salidas, y formulación de recomendaciones. Esto también ilustra que el proceso de análisis y la generación de indicadores son dinámicos. Los indicadores pueden cambiar y evolucionar en el tiempo para dar respuesta a diferentes, pero relacionadas, preguntas y para proveer diferentes vistas de los resultados de medición. Cada necesidad de información puede requerir la aplicación de diferentes conjuntos de técnicas de análisis en orden a aislar, entender y facilitar la resolución de un problema o para una mejor comprensión y mitigación de riesgos. Así como los problemas, riesgos e información del proyecto cambian, los tipos de análisis ejecutados y los indicadores generados deben ser revisados. El modelo de análisis integrado aplica igualmente para los análisis de estimación, análisis de factibilidad y análisis de rendimiento.

4.2.3 Hacer Recomendaciones

El propósito último de la medición es ayudar a los ingenieros, clientes y administradores a efectuar decisiones informadas. La tarea final en la actividad de ejecución de la medición involucra la formulación de recomendaciones y la comunicación de estas recomendaciones en conjunto con los resultados del análisis para los encargados de la toma de decisiones apropiados. Así como los resultados son discutidos y la información es comunicada a varias partes, pueden surgir preguntas adicionales. Esta tarea de hacer recomendaciones y la tarea de analizar los datos deben ser ejecutadas de manera iterativa hasta que todas las necesidades de información para la toma de decisiones han sido presentadas.

El análisis de los factores claves del proyecto debería dar como resultado lo siguiente:

- * Evaluación completa del proyecto: La evaluación debería incluir el estado respecto a conocer las necesidades de información del proyecto y las proyecciones de rendimiento hasta el final.
- * Identificación de problemas específicos, riesgos, y pérdidas de información: La ubicación, causa, e impacto de los obstáculos actuales o potenciales para el éxito del proyecto deberían ser descritos, en conjunto con cualquier tendencia significativa.
- * Recomendaciones: Estas deberían incluir acciones alternativas, con ventajas y desventajas de cada una, para direccionar los riesgos subyacentes y problemas identificados en el análisis.
- * Nuevos factores claves potenciales: La naturaleza del problemas o acciones propuestas puede dar como resultado nuevas necesidades de información, las cuales pueden afectar el enfoque del proceso de medición.

Los resultados de medición deberían ser incorporados dentro de los reportes de estado del proyecto entregados a los gerentes o jefes de proyecto y clientes. La mayoría de los equipos de proyecto son requeridos para presentar su estado para revisiones internas de gestión, y algunas veces, para revisiones de hitos periódicas a los clientes. La utilización del modelo de análisis integrado ayuda a explicar como los diferentes factores contribuyen a resultados del proyecto certeros. Esto ayuda en la dirección de los responsables de la toma de decisiones hacia una discusión productiva y no polémica de alternativas cuando algunas acciones correctivas son requeridas.

Las acciones deben ser tomadas para materializar cualquier beneficio de la medición. Recomendaciones bien formuladas facilitan la acción, estas acciones habitualmente involucran hacer ajustes a recursos del proyecto para optimizar el rendimiento dentro de las restricciones del proyecto. Otras acciones pueden requerir la participación de responsables de tomar decisiones externos tales como gerentes o el cliente para tomar una acción. Estas pueden incluir acciones tales como:

- * Extender la planificación del proyecto para mantener la calidad.
- * Agregar recursos de desarrollo para mantenerse sobre los tiempos planificados.
- * Eliminar capacidades funcionales para controlar los costos.
- * Cambiar el enfoque de desarrollo o proceso de adquisición para mejorar el rendimiento.

- * Re-asignar recursos y presupuestos del proyecto para soportar actividades claves.

Algunos de estos cursos de acción afectan compromisos de proyecto externos y no pueden ser tomados en forma unilateral. Los responsables de la toma de decisiones necesitan conocer como los resultados de análisis y recomendaciones fueron derivadas. Todos los supuestos deberían estar bien definidos, de modo que los administradores puedan justificar las decisiones y trazar recomendaciones de regreso a los datos subyacentes.

La medición es más rápidamente aceptada y más efectivamente utilizada cuando los resultados están ampliamente disponibles. Esto puede lograrse de diversas maneras, las reuniones del equipo de proyecto proveen un foro común para la revisión de indicadores, derivación de conclusiones y formulación de recomendaciones. Este tipo de interacción de equipo puede descubrir eventos e información cualitativa que ayude a explicar los datos. Sistemas web en redes internas es otro enfoque popularmente usado para dejar los resultados de medición disponibles. Reportes formales y el correo electrónico también pueden ser utilizados como medios de comunicación.

4.3 Evaluación de la Medición

Como ya se ha mencionado en reiteradas oportunidades, el objetivo de un programa de medición es generar información que provea conocimiento o entendimiento en las necesidades de información del proyecto de modo que el jefe de proyecto o el gerente de área u otro ejecutivo puedan tomar decisiones informadas ya sea con respecto al proyecto u otro punto. Es improbable que la primera implementación de un programa de medición cumpla con este objetivo perfectamente. La experiencia irá haciendo que se descubran mejores medidas y métodos de procesamiento y análisis de datos. Así como el proyecto y las capacidades organizacionales maduren, las necesidades de información aumentaran, y crecerá el número de usuarios de los resultados de medición. Debido a lo anterior, el programa de medición debería ser evaluado regularmente y tomar acciones para mejorarlo continuamente.

La actividad de evaluación de la medición está compuesta por cuatro tareas, tal como muestra la figura 4-12. La primera tarea, Evaluar Medidas, considera si tanto los constructores de medición, las medidas base, medidas derivadas, e indicadores, satisfacen las necesidades de información del jefe de proyecto. La segunda tarea, Evaluar el Proceso de Medición, examina la

operación del proceso de medición del proyecto. La evaluación de un proceso de medición debería considerar tres dimensiones:

- * Rendimiento cuantitativo del proceso.
- * Conformidad del proceso de medición con el plan de medición.
- * Capacidad (madurez) del proceso de medición en relación a los estándares esperados.

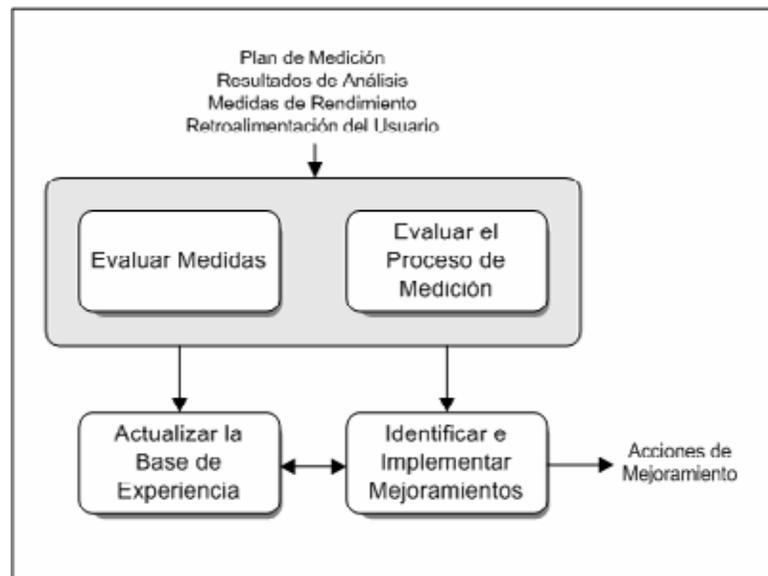


Figura 4-12: El Proceso de Evaluación de la Medición.

La tercera tarea, Actualizar la Base de Experiencia, identifica y captura lecciones aprendidas desde la evaluación de las medidas y el proceso. Algunas de estas lecciones podrán ser implementadas sobre el proyecto en curso, mientras que otras podrán beneficiar únicamente a futuros proyectos. La tarea final, Identificar e Implementar Mejoramientos, identifica las acciones específicas tomadas para mejorar las medidas o el proceso de medición en un proyecto en curso. Estos mejoramientos pueden ser logrados por la actualización del plan de medición en el siguiente ciclo a través de la actividad de Planificación de Medición, o como una iniciativa de mejoramiento paralela.

Es necesario evaluar tanto las medidas y el proceso de medición en forma regular. La planificación de estas evaluaciones por adelantado ayuda a asegurar que lo anterior ocurra. El plan de evaluación puede ser parte del plan de medición o del plan de mejoramiento de procesos organizacionales. Definir el criterio de evaluación por anticipado contribuye a la objetividad de la actividad de evaluación así como asegura la completa cobertura de los datos,

productos de información, actividades de medición, recursos, e infraestructura. Un buen proceso de evaluación puede incluso realizar un programa de medición ya adecuado.

Tarea Evaluación	Criterio de Evaluación	Concepto Medible	Categoría de Información
Medidas	Precisión Usabilidad Confiabilidad	Exactitud Funcional Usabilidad Confiabilidad	Calidad del Producto
Rendimiento del Proceso	Puntualidad Eficiencia Contención de Defectos Satisfacción del Cliente	Eficiencia del Proceso Eficiencia del Proceso Efectividad del Proceso Retroalimentación Cliente	Rendimiento del Proceso
Conformidad del Proceso	Checklist de Auditoria	Conformidad del Proceso	Rendimiento del Proceso
Capacidad del Proceso	Modelo de Referencia	Conformidad del Proceso	Rendimiento del Proceso

Tabla 4-8: Criterios de Evaluación del Proceso de Medición y Conceptos Medibles.

La tarea de evaluación descrita en este punto se basa en criterios predefinidos. La tabla 4-8 muestra estos criterios relacionados a los conceptos medibles discutidos con anterioridad. Algunos de estos criterios pueden ser evaluados utilizando indicadores cuantitativos, y otros requerirán de métodos de evaluación subjetivos.

4.3.1 Evaluar las Medidas

En esta tarea se evalúa los productos del proceso de medición: medidas base, medidas derivadas, indicadores, y resultados de análisis. La efectividad de cada uno de estos productos de medición deberá ser evaluada contra los criterios predefinidos. Los criterios que se describen a continuación están adaptados desde el estándar ISO/IEC 15939 – “Software Measurement Process”. Muchos de estos criterios son subjetivos, algunos son específicos para medidas o resultados de análisis, y no necesariamente son independientes unos de otros.

- * **Uso de Productos de Medición:** Este criterio mide el grado en el cual el jefe de proyecto u otro usuario de medición utilizan los resultados del análisis e interpretaciones producidas por el proceso de medición.
- * **Confianza en los Resultados de Medición:** Este criterio considera el grado en el cual los usuarios de los productos de información tienen confianza en las medidas, e interpretaciones incorporadas en los resultados de la medición.

- * Aptitud de la Medición para el Objetivo: Este criterio evalúa el grado en el cual los resultados de medición pueden evidenciar que satisfacen efectivamente las necesidades de información identificadas. La aptitud para el objetivo incluye:
 - * El grado en el cual las medidas actualmente miden lo que tienen proyectado medir.
 - * El grado en el cual las medidas tienen demostrada la habilidad para predecir lo que ellas tienen proyectado predecir.
- * Comprensibilidad de los Resultados de Medición: Este criterio gradúa la facilidad con la cual el usuario de medición entiende los indicadores e interpretaciones producidos por el proceso de medición. Es menos probable que los resultados de medición sean utilizados si ellos son difíciles de comprender.
- * Satisfacción de los Supuestos de un Modelo de Indicador: Este criterio mide el grado con el cual los supuestos inherentes en el modelo sobre el cual un indicador está basado han sido satisfechos.
- * Precisión de la Medición: Este criterio examina si la implementación de una medida está conforme a su definición como específica un procedimiento de medición. La precisión de la medición puede ser incrementada asegurando los siguientes puntos:
 - * El monto de datos perdidos está dentro de los umbrales especificados.
 - * El número de inconsistencias señaladas en la entrada de datos está dentro de los umbrales especificados.
 - * El número de oportunidades de medición perdidas está dentro de los umbrales especificados.
 - * Todas las medidas base han sido bien definidas, y estas definiciones han sido comunicadas tanto a los proveedores como los usuarios de datos.
- * Confiabilidad de la Medición: Este criterio mide el grado en el cual la aplicación repetida de los métodos de medición produce resultados consistentes. Los métodos de medición subjetivos tienden a exhibir una menor confiabilidad que los métodos objetivos. La confiabilidad de una medición debería considerarse desde dos perspectivas:
 - * Repetición: el grado en el cual el uso repetido de la medida en la misma organización siguiendo el mismo método de medición bajo las mismas condiciones produce resultados que pueden aceptarse como idénticos.

- * Capacidad de Reproducción: el grado en el cual el uso repetido de la medida en la misma organización siguiendo el mismo método de medición bajo diferentes condiciones produce resultados que pueden ser aceptados como idénticos.

4.3.2 Evaluar el Proceso de Medición

Definir buenas medidas no es suficiente para asegurar el éxito. Aún un proceso de medición basado sobre medidas apropiadas y probadas puede tener un rendimiento inefectivo por un proceso de medición descoordinado y que no responde. La operación del proceso de medición debe ser evaluada desde tres perspectivas:

- * Rendimiento: evaluación de las entradas, salidas, y efectos del proceso de medición.
- * Conformidad: comparación del proceso de medición actual con una descripción de su implementación proyectada.
- * Madurez: comparación del proceso de medición con una evaluación (benchmark) externa de la madurez del proceso.

Estas tres vistas de la operación del proceso deberían ser evaluadas en forma regular. La evaluación del rendimiento cuantitativamente requiere de un significativo monto de datos. Valores de datos de un año es lo recomendado generalmente. La conformidad debería ser auditada sobre una base semestral, mientras que las evaluaciones de madurez habitualmente son llevadas a cabo cada dos o tres años. El analista de medición, por lo general, evalúa el rendimiento del proceso de medición, mientras que grupos independientes habitualmente conducen auditorías de conformidad y evaluaciones de capacidades de la madurez del proceso.

Rendimiento

El proceso de medición es en sí mismo una entidad sujeta a medición. Al evaluar el rendimiento del proceso de medición, se deben considerar medidas objetivas de salida, de programación, y utilización de recursos así como la retroalimentación subjetiva del jefe de proyecto y otros usuarios. Las medidas seleccionadas deben conducir las necesidades de información de los usuarios de medición, analistas y proveedores de datos. Los datos recolectados también pueden ayudar a planificar procesos de medición futuros.

Cuatro criterios útiles para la evaluación del rendimiento del proceso de medición son:

- * Oportunidad: El proceso de medición debe proveer información al jefe de proyecto o encargado de la toma de decisiones, de manera tal que las decisiones puedan afectar la

salida de la actividad medida. El “a tiempo” dependerá de las necesidades del usuario de medición.

- * **Eficiencia:** Los beneficios del proceso de medición deben pesar más que el costo de llevarlo a cabo. Un mayor índice costo/beneficio indicará un proceso más eficiente, como alternativa se puede utilizar el retorno de la inversión para evaluar la eficiencia del proceso. La mayor dificultad para medir la eficiencia del proceso de medición está en determinar los beneficios del mismo para poder obtener el índice costo/beneficio. Una alternativa es representar los beneficios como el costo en que se habría incurrido de haberse manifestado ciertos riesgos, de haberse retrasado el proyecto, o de no haber corregido a tiempo un defecto.
- * **Contención de Defectos:** El proceso de medición debería minimizar la introducción de datos y resultados erróneos, mientras que remueve cualquier defecto tan pronto como sea posible. Estudiar los defectos descubiertos después de la entrega de los resultados de los análisis, ayuda a desarrollar estrategias adicionales de contención de defectos dentro del proceso de medición; una medida base típica corresponde al número total de problemas encontrados y el número descubierto previo a la presentación de los resultados de análisis.
- * **Satisfacción del Cliente:** Los usuarios de la medición deben ser satisfechos con la información provista por el proceso de medición. Esta satisfacción no sólo incluye los resultados de la producción de reportes estándar, sino que también del soporte provisto a requerimientos especiales de información.

Conformidad del Proceso de Medición

Un proceso de medición puede ser evaluado en términos de su conformidad con una descripción de sus funciones previstas. Esta descripción usualmente está definida en el plan de medición y documentación suplementaria. El plan puede ser derivado desde procesos documentados de la organización, tales como estándares y procedimientos, o puede ser adaptado a partir de referencias externas tales como la guía PSM o el estándar ISO/IEC-19939. La conformidad con el plan usualmente es determinada por medio de una auditoría independiente; por ejemplo, las auditorías pueden ser llevadas a cabo por el grupo de aseguramiento de calidad o como parte de una revisión ISO 9000 del sistema de gestión de calidad de la organización.

Las auditorías se centrarán en las actividades del proceso de medición, y utilizan ciertos criterios definidos, los cuales verifican la adherencia del proceso de medición a los procedimientos de medición y productos de trabajo definidos en el plan original de medición. Definiciones de medidas, procedimientos de recolección de datos y procedimientos de gestión de base de datos de la medición son ejemplos de productos de trabajo que pueden estar definidos en el plan de medición y que podrían ser revisados. Desviaciones significativas de lo planificado deberán ser revisadas y analizadas para identificar su causa y poder tomar acciones correctivas.

Madurez del Proceso de Medición

Así como un proceso de medición madura, tareas adicionales y guías más detalladas para las tareas existentes pueden ser agregadas para mejorar la repetición y desempeño del proceso. La organización puede descubrir estas mejoras a través de su propia experiencia y puede adoptarlas como resultado de la comparación de estudios externos o haciendo referencia a buenas prácticas de estándares.

Para evaluar la madurez del proceso de medición, es útil recurrir a uno o más estándares, tales como CMMI o ISO/IEC-15504, que describen como llevar a cabo esta tarea y tienen comprobada su efectividad. Los resultados de esta evaluación pueden ser utilizados para identificar mejoras potenciales al proceso de medición, para monitorear el progreso de las mejoras, o para seleccionar entre procesos de medición alternativos.

Llevar a cabo una evaluación de madurez del proceso efectiva requiere proveer un equipo de trabajo cuidadoso y una planificación prolija. Independientemente de que tan bien definido sea un método de evaluación del proceso, los resultados de la evaluación aún incluirán juicios subjetivos del equipo de evaluación. Los miembros del equipo deben poseer colectivamente la mezcla correcta del dominio de conocimiento, experiencia en ingeniería, y habilidades de evaluación para cada evaluación específica.

En la mayoría de los casos el proceso de medición de software será evaluado como parte de una evaluación completa de los procesos organizacionales del ciclo de vida de software. CMMI define un área de proceso de Análisis y Medición que provee un marco de trabajo para la evaluación de prácticas de medición. Similarmente, ISO/IEC-15504 define un proceso de medición.

La mayor parte de los métodos de evaluación involucran la revisión de documentación y entrevistas a los profesionales. El plan de medición y políticas relacionadas y procedimientos proveen información esencial para la evaluación del proceso. Otros artefactos importantes incluyen reportes de medición y material de capacitación. Los profesionales son usualmente entrevistados en grupos funcionales apropiados, tales como encargados de la toma de decisiones, analistas de medición y proveedores de datos.

Los resultados de una evaluación de capacidad incluyen conclusiones detalladas de fuerzas y debilidades, así como un resumen del nivel de madurez para el proceso de medición. Cada método de evaluación provee un mecanismo para alcanzar un nivel de madurez basándose sobre observaciones de la documentación y las entrevistas. Los datos de evaluación detallados usualmente son confidenciales así como las fuentes individuales no pueden ser identificadas. Sin embargo, resultados compuestos podrían ser provistos a la organización evaluada de modo que los problemas identificados puedan ser mejor comprendidos y las acciones correctivas puedan ser más efectivas.

4.3.3 Actualizar la Base de Experiencia

Esta tarea actualiza la base de experiencia de medición con lecciones aprendidas desde las evaluaciones que han sido descritas, así como de información anecdótica sobre éxitos y fallas. El alcance de las lecciones aprendidas debiera abarcar tanto el proceso de medición como las medidas por sí mismas; adicionalmente se deben considerar las fuerzas y debilidades.

Almacenar las lecciones aprendidas en una base de experiencia aumenta la disponibilidad de las mismas. La base de experiencia puede ir desde un simple documento hasta un proceso separado que procese y empaquete las lecciones aprendidas para futuros usos. Así como el proceso de medición madura, tecnologías más sofisticadas pueden ser útiles para organizar y propagar la base de experiencia.

Un amplio rango de artefactos y observaciones pueden ser integrados en la base de experiencia, tales como:

- * Planes, políticas y procedimientos de medición
- * Definiciones de medidas (constructores de medición)
- * Técnicas de verificación de datos
- * Encuestas de satisfacción de clientes de medición

- * Reportes de análisis de rendimiento de medición
- * Reportes de auditorías del proceso de medición
- * Resultados de evaluaciones de madurez del proceso de medición
- * Observaciones tales como patrones sintomáticos de problemas específicos, acciones correctivas exitosas y fallidas, problemas y resultados de la implementación, y herramientas de evaluaciones

Hay que notar que los datos del proyecto, planificados y actuales son acumulados en una base de datos que usualmente está físicamente separada de la base de experiencia; sin embargo, copias archivadas de los datos del proyecto pueden ser capturadas como componentes de la base de experiencia.

4.3.4 Identificar e Implementar Mejoramientos

Algunas de las lecciones recogidas en la tarea anterior podrán ser implementadas como mejoramientos del proceso de medición del proyecto en curso. Otras pueden ser almacenadas para beneficio de futuros proyectos. Esta tarea identifica mejoramientos específicos que pueden ser implementados en el proceso de medición del proyecto actual. Es necesario considerar los costos y beneficios de los mejoramientos potenciales cuando se les selecciona. La implementación actual de las acciones seleccionadas puede ser tomada como una revisión del plan de medición en la próxima iteración de la planificación de medición o iniciada como una actividad paralela. Los cambios que comúnmente afectan los elementos del plan de medición incluyen:

- * Definiciones de medidas (constructores de medición)
- * Técnicas de análisis
- * Procedimientos de recolección y procesamiento de datos
- * Equipo profesional y herramientas de soporte
- * Procedimientos de reporte y comunicación

Los cambios deberían ser seguidos para determinar su efectividad. Cambios propuestos al proceso que afecten las actividades proveedores, tales como la generación de datos, debieran ser coordinados con los individuos afectados.

4.4 Implementación del Proceso de Medición

Un proceso de medición bien definido es de muy poco valor si no se puede implementar efectivamente dentro de una organización.

La implementación de un proceso de medición es similar a la implementación de cualquier nueva iniciativa. La medición puede representar un cambio significativo en cómo la organización lleva a cabo su negocio. Los factores clave e intereses relacionados con este cambio deben ser conducidos directamente; para esto se reconocen tres tareas claves que deben ejecutarse para introducir efectivamente la medición dentro de una organización. La figura 4-13, representa gráficamente estas tres tareas, e incluye una cuarta tarea que asegura que la medición está sustentada. Una vez que estas tareas se han llevado a cabo, el proceso de medición es iniciado.

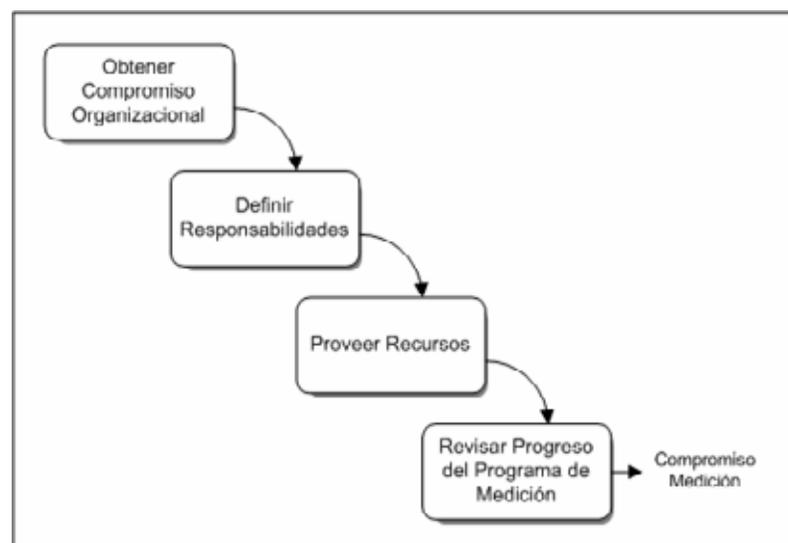


Figura 4-13: Tareas de la Implementación de la Medición.

4.4.1 Obtener el Compromiso y Soporte Organizacional

El objetivo de esta tarea es desarrollar el soporte para la medición en todos los niveles dentro de la organización. Los programas de medición surgidos por una decisión de gerencia, raramente tendrán éxito si no se involucra y compromete a los miembros de los equipos técnicos y administrativos; esto porque los miembros de los equipos a todo nivel necesitan comprender cómo la medición beneficiará directamente sus proyectos y sus propios procesos de negocio.

La implementación de la medición a menudo comprende un cambio cultural significativo dentro de la organización, y por lo tanto, como todo cambio, las incertidumbres asociadas con la

introducción de la medición causan ansiedad. Las preocupaciones asociadas a los cambios pueden ser superadas mediante la comunicación al equipo para una clara comprensión del proceso de medición y como sus resultados serán utilizados en todos los niveles dentro de la organización. La medición es más efectiva dentro de una cultura que promueve a los profesionales a estructurar los problemas y riesgos.

Programas de medición exitosos deben ser adoptados tanto por el equipo de gestión como por el equipo técnico. El soporte, implicación y liderazgo de la gerencia son críticos para implementar exitosamente un proceso de medición. El soporte no sólo implica que el jefe de proyecto crea que es una buena idea, sino que además, involucra el establecimiento de políticas de medición, proveyendo los recursos adecuados, creando una base en las mediciones por la comunicación de los objetivos, y definiendo los factores críticos de éxito. Además incluye la revisión de los datos y análisis de medición por medio de los ciclos de retroalimentación y entonces actuando a partir de las recomendaciones de estos análisis.

Muchos administradores y miembros del equipo primero aprenden acerca de la medición del software cuando algún evento significativo levanta un cuestionamiento acerca de cómo un proyecto u organización está siendo administrada. Otros aprenden acerca de esto como resultado de una política de la directiva o iniciativa. Pocos profesionales se introducen en el proceso de medición porque comprenden que el proceso de gestión efectivo les ayuda a alcanzar los objetivos personales, del proyecto y de la organización. En muchos casos, el equipo administrativo y técnico ven las mediciones como “otra cosa por hacer” y como algo que consumirá recursos que ya están sobre-asignados. Para contrarrestar este entorno, los beneficios de la medición a la organización, proyecto e individuos necesitan ser claramente identificados.

Con un efectivo liderazgo administrativo, la organización completa usualmente reconocerá la importancia de las mediciones y soportará activamente el proceso. La implicación del equipo técnico en la determinación de las medidas y el proceso de medición ayuda a sentirlos como propios. El equipo debe ser invitado a sugerir datos e indicadores específicos que son relevantes a los objetivos e información necesaria; y sus recomendaciones deben ser además utilizadas para desarrollar mejores métodos de recolección para sus datos.

Responder la pregunta “¿Qué es esto para mí?”, ayuda a construir el soporte a todos los niveles. Esto ayuda a los profesionales y a la organización a establecer las metas para ellos

mismos y proveer un mecanismo para medir el progreso hacia estas metas. La gestión se ve beneficiada observando menos sorpresas y permitiendo tomar decisiones basadas en más y mejor información. La medición a menudo beneficia al equipo haciendo la gestión más proactiva y proveyendo una base para una planificación más realista.

4.4.2 Definir la Responsabilidades de la Medición

El tamaño y estructura de cada organización determina como las responsabilidades de la medición son asignadas. El número de personas involucradas y la asignación de las tareas varían considerablemente de organización a organización, dependiendo del tamaño y alcance del proyecto.

El proceso de medición de software es una parte integral de los proceso de desarrollo, soporte y adquisición de software. Como tal, varios miembros de la organización del proyecto juegan importantes roles. Los recursos apropiados deben ser asignados para que el proceso de medición trabaje efectivamente.

Los roles más importantes en el proceso de medición son listados a continuación y son representados en la figura 4-14.

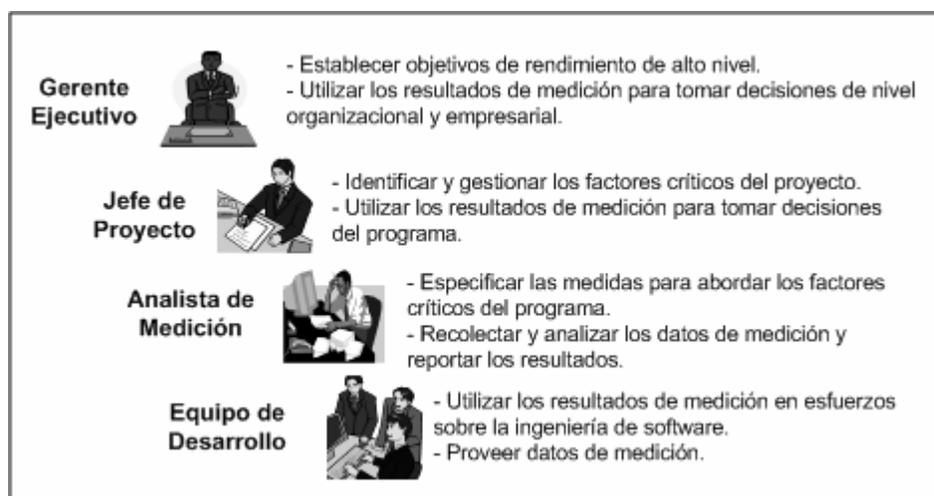


Figura 4-14: Principales Roles del Proceso de Medición.

- * Gerente Ejecutivo – Este ejecutivo es generalmente un gerente organizacional o empresarial responsable de múltiples proyectos. Este administrador define objetivos de rendimiento y negocio de alto nivel y asegura que los proyectos individuales soporten la estrategia organizacional. El gerente ejecutivo utiliza los resultados de la medición para tomar decisiones de nivel organizacional y empresarial. La mayor parte de las organizaciones tiene un número de gerentes ejecutivos dentro de su estructura de

gestión. El gerente ejecutivo puede ser el CEO (Chief Executive Officer), el CIO (Chief Information Officer), el gerente de negocio, administrador de riesgos, u otro gerente de alto nivel.

- * Jefe de Proyecto o Jefe Técnico – Este rol es responsable de identificar los factores críticos, revisar los resultados del análisis, y actuar sobre la información medida. En un caso óptimo, las organizaciones de desarrollo tienen jefes de proyecto que utilizan la información de medición para tomar decisiones y comunicarlas objetivamente dentro de la organización. En la mayoría de los casos el gerente de proyecto es el usuario principal de los resultados de la medición, que utiliza las mediciones para tomar decisiones del proyecto.
- * Analista de Medición – Este rol puede ser asignado a cualquier profesional o un equipo de profesionales. Sus responsabilidades incluyen desarrollar el plan de medición, recolectar y analizar los datos medidos, y reportar los resultados a través de la organización del proyecto. Usualmente las organizaciones emplean un analista de medición o un grupo asignado a estas responsabilidades. Cada organización dentro del proyecto que debe tomar decisiones críticas de negocio y del proyecto debiera tener una capacidad independiente de análisis de la medición.
- * Equipo de Desarrollo de Proyecto – Este es el equipo responsable por el día a día del desarrollo del producto o sistema de software. El equipo de desarrollo recolecta los datos de medición periódicamente, y utiliza los resultados para guiar todas las actividades de ingeniería de software.

Asegurando que todos los participantes envueltos en el proceso de medición comprenden y están comprometidos con sus responsabilidades ayuda a asegurar que la información adecuada está disponible para soportar la comunicación efectiva y la toma de decisiones informada.

4.4.3 Proveer Recursos

La experiencia indica que un programa de medición requiere entre un 1% a un 5% del presupuesto del proyecto. El costo actual de un programa específico de medición es determinado por el alcance de los datos recolectados y la habilidad de los planificadores para integrar los datos recolectados y análisis dentro de la administración y procesos técnicos existentes.

Como con cualquier iniciativa, hay algunos costos de partida asociados con la implementación de un programa de medición. El costo de las mediciones para proyectos individuales disminuirá a medida que la medición sea una actividad establecida dentro de la organización. Es importante ver el proceso de medición como una inversión a largo plazo. Dentro de un relativo periodo corto de tiempo después de que ha sido establecido, las mediciones comenzarán a ser auto-soportadas, ahorrando tanto como el costo.

En algunas organizaciones, los costos de medición para proyectos individuales pueden ser reducidos estableciendo un equipo de medición como un recurso organizacional. En la medida que se mantenga asignado un analista principal trabajando independientemente de cada proyecto, el equipo de medición puede compartir recursos, herramientas y experiencia.

Los costos de medición incluyen el trabajo, entrenamiento y herramientas a generar, procesos, análisis y reportes de datos. Los equipos de proyectos con procesos de ingeniería maduros utilizan la medición de datos internamente para administrar sus proyectos. Subsecuentemente, ellos deben agregar un pequeño costo adicional para recolectar y reportar estos datos a los niveles organizacionales. Si un equipo de proyecto no está utilizando mediciones, el proceso del ciclo de vida no será muy maduro.

El proveer los recursos necesarios debe incluir el entregar la capacitación necesaria a cada profesional involucrado para asumir su rol y responsabilidad asignada en el proceso de medición. Adicionalmente se debe planificar la habilitación de herramientas automáticas o manuales que permitan efectuar el trabajo de medición, tales como planillas de recolección u otros, las cuales deben permitir soportar el proceso de medición pero no definirlo.

4.4.4 Revisar el Programa de Medición

El punto en el cual un proyecto inicia el proceso de medición depende de situaciones específicas. Las primeras tres tareas de la implementación del proceso pueden ser conducidas en paralelo en un proyecto. Una vez que el personal clave y recursos han sido asignados en un proyecto, las actividades del plan de medición pueden ser iniciadas, inclusive si algún profesional aún no ha sido capacitado o algunos recursos aún no están disponibles. Una vez que las actividades son iniciadas, los resultados necesitan ser revisados para asegurar que la información provista a quienes toman las decisiones es lo que ellos necesitan para tomar la mejor decisión posible.

Un proyecto puede además adoptar una aproximación incremental de implementación trabajando con un pequeño conjunto de las necesidades de información y medidas iniciales, entonces extender el alcance del programa de medición a medida que aumenten las capacidades de la organización. La recolección y análisis de datos puede comenzar en una pequeña escala tempranamente para demostrar el valor de los procesos de medición. Implementando incluso unas pocas medidas claves para direccionar las necesidades de información de mayor prioridad provee nueva información importante. Las revisiones en estos ambientes deben realizarse previamente a la implementación de las nuevas medidas. Esto es para asegurar que las mediciones existentes son todavía aplicables y que las nuevas medidas y procesos no tienen conflictos con las medidas y procesos existentes.

Durante la implementación inicial, es especialmente importante enfocarse en obtener buenos datos y asegurar que los resultados de las mediciones no son utilizados para evaluar personas o comparar proyectos. Los resultados deben ser discutidos con quien provee los datos, previo a reportárselos a la gerencia. Las discusiones se deben enfocar en obtener conocimiento y deben relacionarse los resultados a las actividades del proyecto. Los resultados de las mediciones y revisiones deben ser compartidas con todos los involucrados, incluyendo gerentes organizacionales, gerentes de proyecto y el equipo de ingeniería.

CAPITULO CINCO

5. IMPLEMENTACIÓN DE UN PROCESO DE MEDICIÓN – CASO DE ESTUDIO

En el capítulo anterior, se describió en forma detallada un proceso de medición que fue construido mediante la recopilación de diferentes enfoques estándares de la industria, y que conforma el proceso de medición al cual se desea llegar en una organización. En este punto, se describirá el trabajo realizado en la organización de software estudiada, para implementar una primera versión del proceso de medición.

Es importante destacar, que el trabajo que se llevó a cabo reúne los conceptos generales del proceso de medición definido, puesto que la implementación de un proceso como el descrito anteriormente se logra por medio de la aplicación iterativa e incremental hasta llegar a la institucionalización del proceso.

En este capítulo se describirá el trabajo que se llevo a cabo en la empresa Optimisa S.A., como parte de un sistema de gestión interna. En una primera parte se dará el contexto bajo el cual se realizó la investigación. Previo a efectuar el trabajo de medición, se realizó un levantamiento del proceso de desarrollo de la organización, si bien, este proceso no se describe detalladamente, se da una visión general para comprender luego el proceso de medición definido.

A continuación, se detalla el proceso de medición definido. Se describen las necesidades de información levantadas, los indicadores definidos, las medidas base y derivadas que soportan estos indicadores, los reportes diseñados para responder a las necesidades de información definidas; y finalmente se detallan algunas de las herramientas que se generaron para efectuar la recolección de datos, y se describe brevemente el sistema en que se enmarcó el proceso de medición dentro de la organización.

Para finalizar, se efectúa una pequeña evaluación del trabajo realizado, dejando las conclusiones más relevantes para el capítulo final, donde se describirán las acciones futuras y las conclusiones principales surgidas del trabajo realizado.

5.1 Descripción Estrategia de Implementación

En el capítulo uno de este documento se describió el esquema general de la investigación. La primera fase abordó la recopilación del conocimiento necesario para lograr un proceso de medición que estuviese acorde con las características de un proceso de desarrollo típico en una

organización chilena. Esto permitió describir el marco conceptual en el cual se encierra esta investigación y determinar el alcance del trabajo que se realizaría.

Del análisis del alcance se determinó que para poder efectuar el trabajo se necesitaba contar con un proceso de desarrollo formal. Ante esta premisa el primer trabajo que se debía efectuar consistía en la recopilación del proceso de desarrollo de la organización bajo estudio en un Manual de Calidad. El proceso de desarrollo conforma la base sobre la cual un proceso de medición será aplicado. Era necesario reconocer las diferentes etapas y actividades del trabajo que se llevaba a cabo en el área de desarrollo, para poder modelar un conjunto de medidas que fuese efectivo en la entrega de información que permitiera mejorar el proceso que estaba en práctica.

El paso siguiente correspondía a recopilar un proceso de medición que reuniera las buenas prácticas de los principales estándares de la industria, y que tuviese la factibilidad de ser aplicado en una organización de desarrollo como la estudiada. El resultado de este trabajo, corresponde al proceso de medición descrito en el capítulo cuatro. El cual describe detalladamente un proceso de medición al cual debería aspirar una organización de desarrollo de software madura.

Para darle validez al proceso de medición recopilado, era necesario efectuar una implementación del mismo. Sin embargo, el proceso de medición descrito en el capítulo cuatro, corresponde a un cambio cultural; por lo tanto, se debía planificar a conciencia una estrategia de implementación que permitiera una puesta en marcha inicial. En esta evaluación se reconocieron las siguientes restricciones:

- * Si bien la organización estudiada tenía un proceso de desarrollo, este no tenía la madurez necesaria para poder aplicar un proceso de medición como el que se recopiló. Entonces se debía efectuar una adecuación inicial.
- * Con el objeto de simplificar las tareas de medición, se requería generar un programa de medición que permitiera obtener la información necesaria sin interferir radicalmente con las labores del día a día del área de desarrollo.

Con estas restricciones, se definió el alcance del Sistema de Administración de Procesos mediante Métricas. El sistema debería ser capaz de aplicar un programa de medición en las

condiciones actuales de la organización, y debería facilitar tanto la recolección como el proceso de análisis de los datos.

Para soportar la primera restricción, se planteó implementar un conjunto de mediciones genéricas a la mayoría de los proyectos desarrollados por la empresa. La estrategia se basó en el conocimiento de que la visibilidad en un proceso va aumentando conforme aumenta su madurez. La figura 5-1 muestra gráficamente este concepto.

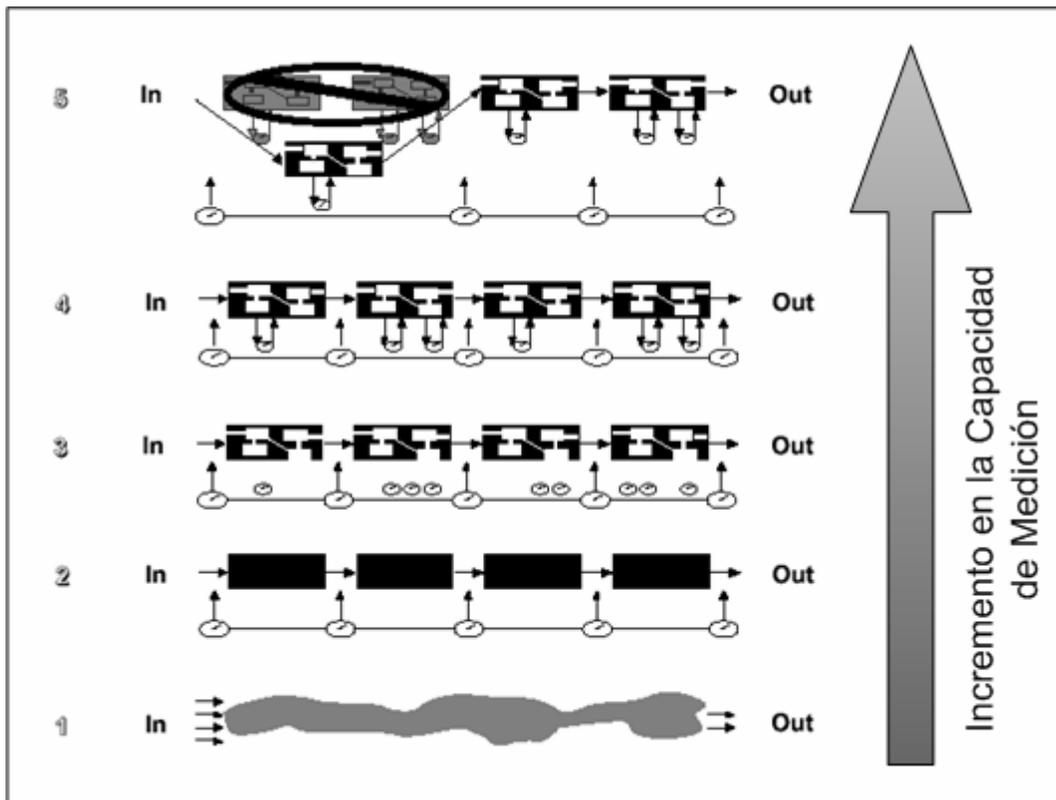


Figura 5-1: Visibilidad del Proceso v/s Madurez

Entonces, asumiendo que el proceso de medición corresponde a un ciclo iterativo; la primera iteración de la implementación abordaría un conjunto pequeño de mediciones conforme a la visibilidad que se pudiera tener del proceso de desarrollo, y en los ciclos siguientes y conforme la madurez del proceso fuera aumentando se podrían ir incorporando mayores indicadores, y finalmente se podría llegar a tener un proceso de medición institucionalizado de acuerdo al proceso de medición recopilado.

Para soportar la segunda restricción, se buscó instrumentalizar el proceso de forma tal, que se pudieran automatizar la mayor cantidad posible de actividades; en base a esto, se planificó una estrategia para construir un sistema que permitiera la generación de los reportes que permitieran la entrega de los indicadores seleccionados para ser implementados.

El propósito del sistema sería la generación de indicadores que permitieran la identificación y cuantificación de la “no calidad” del proceso de desarrollo de software. El alcance consistía en disminuir las áreas de posibles causales de puntos críticos del proceso de software, permitiendo la toma de decisiones informada y la posterior evaluación de las acciones tomadas.

5.2 Especificación del Proceso de Desarrollo de la Organización

La investigación realizada se efectuó en Optimisa S.A., organización cuya línea de negocio corresponde al desarrollo de software. La principal línea de negocio está dirigida hacia la industria bancaria, y organizaciones de gobierno.

Por razones estratégicas, no es posible detallar finamente el proceso de desarrollo en este documento. La información aquí descrita corresponde al contexto al año 2001 en el cual se llevó a cabo esta investigación. La organización ha continuado en su trabajo y su proceso de desarrollo habrá evolucionado a través de este tiempo. En la actualidad la empresa se encuentra en una iniciativa de certificación de los primeros niveles del marco CMMI.

5.2.1 Definición del Alcance de la Especificación del Proceso de Desarrollo

Como se mencionó anteriormente, para poder llevar a cabo una implementación del proceso de medición, era necesario contar con un proceso de desarrollo específico. La organización bajo estudio, tiene en su historia diferentes iniciativas que fueron dejando huellas en el proceso de desarrollo en uso.

El trabajo que se realizó consistió en la recopilación de las diferentes iniciativas, y plasmarlo en un Manual de Calidad estructurado y sobre el cual se efectuó la segunda fase del trabajo de tesis.

El Manual de Calidad es la representación del proceso de desarrollo de software. Corresponde al instrumento que norma las actividades (planificación, construcción, etc.) del proceso de desarrollo de software, es decir, quien demarca los límites entre los cuales se desenvuelve dicho proceso. El manual de calidad, es parte del Sistema de Calidad cuyo objetivo es asegurar que todos los proyectos son desarrollados en forma homogénea y con resultados consistentes.

El Sistema de Calidad evoluciona continuamente debido a que una organización está en constante proceso de cambio, evolucionan los métodos, el mercado, los profesionales, etc.; es decir cambia el Modelo de Desarrollo.

En este escenario de transformación constante, las organizaciones maduras evolucionan ordenadamente debido a la robustez que le otorga el conocimiento y control de sus procesos. En el caso contrario, una organización inmadura se ve afectada ante los cambios continuos, debido a que el desorden que impera aumenta con las transformaciones generando más desorden.

En el último caso, los sistemas de calidad complejos son rápidamente dejados de lado en los momentos de crisis, por lo tanto, el sistema de calidad debe madurar y evolucionar en conjunto con la organización.

Según lo anterior, una de las ambiciones del trabajo de definición del proceso de desarrollo, era conformar un sistema sencillo basado en "Checklist" que resumieran los aspectos principales del proceso de desarrollo, y además serían de fácil evolución y seguimiento.

Para llevar a cabo este trabajo, se partió desde las prácticas existentes, es decir, se rescataron aquellas buenas prácticas del proceso en uso y se las plasmó en el Manual de Calidad, y se complementó con prácticas sencillas a incorporar en una primera etapa de modo de construir un marco sólido de trabajo, el cual era necesario para poder dar partida a la iniciativa del sistema de administración mediante métricas (proceso de medición).

El objetivo de esta primera versión del sistema de calidad, era tener una base sobre la cual comenzar el mejoramiento del proceso; y que por medio del sistema de administración de procesos este iría evolucionando hasta niveles superiores de madurez.

El alcance de este trabajo, no abarcó el sistema de calidad completo, sino que se centró sólo al segmento que tiene relación con el Área de Desarrollo de Proyectos y su trabajo en el desarrollo de software. Además, se trabajó únicamente con una metodología de desarrollo que correspondía a la más utilizada.

5.2.2 Historia de Esfuerzos de Calidad en la Organización

La empresa poseía una historia de diversos proyectos que intentaron implantar sistemas de calidad o herramientas de calidad las cuales fueron dejando marcas en el proceso de desarrollo, si bien, ninguna se seguía por completo, la situación actual reunía partes de estos intentos.

Los trabajos formales en calidad comienzan en el año 1994 con la asesoría de la empresa TÜV Rheinland Ibérica S.A., para desarrollar un proyecto de implantación de ISO9001. El resultado fue un Manual de Calidad ISO9001 aprobado, que a pesar de no haber sido utilizado, se

convierte en el primer Manual de Calidad de la empresa, y la base de los siguientes trabajos en Calidad.

Con posterioridad, con el apoyo de las distintas gerencias del área productiva y la generación de proyectos internos y tesis de grado (C. Hagedorn, L. Leiva, R.Garbarino, etc.), se fue modificando el sistema de calidad y agregando herramientas que facilitaran el seguimiento y uso por parte de todos los integrantes de la empresa. El resultado se concentró en el manual de calidad en uso, el cual, al momento de realizar esta investigación, aún se encontraba en revisión por el área de calidad.

Importantes son otros logros, tales como:

- * En el año 1998 se conforma un grupo de Control de Calidad que actúa de manera transversal en los proyectos de certificación de Año 2000, con total éxito.
- * A fines de 1998 se participa en un proyecto conjunto con empresas del sector, bajo el marco de un proyecto con fondos de FONDEF y liderado por INTEC Chile, orientado a aplicar un ciclo completo de mejoramiento al proceso de desarrollo de software apoyado por la metodología S:PRIME. Uno de los resultados fue la implantación de la práctica “revisión por pares”, definida en el nivel 3 CMM.

El esfuerzo invertido en la búsqueda por mejorar la calidad del proceso de desarrollo correspondía a una inquietud de años en la empresa, y una inquietud que se veía reflejada en el trabajo de la subgerencia de calidad (a quien se orientó la presente investigación).

5.2.3 Descripción General del Proceso de Desarrollo de la Organización

Como se mencionó anteriormente, por razones estratégicas, no es posible describir en detalle el proceso de desarrollo de la organización. Adicionalmente, una descripción en detalle escapa al objetivo de esta investigación, puesto que no genera valor agregado.

En este punto se presentará a grandes rasgos el proceso de desarrollo, con el objetivo de presentar cuales son las etapas que se reconocen, y de dar un marco de conocimiento necesario para la posterior descripción del plan de medición.

La definición de un proceso que sea homogéneo para todos los desarrollos es una labor compleja y que requiere de la participación de un equipo integrado de modo que el proceso sea representativo de cada parte involucrada en el trabajo de desarrollo de software. Esto se llevo a cabo mediante el estudio y análisis del estándar que existía en la empresa, sumada al trabajo

conjunto con la Subgerencia de Calidad, de lo cual se obtuvo una base que se validó con profesionales representativos del área de desarrollo.

La figura 5-2 muestra una esquematización del proceso de desarrollo de software de la organización.

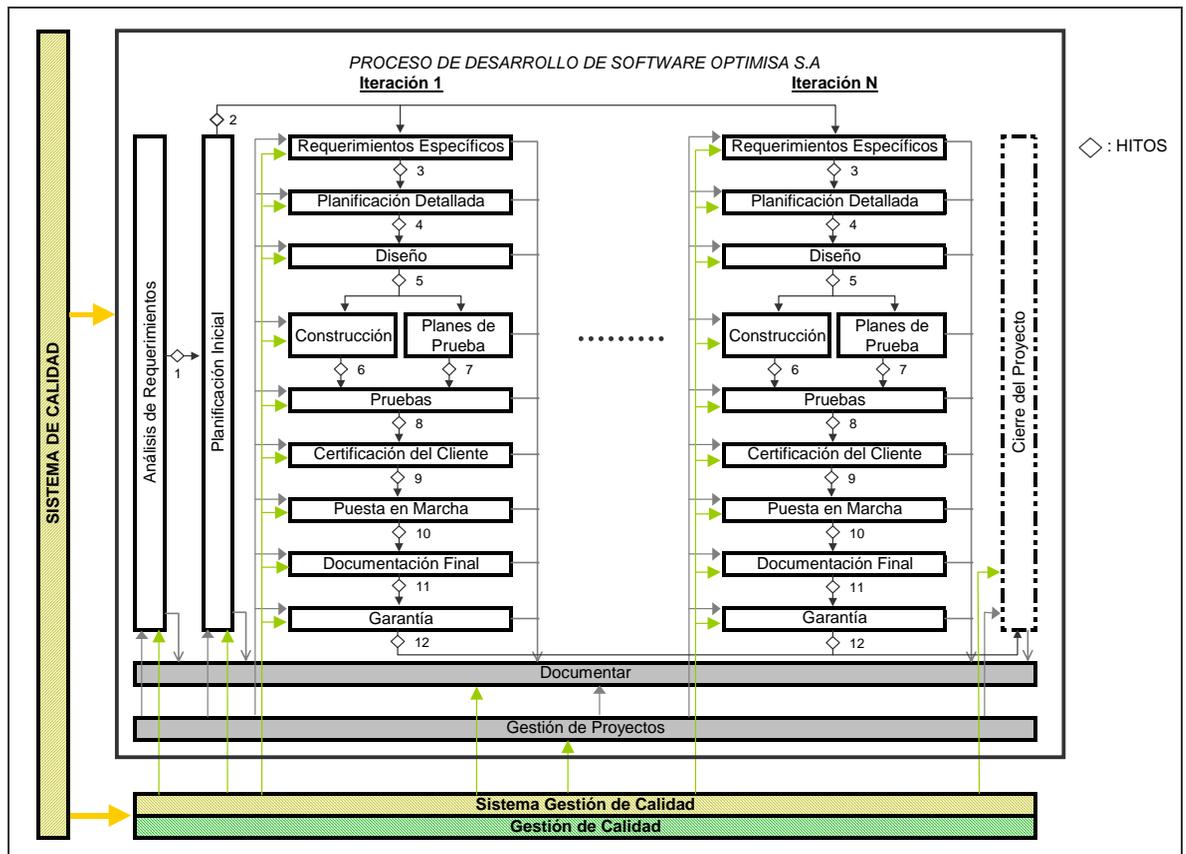


Figura 5-2: Esquema Proceso de Desarrollo de Software.

En la figura, los recuadros blancos representan las etapas del proceso y los recuadros sombreados representan actividades involucradas en el proceso de desarrollo. Los recuadros tachados representan los elementos y actividades que involucran al área de calidad.

Como se observa en el esquema el ciclo de vida del proceso no es una cascada tradicional sino una variación de ese ciclo denominada "Cascada Iterativa". En contraposición a una cascada tradicional, el desarrollo no se realiza simultáneamente para todos los componentes, sino que se manipula por separado cada componente a través de una sub-cascada y se integran hacia el final del proceso, en el hito "Cierre del Proyecto" esquematizado mediante un recuadro punteado.

En consecuencia, en un momento dado pueden existir actividades simultáneas de desarrollo y pruebas de desarrollo. Por este motivo es necesario un cuidadoso proceso de gestión sobre el proyecto.

Estos complementos o módulos son producto de los compromisos de entrega de segmentos del sistema, los cuales son establecidos en la etapa de análisis de requerimientos y en la planificación inicial.

Las etapas comunes a todos los componentes son las de inicio y el hito de finalización del proyecto. Estos son:

- * Etapa de Análisis de Requerimientos
- * Etapa de Planificación Inicial
- * Hito de Cierre del Proyecto

Las etapas involucradas en la sub-cascada son:

- * Requerimientos Específicos
- * Planificación Detallada
- * Diseño
- * Construcción
- * Planes de Prueba
- * Pruebas
- * Certificación del Cliente
- * Puesta en Marcha
- * Documentación Final
- * Garantía

Y las actividades que acompañan al proceso durante todo el desarrollo se identifican como las siguientes:

- * Documentar
- * Gestión de Proyectos
- * Gestión de Calidad

Generalmente en los proyectos desarrollados los Hitos corresponden a las finalizaciones de etapa, lo cual no impide que en proyectos particulares estos Hitos puedan corresponder a un conjunto de etapas o ciertas actividades o como quieran definirse. En el esquema se representaron como se definían habitualmente.

La documentación estaba establecida en un servidor de carpetas públicas donde había una jerarquía estructurada con toda la información del proyecto. Esta estructura de carpetas poseía una política de permisos que habilitaba sólo a los profesionales involucrados tener acceso a la diferente información según su rol dentro del proyecto o dentro de la organización.

La gestión del proyecto es responsabilidad del jefe de proyecto, y para llevar a cabo esta labor cuenta como herramienta fundamental con la "Carta Gantt". La Carta Gantt se utiliza como herramienta de coordinación y seguimiento, para lo cual es necesario mantenerla permanentemente actualizada. Una Carta Gantt presenta las actividades de un proyecto reflejando lo que está planeado junto con las responsabilidades asociadas, tiempos y costos asignados. Además refleja cual es el nivel de ejecución de cada una de las actividades y las diferencias con respecto a la planificación original.

5.3 Especificación del Plan de Medición

Con el proceso de medición ya definido, y documentado; y con el proceso de desarrollo de la organización identificado, entonces se pudo comenzar la elaboración del plan de medición conforme a la estrategia definida.

En el proceso de medición recopilado se define un programa de medición donde existe la suficiente visibilidad dentro del proyecto como para poder influir en el curso del mismo. De acuerdo a la estrategia que se planificó, en la primera implementación en algunos casos se verá el proyecto como un todo, y en donde sea posible se tratará de subir uno o dos niveles en la visibilidad del proyecto.

A diferencia del proceso definido, en el caso de la puesta en práctica, se pensó en mantener un programa de medición para el área de desarrollo en forma global, esto quiere decir, que no se realiza un plan de medición por cada proyecto que se emprende, sino que se maneja un plan de medición que es aplicable a la mayoría de los proyectos, y que evoluciona en la medida que los usuarios de la medición vayan requiriendo nuevas necesidades de información. A largo plazo, lo que se esperaba era que surgiera de la práctica la necesidad de incluir la planificación de

medición como parte de la planificación del proyecto, puesto que los jefes de proyecto comenzarían a depender de la información debido a que les iría siendo útil en su trabajo de gestionar el desarrollo del proyecto.

La figura 5-3, muestra un esquema del proceso de medición. Este corresponde al mismo proceso descrito en el capítulo cuatro, pero muestra otra información adicional, tal como su relación con el resto del sistema, los objetivos de cada actividad, etc.

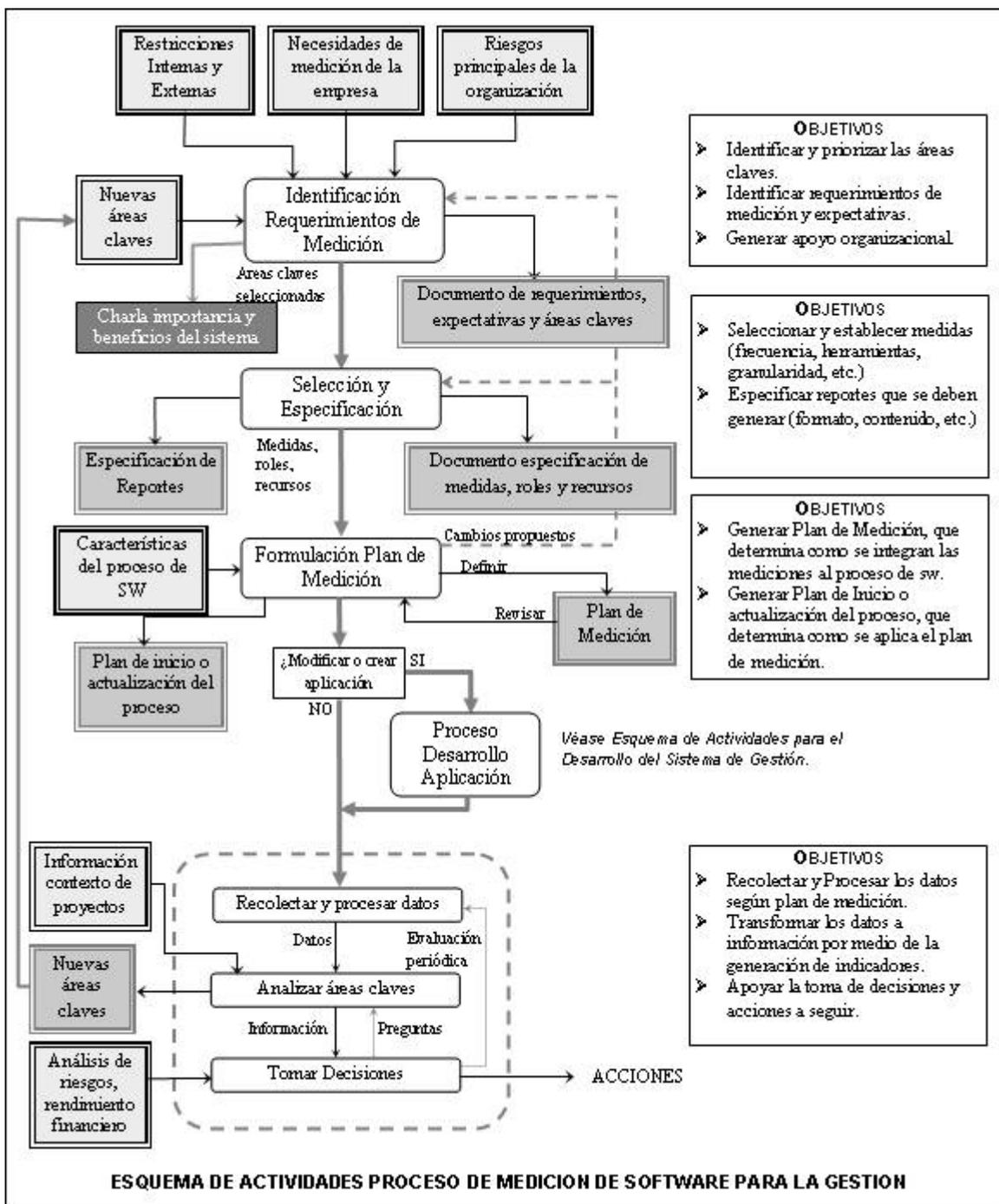


Figura 5-3: Esquema de Actividades Proceso de Medición.

Para describir la especificación del programa de medición confeccionado, se irá siguiendo el flujo de las actividades y detallando los resultados obtenidos desde ellas. Para obtener una mayor descripción de la actividad, hay que referirse al capítulo anterior, donde se detalló cada una de las actividades y tareas que conforman el proceso de medición recopilado.

5.3.1 Identificación y Selección de Necesidades de Información

La primera actividad para generar el programa de medición, corresponde a la determinación de las necesidades de información.

La tabla 5-1, muestra las necesidades de información levantadas para el área de desarrollo de la organización; esta lista está confeccionada a partir del levantamiento de posible preguntas a responder que dada su extensión se describe en el anexo A de este documento. Estas preguntas surgen de dar respuesta a la pregunta “¿Qué necesita saber el cliente del sistema?”

ID	Necesidad de Información
A.	Conocer la variación del tiempo estimado versus el actual, y como impacta la variación en el proyecto.
B.	Conocer cuales son las etapas que generan la mayor variación de tiempo.
C.	Conocer el progreso real del proyecto de acuerdo a lo planificado.
D.	Conocer el estado de los hitos del proyecto
E.	Conocer si la planificación hecha es realista de acuerdo a la información actual.
F.	Conocer la variación del esfuerzo estimado versus el esfuerzo gastado a la fecha, y como impacta la variación a los objetivos del proyecto.
G.	Conocer cuales son las etapas con mayor variación de esfuerzo.
H.	Conocer cuales es el esfuerzo de re-trabajo por defectos y como impacta en los costos del proyecto y en que porcentaje.
I.	Conocer cual es el rendimiento del proceso de detección de errores.
J.	Conocer como afectan los defectos en los objetivos del proyecto.
K.	Conocer donde se concentran la mayor cantidad de defectos.

Tabla 5-1: Necesidades Información Levantadas

La tabla 5-1, muestra las necesidades de información seleccionadas. A partir del levantamiento inicial estas debían organizarse de acuerdo a la asignación de prioridades y entonces se abordan las de mayor prioridad.

Para la selección, se utilizó un criterio diferente al descrito en el capítulo cuatro, dado que era una primera implementación se le dio mayor peso a la simpleza que a otros factores. La selección se hizo considerando los siguientes criterios:

- * Que fueran fácilmente obtenidas a partir de la información existente de los proyectos.
- * Que no se necesitara de puntos de observación que no eran visibles dada la madurez del proceso.

- * Que fueran factibles de obtener dadas las condiciones del proceso en uso.

Como segundo enfoque de selección, se utilizó la utilidad de la información para la toma de decisiones. Se consideró que en un proyecto bien dirigido, son tres las variables claves a manejar, las cuales están ligadas fuertemente y la acción de una influirá en las otras dos:

- * Costo, de acuerdo a presupuesto.
- * Tiempo, de acuerdo a lo planificado.
- * Calidad, conforme a las especificaciones técnicas y expectativas del usuario.

Según lo anterior, para obtener información de las tres variables claves, y considerando el proceso de desarrollo en uso, se definió medir de acuerdo a tres áreas, que de acuerdo al análisis representan la clave que debe ser manejada día a día para asegurar el éxito del proceso de desarrollo de software:

- * **Planificación y Avance:** Se relaciona con el estado de avance de hitos (milestones) o de unidades de trabajo individuales. Un proyecto que falla en la planificación usualmente sólo puede cumplir con la fecha de entrega sacrificando calidad o eliminando funcionalidad. Por lo tanto, es necesario medir estos desfases ya que son una causa de “no calidad”.
- * **Recursos y Costo:** Se relaciona con el balance entre el trabajo a ser desarrollado y el personal asignado al proyecto. Un proyecto que excede el esfuerzo presupuestado usualmente sólo puede recuperarse reduciendo funcionalidades en el software o sacrificando calidad.
- * **Calidad:** Se relaciona con la habilidad de entregar un producto de software que soporte las necesidades del usuario sin fallar. Una vez que se ha entregado un producto pobre en calidad, la carga de trabajo usualmente cae sobre sustentación de la organización.

De este análisis se obtuvieron las necesidades de información a abordar en la primera implementación del proceso de medición.

5.3.2 Selección y Especificación de Medidas

La segunda actividad en la definición del plan de medición corresponde a la selección y especificación de las medidas, para lo cual se utilizan los constructores de medición, que

permiten esquematizar los indicadores a obtener y generar la relación desde los datos obtenidos.

En la tabla 5-2, se relacionan las necesidades de información con las categorías comunes y se les relacionan con los conceptos medibles. A partir de este levantamiento luego se definió el conjunto de indicadores que diera respuesta a cada una de las necesidades de información.

Categoría Común	Conceptos Medibles	Necesidad de Información
Planificación y Avance	◇ Hitos Completados Rendimiento Camino Crítico Progreso de Unidades de Trabajo	Conocer la variación del tiempo estimado versus el actual, y como impacta la variación en el proyecto.
		Conocer cuales son las etapas que generan la mayor variación de tiempo.
		Conocer el progreso real del proyecto de acuerdo a lo planificado.
		Conocer el estado de los hitos del proyecto
		Conocer si la planificación hecha es realista de acuerdo a la información actual.
Recursos y Costos	Esfuerzo Rendimiento Financiero	Conocer la variación del esfuerzo estimado versus el esfuerzo gastado a la fecha, y como impacta la variación a los objetivos del proyecto.
		Conocer cuales son las etapas con mayor variación de esfuerzo.
		Conocer cuales es el esfuerzo de re-trabajo por defectos y como impacta en los costos del proyecto y en que porcentaje.
Calidad	Eficiencia Certeza Funcional	Conocer cual es el rendimiento del proceso de detección de errores.
		Conocer como afectan los defectos en los objetivos del proyecto.
		Conocer donde se concentran la mayor cantidad de defectos.

Tabla 5-2: Conceptos Medibles y Necesidades de Información

A partir de la tabla anterior se efectuó el trabajo de análisis para determinar los indicadores que dieran respuesta a las necesidades de información. La especificación de los indicadores define que medidas serán tomadas, y como serán combinadas para determinar los indicadores necesarios.

Los indicadores que se describen a continuación se obtuvieron de un trabajo iterativo de análisis, para obtener el conjunto de valores que mejor lograra las necesidades de información. La identificación de los indicadores se realizó en conjunto con el diseño de los reportes que serían necesarios para satisfacer los requerimientos de información. Los reportes se detallan en el anexo B de este documento.

Para obtener los indicadores se utilizó una adaptación de la plantilla de un constructor de medición que se detalló en el capítulo anterior. Las tablas 5-3, 5-4, 5-5 y 5-6 detallan cada uno de los indicadores especificados.

La tabla 5-3, describe el análisis de hitos. La importancia de efectuar el análisis de hitos recae en que los atrasos en los hitos, generalmente resultan en un atraso en la ruta crítica del proyecto.

INDICADOR: VARIACIÓN PROGRESO DE HITOS	
<i>NECESIDAD DE INFORMACIÓN:</i>	Conocer el estado de los hitos del proyecto. Identificar sus tiempos, su progreso, y sus dependencias claves.
<i>CATEGORÍA DE INFORMACIÓN:</i>	Planificación y Avance
<i>CONCEPTO MEDIBLE:</i>	Rendimiento de Hitos
<i>INDICADOR:</i>	Variación del Progreso de Hitos
<i>MODELO DE ANÁLISIS:</i>	Comparar los datos planificados versus los actuales.
<i>CRITERIO DE DECISIÓN:</i>	Investigación requerida si la variación excede el 10%. Re-planificación de agenda como sea necesario.
<i>MEDIDA DERIVADA:</i>	1. # Total de días de atraso 2. Variación de Tiempo
<i>FUNCIÓN DE MEDICIÓN:</i>	1. Agregar días de atraso a cada uno de los hitos. 2. Dividir el total de días de atraso por el largo total de duración.
<i>MEDIDAS BASE:</i>	1. # días de atraso para un hito. 2. Largo total de duración.
<i>MÉTODO DE MEDICIÓN:</i>	1. Para cada hito, restar la fecha de inicio planificada de la fecha de inicio actual. 2. Restar la fecha de inicio más temprano de la fecha de finalización más tardía.
<i>TIPO DE MÉTODO::</i>	1. Objetivo 2. Objetivo
<i>TIPO DE ESCALA:</i>	1. Índice 2. Índice
<i>UNIDAD DE MEDICIÓN:</i>	1. Días 2. Días
<i>ENTIDADES RELEVANTES:</i>	1. Planificación de Hitos. 2. Reportes de Completitud de Hitos.
<i>ATRIBUTOS:</i>	1. Fechas de Hitos en la planificación del proyecto. 2. Fechas de Hitos en que fueron realmente alcanzados.
<i>OBSERVACIONES:</i>	Fácil de obtener desde las cartas Gantt del proyecto. Es factible de obtener en cualquier momento del proyecto. Responde a preguntas tales como: ¿cuánto se ha modificado el calendario? ¿Cuál es la fecha estimada de término para el proyecto?

Tabla 5-3: Constructor de Medición – Variación de Progreso de Hitos

La tabla 5-4, describe el análisis de tiempos. El análisis de tiempos considera la duración de cada etapa, y su variación entre la duración planificada y la duración efectiva a la fecha observada. Este análisis considera únicamente las actividades completadas, y permite conocer cual es el progreso efectivo en el proyecto.

En el reporte de análisis de tiempos, adicionalmente se incluye la relación del tiempo consumido del total del tiempo planificado. Como criterio de decisión se consideró que una variación superior al 10% debería ser estudiada y poder tomar alguna acción correctiva. A diferencia del análisis de hitos, se considera que un retraso en el progreso en actividades que no son hitos, podría ser compensada tomando alguna acción y retomar el progreso planificado.

INDICADOR: VARIACIÓN DE TIEMPO	
<i>NECESIDAD DE INFORMACIÓN:</i>	Conocer la variación del tiempo estimado versus el actual, y como impacta la variación en el proyecto.
<i>CATEGORÍA DE INFORMACIÓN:</i>	Planificación y Avance
<i>CONCEPTO MEDIBLE:</i>	Progreso de Actividades
<i>INDICADOR:</i>	Variación de Tiempo
<i>MODELO DE ANÁLISIS:</i>	Comparar los datos planificados versus los actuales.
<i>CRITERIO DE DECISIÓN:</i>	Investigación requerida si la variación excede el 10%.
<i>MEDIDA DERIVADA:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Variación Total de duración 2. Duración total planificada 3. Variación de tiempo total
<i>FUNCIÓN DE MEDICIÓN:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sumar variaciones de duración de cada etapa 2. Sumar duraciones planificadas de cada etapa 3. Dividir la variación total de duración por la duración total planificada.
<i>MEDIDAS BASE:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Variación de cada etapa. 2. Duración de cada etapa planificada.
<i>MÉTODO DE MEDICIÓN:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para cada etapa, restar la duración planificada de la duración actual. 2. Capturar la duración planificada de cada etapa.
<i>TIPO DE MÉTODO::</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Objetivo 2. Objetivo
<i>TIPO DE ESCALA:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Índice 2. Índice
<i>UNIDAD DE MEDICIÓN:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Días 2. Días
<i>ENTIDADES RELEVANTES:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planificación de Etapas. 2. Reporte de avance por Etapas.
<i>ATRIBUTOS:</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Duración planificada 2. Duración efectiva
<i>OBSERVACIONES:</i>	Fuentes de datos, carta gantt y reporte de actividades. Considerar únicamente actividades completadas.

Tabla 5-4: Constructor de Medición – Variación de Tiempos

La tabla 5-5, describe el análisis de esfuerzos. El análisis de esfuerzos considera el esfuerzo invertido en cada etapa del proceso de desarrollo, y su variación entre el esfuerzo planificado y el esfuerzo efectivo a la fecha observada. Para este análisis sólo se consideraron las actividades completadas, y permite conocer el esfuerzo efectivo invertido en el proyecto.

En el reporte de análisis de esfuerzos, se incluye adicionalmente la relación entre el esfuerzo gastado a la fecha del total del esfuerzo planificado. Como criterio de decisión, se consideró que sería causal de investigación si la variación de esfuerzo superaba el 10%.

INDICADOR: VARIACIÓN DE ESFUERZO	
<i>NECESIDAD DE INFORMACIÓN:</i>	Conocer la variación del esfuerzo estimado versus el actual, y como impacta el esfuerzo total en el proyecto.
<i>CATEGORÍA DE INFORMACIÓN:</i>	Recursos y Costo
<i>CONCEPTO MEDIBLE:</i>	Esfuerzo
<i>INDICADOR:</i>	Variación de Esfuerzo
<i>MODELO DE ANÁLISIS:</i>	Comparar los datos planificados versus los actuales.
<i>CRITERIO DE DECISIÓN:</i>	Investigación requerida si la variación excede el 10%.
<i>MEDIDA DERIVADA:</i>	1. Variación Total de esfuerzo 2. Esfuerzo total planificado 3. Variación de esfuerzo total
<i>FUNCIÓN DE MEDICIÓN:</i>	1. Sumar variaciones de esfuerzo de cada etapa 2. Sumar esfuerzos planificadas de cada etapa 3. Dividir la variación total de esfuerzo por el esfuerzo total planificado.
<i>MEDIDAS BASE:</i>	1. Variación de cada etapa. 2. Esfuerzo de cada etapa planificada.
<i>MÉTODO DE MEDICIÓN:</i>	1. Para cada etapa, restar el esfuerzo planificado del esfuerzo efectivo. 2. Capturar el esfuerzo planificado de cada etapa.
<i>TIPO DE MÉTODO::</i>	1. Objetivo 2. Objetivo
<i>TIPO DE ESCALA:</i>	1. Índice 2. Índice
<i>UNIDAD DE MEDICIÓN:</i>	1. Días Hombre 2. Días Hombre
<i>ENTIDADES RELEVANTES:</i>	1. Planificación de Etapas. 2. Reporte de avance por Etapas.
<i>ATRIBUTOS:</i>	1. Esfuerzo planificado 2. Esfuerzo efectivo
<i>OBSERVACIONES:</i>	Fuentes de datos, carta gantt y reporte de actividades. Considerar únicamente actividades completadas.

Tabla 5-5: Constructor de Medición – Variación de Esfuerzo.

La importancia de analizar los esfuerzos, en el caso de la organización estudiada, es que los proyectos son vendidos en función del esfuerzo invertido, dicho de otro modo, lo que se vende

es esfuerzo. Por lo tanto, cualquier variación en el esfuerzo tiene un impacto en los costos del proyecto y por ende en el retorno de la inversión.

La tabla 5-6, describe el análisis de reportes de error. Del proceso de detección de errores se pueden obtener muchos indicadores valiosos, para este caso se consideró la eficiencia del proceso de detección. Para evaluar la eficiencia se determinó la relación entre la cantidad de reportes detectados a la fecha observada versus la cantidad de reportes cerrados a la fecha observada.

La importancia de evaluar el proceso de corrección de errores, se centra en que una vez cerrado este proceso se puede dar partida a la fase de garantía, la cual influye en los costos y por ende en el retorno de la inversión.

INDICADOR: EFICIENCIA DEL PROCESO DE CORRECCIÓN DE DEFECTOS	
<i>NECESIDAD DE INFORMACIÓN:</i>	Conocer cual es el rendimiento del proceso de detección de errores.
<i>CATEGORÍA DE INFORMACIÓN:</i>	Calidad
<i>CONCEPTO MEDIBLE:</i>	Eficiencia
<i>INDICADOR:</i>	Eficiencia del Proceso de Corrección de Defectos
<i>MODELO DE ANÁLISIS:</i>	Comparar cantidad de defectos cerrados versus defectos reportados.
<i>CRITERIO DE DECISIÓN:</i>	Investigación requerida si el índice de eficiencia es de 10%.
<i>MEDIDA DERIVADA:</i>	
<i>FUNCIÓN DE MEDICIÓN:</i>	1. Dividir el número de reportes cerrados por el número de reportes detectados.
<i>MEDIDAS BASE:</i>	1. # de Reportes Cerrados 2. # de Reportes Detectados
<i>MÉTODO DE MEDICIÓN:</i>	1. Para cada fecha observada capturar el conjunto de reportes cerrado y el número de reportes detectados.
<i>TIPO DE MÉTODO::</i>	1. Objetivo
<i>TIPO DE ESCALA:</i>	1. Índice
<i>UNIDAD DE MEDICIÓN:</i>	
<i>ENTIDADES RELEVANTES:</i>	1. Registro de Reportes Detectados. 2. Registro de Reportes Cerrados.
<i>ATRIBUTOS:</i>	
<i>OBSERVACIONES:</i>	Se obtiene desde el sistema de manejo de reportes de error desde la fase de detección de defectos.

Tabla 5-6: Constructor de Medición – Eficiencia del Proceso de Corrección de Defectos.

Aquí se incluyeron los indicadores principales estudiados, sin embargo, si se analizan los reportes diseñados, pueden observarse indicadores adicionales que podían obtenerse a partir de los mismos datos capturados.

El diseño de los reportes intentó concentrar la mayor cantidad de información útil para los usuarios de los reportes, además en el diseño se consideró que al revisarlo fuese fácil detectar cuando el reporte presentaba algún hecho que fuese necesario investigar.

5.3.3 Integración al Proceso de Desarrollo

Una vez que se han seleccionado y descrito las medidas a ser recolectadas, entonces se cierra la fase planificación determinando como se integrará el programa de medición al proceso de desarrollo.

Dada la madurez del proceso de desarrollo se determinó que los puntos de observación podían darse semanalmente con respecto de las actividades cerradas de las etapas en curso. Recordemos que dada la metodología, puede estarse en diferentes etapas en cada sub-cascada del proceso de desarrollo.

Se necesitaba obtener datos desde la planificación, y re-planificaciones del proyecto; y además se necesitaba obtener datos del avance y esfuerzo efectivo. Para obtener los datos de las planificaciones y re-planificaciones se consideró como fuente objetiva la carta gantt de cada proyecto. La carta gantt en los proyectos se llevaba semanalmente dado que ese es el período en que se efectúan los informes de avance del área de desarrollo.

Para capturar los datos desde la carta gantt se definió tomar semanalmente la carta de avance desde las carpetas públicas del proyecto. Desde esta herramienta se debía extraer las duraciones efectivas para cada actividad que estaría catalogada en una etapa, y el esfuerzo efectivo.

Podría haberse considerado únicamente la información contenida en la carta gantt para efectuar los análisis de hitos, tiempos y esfuerzos; sin embargo, se consideró que sería una mejor fuente del esfuerzo efectivo utilizar una hoja de registro de actividades y obtener desde ese registro el esfuerzo efectivo.

La necesidad de obtener esta información, sumada a la iniciativa de la subgerencia de calidad de retomar la práctica del registro de horas, dio lugar al nacimiento del desarrollo de la "Hoja de Actividades", la cual se describirá más adelante en este capítulo.

El registro de actividades se diseñó de forma tal que se efectuaba una recolección semanal. Cada profesional del área de desarrollo debía reportar semanalmente su hoja de actividades,

donde registraban sus actividades diarias estructuradas de acuerdo al proceso de desarrollo. Desde esta herramienta se obtendría el esfuerzo efectivo del proyecto por etapa.

Con la carta gantt más el registro de actividades, se tenía cubierta la recolección de datos para los análisis de hitos, tiempos y esfuerzos. De la carta gantt podría haberse obtenido la información necesaria para el análisis del proceso de detección de errores; sin embargo, se consideró generar un planilla de reportes de error, en base a un herramienta existente en una de las áreas de la organización, y estandarizar su uso y obtener desde esta herramienta los datos requeridos para generar el análisis del proceso de detección de errores. Es así como nació el diseño de la herramienta de “Estado de Reportes”, la cual se describirá con mayor detalle más adelante en este capítulo.

Esta planilla sería recogida semanalmente, para observar el avance de la fase de detección de errores. Estos datos sólo se recolectarían cuando el proyecto iniciara una fase de corrección.

Se realizó una selección de los proyectos más significativos que se estaban desarrollando, y sobre esos proyectos se efectuó el análisis, para la primera aplicación del programa definido.

5.4 Aplicación del Programa de Medición

Una vez que se tenía el plan de medición definido, entonces se procedió a la generación de diversas herramientas que permitieran la recolección de los datos y su análisis.

En el marco de la recolección de datos surgió el desarrollo de la herramienta “Hoja de Actividades” que permitiría la captura de los esfuerzos efectivos, como se mencionó en el punto anterior. También se definió el desarrollo de la herramienta “Estado de Reportes” para capturar los datos necesarios para el análisis del proceso de detección de defectos.

En el marco del desarrollo de estas herramientas, y como iniciativa del área de calidad de la empresa, surge la definición de un proyecto más ambicioso que se denominó “Sistema de Gestión Interna”.

A continuación se describirá el Sistema de Gestión Interna, y en el contexto de este sistema se describirá a grandes rasgos el desarrollo de las herramientas de recolección anteriormente mencionadas.

5.4.1 Sistema de Gestión Interna

El SGI surgió como una iniciativa de la subgerencia de calidad, y varios de los componentes correspondieron a diferentes etapas dentro del trabajo de esta investigación. La figura 5-4, muestra el esquema general del sistema de gestión interna.

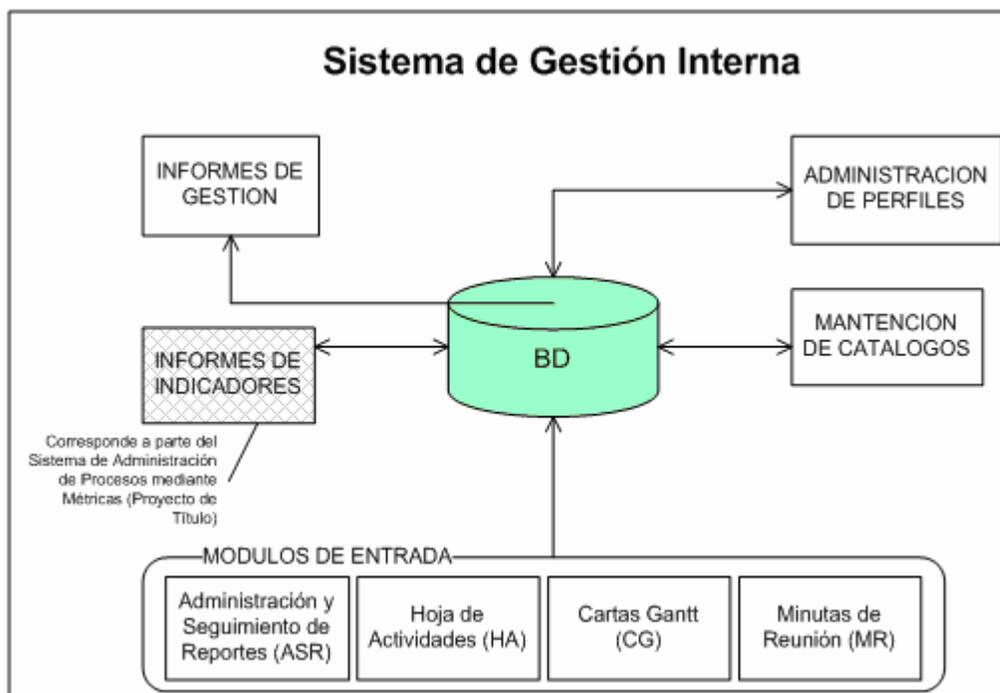


Figura 5-4: Sistema de Gestión Interna

A medida que se fue avanzando en la implementación del programa de medición recopilado, se iba haciendo necesario construir ciertas herramientas que permitieran la automatización de algunas labores para la obtención de indicadores. Fue así como surgió la necesidad de la Hoja de Actividades, o la planilla de Administración y Seguimiento de Reportes. Si bien estas herramientas no eran esenciales para el desarrollo del Sistema de Administración de Procesos mediante Métricas, se fueron haciendo necesarias para poder instrumentalizar el proceso de medición y que este entorpeciera lo menos posible el trabajo de desarrollo.

El SGI, se concibió como un sistema que podría evolucionar en el tiempo mediante la inclusión de nuevos componentes. El corazón del sistema sería la base de datos, que centralizaría toda la información requerida para hacer gestión sobre los procesos.

Los módulos de "Administración de Perfiles" y "Mantenimiento de Catálogos" corresponden a módulos operacionales del sistema y no se describirán dado que no aportan al objetivo de esta investigación.

Los módulos de “Informes de Indicadores” e “Informes de Gestión”, corresponden a módulos que permiten obtener información a partir de los datos almacenados. El módulo de “Informes de Indicadores” corresponde al Sistema de Generación de Reportes de Análisis de Datos, que conforma el instrumento mediante el cual el trabajo de investigación de tesis entregaría sus resultados. Este módulo será descrito más adelante en este capítulo. El módulo de “Informes de Gestión” correspondía a otro módulo de generación de informes, que permitiera obtener otra información importante desde los datos recopilados. Este último componente no se incluyó dentro de este trabajo.

Los módulos identificados como módulos de entrada, corresponden al mecanismo mediante el cual fueron recolectados los datos para el plan de medición definido en el programa implementado. El módulo identificado como “Minutas de Reunión” sólo quedó planteado pero hasta el cierre de esta investigación no se abordó como herramienta de captura.

Hoja de Actividades (HA)

La herramienta de registro de actividades, se denominó “Hoja de Actividades” (HA). La HA tenía como objetivo la captura de datos referentes a la cantidad de horas efectivas trabajadas por un profesional en una tarea específica para una aplicación en particular.

El desarrollo de la Hoja de Actividades surge como iniciativa de dos fuentes, en primer lugar como la intención de la Subgerente de Calidad, de recuperar una buena práctica del área de desarrollo, que estaba en desuso; y por otro lado, como necesidad del proyecto de tesis “Administración de Procesos de Software mediante Métricas”, quien necesitaba estos datos como entrada al sistema de obtención de indicadores.

El primer antecedente de desarrollo se centra en la evaluación de la herramienta existente en la empresa, entregando una evaluación que proponía las siguientes mejoras:

- * Centralización de Archivos.
- * Administración de Archivos Base.
- * Corrección de las macros.

El primer desarrollo de la HA, contempló mejorar la administración de Archivos Base y corrección de macros, decidiendo que la centralización de archivos quedaba fuera por necesitar de mayor esfuerzo al que se planificaba invertir. Como resultado de este desarrollo se liberó la herramienta: “Registro de Actividades V.1.0”, como un prototipo el cual evolucionó

inmediatamente a "Hoja de Actividades V.1.0" en Agosto del año 2001. El desarrollo posterior involucró diferentes mejoras e incorporaciones liberando una serie de versiones posteriores. La última versión correspondió a la 5.0, y luego la herramienta fue traspasada como módulo perteneciente al Sistema de Gestión Interna (SGI), y por ende, su desarrollo posterior está involucrado en el desarrollo del proyecto mencionado. La HA evolucionó hasta convertirse en un sistema habilitado como un sistema de registro web, resolviendo la mayor parte de los contratiempos que se presentaban con el sistema implementado mediante planillas de cálculo.

El proceso de ingreso de la Hoja de Actividades, corresponde a una actividad semanal llevada a cabo por cada profesional de la empresa. El objetivo es registrar el tiempo de trabajo efectivo otorgado a cada nivel de actividad y aplicación estructurada en la herramienta de ingreso.

El proceso se inicia con la ejecución de la herramienta de ingreso y finaliza con el almacenamiento del archivo correspondiente a la semana informada en las carpetas asignadas para este fin en el servidor de archivos de la empresa.

Posteriormente esta información debe ser ingresada a la base de datos central del SGI, para que sea incluida en los análisis realizados para confeccionar los informes de gestión diseñados y formulados.

La idea de este proceso es facilitar esta actividad a los profesionales, y ahorrar el trabajo de recolección y análisis, dejando a los encargados sólo el trabajo de realizar la gestión pertinente con la información entregada.

No se describirá en mayor detalle la arquitectura, o el desarrollo de esta herramienta, dado que si bien, fue un desarrollo importante dentro del trabajo de investigación, no agrega valor al alcance de este documento el describir en forma detallada como fue desarrollada o que tecnologías se utilizaron; además que la herramienta ha evolucionado en cuanto a su implementación, por lo cual lo importante es el concepto. Es relevante mencionar además que para la generación de esta herramienta se efectuó un trabajo en conjunto con cada área de la organización para estructurar adecuadamente las actividades que cada área desempeñaba, de manera que cada área pudiese obtener información relevante de este registro.

Administración y Seguimiento de Reportes (ASR)

Este módulo nace como iniciativa de la subgerencia de calidad de mejorar una herramienta existente para estandarizarla al resto de la empresa como una herramienta de apoyo al proceso

de seguir el estado de los reportes durante el proyecto por parte del Jefe de Proyecto. Y adicionalmente se vio como un medio de obtener los datos necesarios para efectuar el análisis del proceso de detección de errores, mediante la inclusión de ciertos campos que permitieran estructurar los datos.

El objetivo de esta herramienta, es la administración y seguimiento de los reportes generados durante la fase de pruebas y fases posteriores.

El diseño de esta herramienta, siguió la misma estrategia que la “Hoja de Actividades”, reutilizando el mecanismo de captura. Como parte del trabajo de tesis, se llegó hasta la generación de un primer prototipo, sin embargo, dado la premura de cerrar el trabajo de investigación, no se llegó a utilizar como mecanismo de captura.

Sin embargo, el concepto evolucionó y posteriormente si se implementó como herramienta de gestión.

Carta Gantt (CG)

Puede parecer extraño que aparezca esta herramienta como un módulo de entrada, la razón de que esté incluido como un módulo de captura, es que dentro del contexto del SGI, se pensó en desarrollar un mecanismo que automatizara la captura de información desde las cartas Gantt de los proyectos. Para esto se pensó en estructurar la construcción de las cartas Gantt de modo de incluir ciertos campos que luego permitieran efectuar un procesamiento automático.

De todos los desarrollos enmarcados en el SGI, este correspondía al más ambicioso, y de cierto modo el que daría el mayor valor agregado al SGI. Esto, porque el procesamiento de los datos de las cartas Gantt resulta en un costo de trabajo por parte del analista que podría producir un cuello de botella a medida que los proyectos analizados aumenten.

Si bien, pudo haberse ideado un mecanismo, para que las cartas Gantt fuesen directamente ingresadas al sistema, se descartó dado que en un trabajo de tesis anterior, se efectuó un sistema de ingreso, pero requería duplicar el trabajo de mantención al jefe de proyecto, quien debía además de mantener la carta Gantt, ingresar la misma información al sistema. Y por otro lado, no se veía factible el pedir que se dejara de utilizar una herramienta como Microsoft Project para que el jefe de proyecto únicamente utilizara el sistema de ingreso definido. En base a esto, la solución era poder capturar los archivos generados por Microsoft Project y procesarlos

para automatizar la carga a la base de datos. No se tiene información acerca de si posterior al cierre de esta investigación se llevo a cabo el desarrollo de este módulo.

Para efectos de la implementación del programa de medición planteado, el procesamiento de los datos desde las cartas Gantt, se hacía en forma manual por el analista de medición.

5.4.2 Sistema de Generación de Reportes de Análisis de Datos

El sistema de Administración de Procesos mediante Métricas, tiene su corazón en el proceso de medición recopilado. Es el proceso en sí mismo el que está pensado para servir como soporte al mejoramiento de procesos. Para efectos de esta investigación el aporte efectivo a la organización estudiada, corresponde a la puesta en práctica del proceso de medición recopilado, o el modelo de medición recopilado.

Desde donde se obtuvo el verdadero conocimiento es desde la puesta en práctica, y no desde la recopilación del proceso, que podría extraerse desde diferentes fuentes con algunas variaciones pero conceptualmente sería lo mismo.

La puesta en práctica del modelo de medición, se definió en diversos frentes, por un lado la recopilación del proceso de desarrollo, la generación de un programa de medición inicial y finalmente la entrega de reportes. La cara visible de la investigación resultó ser el conjunto de reportes posibles de generar, en estos reportes está la herramienta para encantar a los involucrados y demostrar en forma tangible la utilidad de asignar tiempo a la obtención de mediciones. Podría haberse utilizado un mecanismo manual para la generación de los reportes, sin embargo, por razones estratégicas la automatización aumentaba el atractivo para el usuario final.

Descripción del Esquema de Desarrollo

Como se ha mencionado ya en reiteradas oportunidades, esta investigación surgió como una iniciativa de lograr un sistema de administración que permitiera el mejoramiento de los procesos a partir de métricas de gestión que proveyeran información necesaria para conducir acciones de mejoramiento sobre los procesos existentes. Por todo lo anterior, el mecanismo encontrado fue la generación de un sistema de generación de reportes en base a un plan de medición definido acorde a las necesidades de información requeridas por el usuario de las mediciones

La figura 5-5, muestra el esquema de desarrollo para el sistema de generación de reportes. El esquema sigue una metodología tradicional, y el valor aportado está en las relaciones que hace

con el resto de la investigación, es decir, enmarca el desarrollo de esta herramienta en el trabajo completo de investigación.

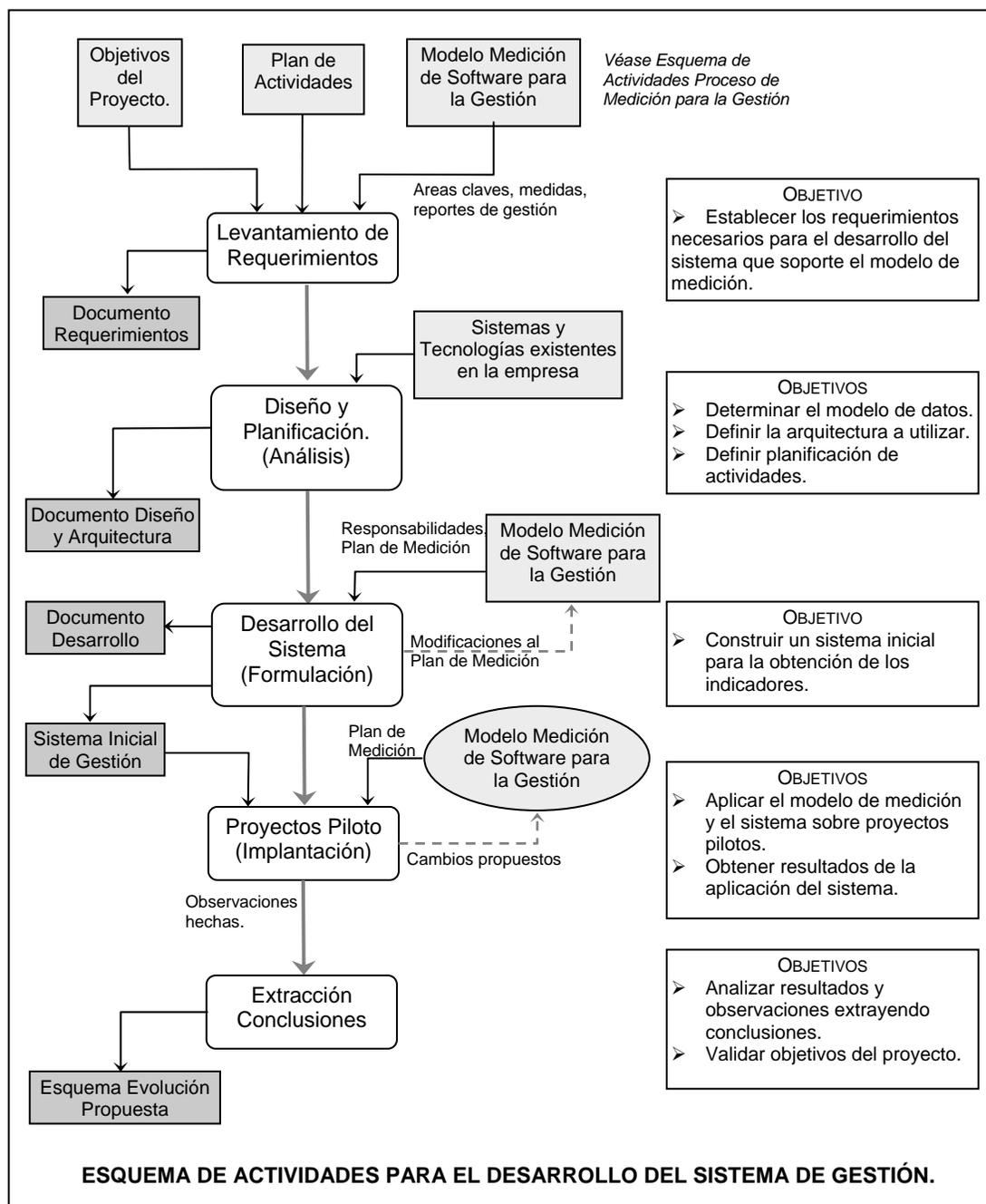


Figura 5-5: Esquema de Desarrollo del Sistema de Generación de Reportes

El objetivo del sistema de generación de reportes de indicadores tiene como objetivo principal entregar una herramienta de apoyo a la toma de decisiones, dando información cuantitativa que ayude a orientar las mejoras de procesos.

Para el logro de su objetivo, este sistema se basó en el trabajo realizado para la definición del programa de medición. En el esquema se puede identificar como el programa de medición alimenta o conduce el desarrollo del sistema de generación de reportes.

El producto de generación de reportes se concibió con una perspectiva de crecimiento de acuerdo a los resultados que se obtuvieran de él. Si se lograba crear la necesidad de mayores reportes, entonces se necesitaría un sistema que sea fácilmente expansible en el tiempo. Por lo tanto, se diseñó una herramienta que sea modular y que no requiriera de mayor esfuerzo para incorporar nuevos reportes.

El usuario tipo de este producto, correspondía a un profesional que tiene asociado un rol con funciones o actividades de gestión. De acuerdo al rol surgen los requisitos de reportes, y de resumen requeridos. No existe otro tipo de usuario, puesto que es una herramienta inherente a la gestión y control de proyectos, de procesos y de la marcha de la organización.

El producto, en una primera versión, debía ser accedido por profesionales sólo en el interior de la red de la empresa, sin embargo, pensando en que la empresa maneja muchos de sus proyectos en el cliente, era necesario pensar que este sistema podía crecer hacia un manejo operacional en una extranet.

Por lo tanto, el diseño de esta herramienta estuvo orientado a un producto en constante evolución, accesible desde diversos puntos sin poner en riesgo la seguridad de la red interna de la empresa. Además, existía la necesidad de que sea una implementación a bajo costo, y de fácil manejo.

El sistema depende de la existencia de una base de datos central que contenga los datos requeridos para realizar los cálculos de indicadores y efectuar los análisis necesarios, además se asumía que dicha base de datos estaba poblada adecuadamente y a tiempo para que los resultados tuviesen validez.

Se denominó, al prototipo del sistema, "Automatización de Reportes de Indicadores", de ahora en adelante ARI, dado que en sí el prototipo sólo desarrolló la función de generar los reportes establecidos en las necesidades de información capturadas desde el cliente.

Se optó por la realización de un prototipo, luego de diversos intentos por concretar una herramienta definitiva, y dado el poco avance obtenido con esta estrategia, ya que la empresa no había definido aún la plataforma tecnológica ni las herramientas a usar, se determinó

generar una herramienta de menor tamaño y rigurosidad, que permitiera visualizar en la práctica lo que el modelo teórico plantea.

El objetivo de este prototipo fue desarrollar un sistema que llevara a la práctica los conceptos teóricos planteados en el trabajo de tesis, ejemplificando las funcionalidades más características de un sistema de gestión basado en métricas, mostrando los aportes efectivos que tiene sobre la toma de decisiones y conducción de un proyecto, además de la influencia directa en el mejoramiento del proceso de desarrollo.

En forma particular, el sistema ARI complementó la estrategia de integración al proceso, tomando los datos ya ingresados a la Base de Datos central de la empresa y procesándolos para transformarlos en información que se resume en indicadores de gestión.

Además, ARI quedó inserto como un modulo del “Sistema de Gestión Interna”, dado que su fuente de datos correspondía a la misma del SGI. Sobre la base de no repetir la data recolectada se integró como un módulo más del SGI, siendo administrado y construido en forma paralela.

Descripción Funcional del Sistema de Generación de Reportes

El gran aporte de la herramienta, es la visualización rápida de los resultados, dejando el mayor esfuerzo para el análisis y toma de decisiones informada, para mejorar el proceso de desarrollo. Esto permitió percibir el aporte que puede resultar de la implementación de indicadores para otras áreas de la empresa.

Desde el punto de vista funcional, este producto debía ser capaz de desplegar y generar los reportes requeridos por el usuario en tiempo real, obteniendo los datos desde una base de datos centralizada. Debía ser capaz de realizar un análisis de los datos y desplegarlos como indicadores que conformen información valiosa para la gestión.

La figura 5-6, muestra un diagrama de flujo de datos de nivel superior, donde pueden identificarse claramente los procesos involucrados y entidades externas como entidades de almacenamiento involucradas en este proceso.

La generación del reporte comienza con el ingreso de los datos que alimentan el sistema y concluye con la entrega de los reportes requeridos en un instante dado por el usuario del sistema.

Los datos además de ser ingresados, pueden ser editados o modificados según evolucione el modelo de actividades, se incorporen nuevas entidades, etc., por lo tanto el usuario debe manejar los datos durante algún ciclo.

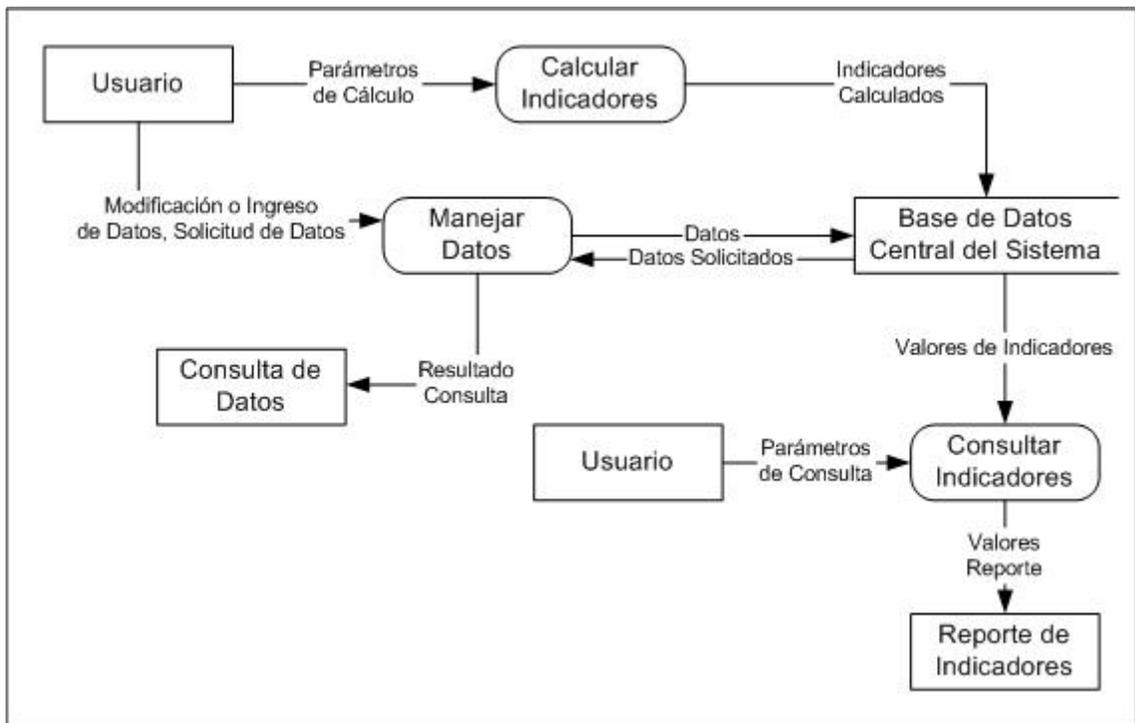


Figura 5-6: Diagrama de Flujo de Datos (nivel 0) Sistema ARI.

Una vez que los datos están ingresados al sistema, se procede a calcular los indicadores definidos, de acuerdo a los parámetros que el usuario ingrese, los valores calculados de los indicadores son almacenados en la base de datos central del sistema.

Por último, se pueden consultar los indicadores ingresando el conjunto de parámetros de consulta, y el sistema desplegará los reportes solicitados, de acuerdo al formato estudiado.

Las actividades macro que se identifican en el proceso son:

- * Calcular Indicadores: Corresponde a calcular según parámetros de entrada, los indicadores definidos en el sistema.
- * Manejar Datos: Corresponde al ingreso y modificación del catálogo, de los datos de origen, etc. Además se considera la consulta de estos datos.
- * Consultar Indicadores: Corresponde a la generación de los reportes definidos según requerimientos del usuario y de acuerdo a parámetros de ingreso.

Las instancias asociadas al proceso, se identifican como:

- * Base de Datos Central del Sistema: Elemento central e integrador del sistema que almacena los datos de administración, como los datos de cálculo para la generación de los reportes.
- * Consulta de Datos: Esta instancia se ha incluido con un objetivo administrativo, para conocer y manejar los datos insertos en la base de datos central del sistema.
- * Reporte de Indicadores: Instancia definida por el usuario, que permite la entrega ordenada de los indicadores para la evaluación del usuario.

Los actores involucrados en el proceso son:

- * Usuario: el único actor en este proceso, es un usuario que corresponde a la subgerente de calidad.

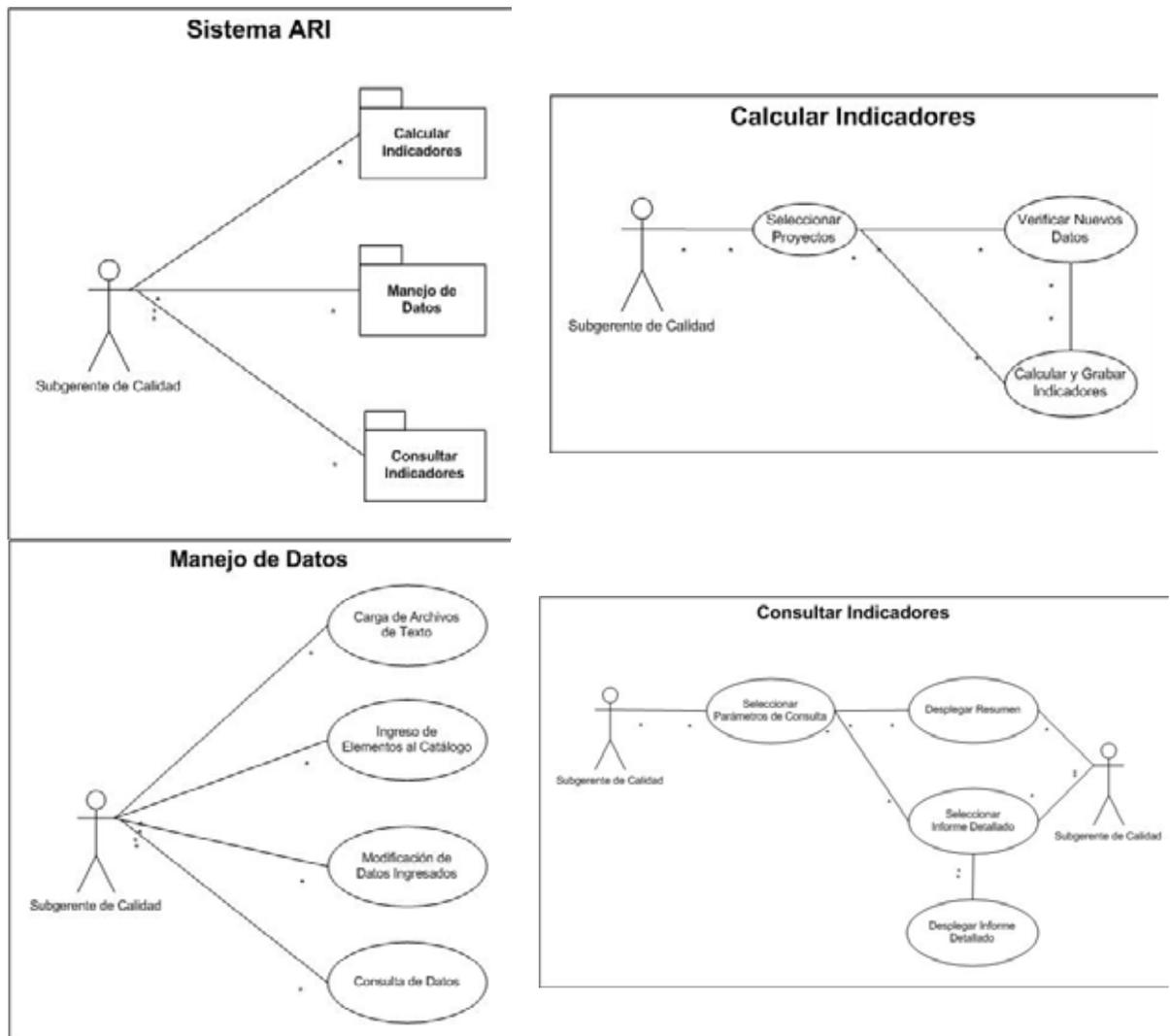


Figura 5-7 Diagramas de Casos de Uso para el Prototipo.

La figura 5-7, muestra los requerimientos funcionales del prototipo generado.

No se describirá en detalle el desarrollo de esta herramienta, dado que corresponde a un desarrollo tipo que cumplió con los requerimientos que se han mencionado, y que logró el objetivo buscado de complementar la integración al proceso de desarrollo.

El detalle de los reportes generados por este sistema, se incluyó en el anexo B de este documento.

5.5 Evaluación del Programa de Medición

Al finalizar la implementación del programa de medición definido, quedan muchas lecciones aprendidas ya sea con respecto al programa en sí mismo, como al trabajo relacionado. Las conclusiones globales con respecto del trabajo de tesis se detallarán en el capítulo siguiente.

En este punto se describirán las lecciones aprendidas, más relevantes, con respecto a la implementación efectuada.

Con respecto del inicio del programa:

- * Comenzar con algo pequeño: Un error común en la implementación de mediciones, es tratar de hacer mucho demasiado rápido. Un proceso de medición debe ser construido, primero, sobre los factores claves, y de ahí evolucionar con el tiempo. Cada medición debe ser diseñada para proveer un nivel adecuado de comprensión de la información con el menor costo posible. En base a mantener la simplicidad y bajo costo es que se deben seleccionar cuidadosamente las primeras necesidades de información a resolver. Resulta tentador querer resolver todos los requerimientos, sin embargo, esto es un esfuerzo grande que sumado al esfuerzo necesario para poner en marcha el programa puede convertirse en una causal de fracaso. En el caso estudiado, se fue poco eficiente en este punto, debido a que se quiso generar toda la información posible de los datos con los cuales se contaba, esto hizo que se demorará la obtención de los primeros análisis con lo cual se perdía el compromiso por parte de los involucrados. Debió haberse partido generando no más de uno o dos indicadores representativos para hacer surgir la necesidad de información en los involucrados, y que los siguientes requerimientos provinieran de ellos involucrándolos en el trabajo.
- * Proveer la capacitación adecuada: Todos los involucrados, de todos los niveles, deben comprender lo que representan los datos medidos, además deben conocer tanto las capacidades como las limitaciones del proceso de medición. Los participantes dentro de

la organización necesitan las herramientas y entrenamiento que les permitan tomar los datos recolectados y obtener información útil, de acuerdo a su rol dentro de la organización. En nuestro caso, no se consideró una actividad de capacitación, entonces se comenzó a exigir ciertas responsabilidades a los diferentes involucrados sin entregarles las herramientas para que comprendieran el alcance del trabajo a realizar y como les aportaría en su trabajo a diario.

- * No recolectar lo que no se necesite: Se debe ser eficiente en la recolección de los datos, no deben recolectarse datos de menos, como tampoco deben recolectarse datos demás. La razón de esto, es que un gran número de datos puede introducir más ruido que aportar, causando confusiones a la hora de efectuar los análisis. Por otro lado, recolectar más de lo que se necesita puede aumentar los costos. Si bien en el plan de medición se definió que los datos efectivos de esfuerzo serían obtenidos a partir de la “Hoja de Actividades”, se recolectó este mismo dato desde las cartas Gantt, esto aumentó el esfuerzo de procesamiento de los datos e hizo más complejo el informe de esfuerzos. Mirando hacia atrás, este simple hecho entorpeció el trabajo volviéndolo más complejo, y el análisis de esfuerzos contiene información en exceso que puede resultar en malas interpretaciones del reporte.
- * Comunicar los objetivos: Una factor clave para el éxito de un programa de medición es obtener el compromiso de cada uno de los involucrados. Para esto es necesario ser eficaz en la comunicación de los objetivos del programa, dado que la implementación de un proceso de medición corresponde a un cambio cultural dentro de la organización. La aceptación comienza con una demostración de compromiso de la alta gerencia. Los resultados de las mediciones deben ser visibles, mostrando como los resultados obtenidos permiten acercarse a los objetivos del proyecto y de la gestión. El factor principal que falló en la implementación del proceso, correspondió justamente a no ser eficientes en la comunicación de los objetivos del trabajo que se estaba realizando. Esto produjo que los involucrados participaran más que por convencimiento por asignación, y rápidamente comenzaban a cuestionar cual era el beneficio que obtendrían ellos del esfuerzo que estaban realizando. La buena comunicación es fundamental para mantener el soporte organizacional, debido a que su pérdida es una causal fuerte de fracaso.

- * Utilizar herramientas simples inicialmente: El programa de medición por sí mismo ya corresponde a un cambio organizacional complejo, por lo tanto, para no generar demasiado impacto en las labores del día a día del área en la que se aplicará, es una buena práctica que en una primera implementación se utilicen herramientas muy simples para no quitar el foco del objetivo central del programa que es obtener información para la toma de decisiones. En nuestro caso, hicimos completamente lo contrario, lo cual hizo que se perdiera un poco el rumbo al ir sumando mejoras al proceso antes de haberlo aplicado una primera vez, más aún, antes de haberlo validado con los usuarios involucrados. Como ya hemos mencionado, esto jugó en contra de mantener el interés en el trabajo, y generó ruido con respecto al compromiso de los involucrados al no ver resultados de los esfuerzos que estaban invirtiendo.
- * Comenzar analizando tan pronto como se pueda: Esto resume un poco todo lo anterior. La única forma de mantener el interés en el programa de medición es mostrando resultados lo más pronto posible de manera de cautivar al usuario final. Es necesario generar la necesidad de participar, en la medida que uno involucre al usuario ensañándole cuán útil será la medición para su trabajo, este no perderá el interés y por lo tanto se facilitará el proceso de implementación del programa de medición. El equipo de desarrollo debe comprender a cabalidad como el programa de medición los beneficiará tanto en forma individual como colectiva.

Con respecto a la utilización de los datos:

- * No evaluar rendimiento individual: Es muy necesario hacer comprender a los desarrolladores que el objetivo de las mediciones no pretende evaluar el desempeño individual. La primera reacción es pensar que se los evaluará, y esto produce que se recolecten datos erróneos, puesto que al efectuar los registros intentan calzar los datos con las asignaciones. Cuando se puso en práctica la Hoja de Actividades, era común encontrarse con que los desarrolladores reportaban nueve horas exactas de trabajo, siendo en realidad que ningún profesional trabaja sin interrupción. Nuevamente caemos en el error de no haber sido eficientes en comunicarles el objetivo de esta información, y además de no haberlos capacitado lo suficiente para que sacaran provecho personal del registro que llenaban. En nuestro medio no estamos acostumbrados a gestionar nuestro tiempo, es común encontrarnos con profesionales que no saben estimar sus esfuerzos.

El registro de actividades permite hacer esa gestión, y es el corazón del modelo PSP desarrollado por el SEI.

- * Hacer accesible la información medida: Este punto tiene relación directa con el resto de observaciones. Para una comunicación efectiva, para mantener el soporte organizacional, y para hacer la información un recurso imprescindible, es necesario que los datos de medición se hagan públicos. Esto con la salvedad de aquellas ocasiones en que por razones de estrategia no convenga que la información se pública. Nuevamente entre los errores cometidos fue que todo el trabajo de análisis, de generación de reportes y en general todo el uso que se le dio a los datos recolectados nunca fue comunicado objetivamente al resto de los involucrados. Debimos haber sido más pro-activos en este punto y haber puesto a disposición los datos de forma que cada profesional involucrado pudiese consultarlos.
- * Escuchar las “malas noticias”: Es una reacción humana el no querer escuchar las malas noticias. Por esta razón, es necesario ser eficiente para reaccionar adecuadamente cuando los análisis arrojan la existencia de dificultades en el proyecto. Se debe efectuar un segundo análisis para verificar los resultados arrojados, y si se mantienen los indicadores entonces se deben definir nuevos análisis que permitan determinar las causales de las variaciones para tomar las acciones necesarias que permitan corregir los problemas detectados. Este punto tiene directa relación con la observación siguiente, hay que ser muy estrictos en reconocer cuando los resultados muestran dificultades y no intentar influir sobre los resultados de manera de hacerlos más optimistas. En nuestro caso, cuando se obtuvieron los primeros resultados de los indicadores, cuando se observaron variaciones superiores a las esperadas, la primera reacción fue revisar los datos para verificar que correspondieran efectivamente al estado real. Nos faltó capacidad de reacción para saber como conducir los pasos posteriores a encontrar dificultades en los resultados.
- * No intentar influir sobre los resultados de la medición: Como se mencionó en el punto anterior, es muy importante evitar influir sobre los datos recolectados. Cuando se presenten problemas podría intentar manipular los datos de modo que el análisis arroje un estado más optimista que el real.

- * Reportar pro-activamente el estado del proyecto: La información debe ser obtenida lo suficientemente temprano como para que los administradores puedan tomar las decisiones adecuadas que permitan reducir los riesgos o corregir problemas. Las decisiones de gestión no deben esperar a que el proceso de medición provea de un conjunto de datos perfecto. La información de gestión debe ser derivada de un conjunto de datos mínimo, complementado por eventos que ocurran en el día a día, y conocimiento cualitativo, de manera que los administradores puedan tomar decisiones informadas en forma rápida. Al evaluar el programa implementado, como ya hemos dicho, la principal falencia que se tuvo fue justamente no reportar tempranamente los resultados, lo cual se volvió en contra del progreso de la implementación.

El proceso de medición debe ser eficiente en la administración de los costos para ser exitoso. Las mediciones y reportes se deben enfocar a factores claves, y evitar el recolectar o analizar información que no sea necesaria.

La recolección de datos debe ser automatizada siempre que sea posible, evitando que estas tareas interfieran con el trabajo normal del equipo. El proceso de medición puede comenzar con herramientas simples, como planillas de cálculo, documentos de texto o herramientas de presentación, y a medida que se perfecciona el proceso, incorporar nuevas herramientas más complejas o avanzadas.

A menudo es posible integrar las herramientas del proceso de recolección y análisis de datos con otras herramientas de software existentes en la organización. Lo que se intenta es minimizar la cantidad de datos necesarios para soportar los procesos de medición.

La no disponibilidad de datos de medición puede indicar un bajo nivel de madurez del proceso de ingeniería de proyecto.

6. CONCLUSIONES Y ACCIONES FUTURAS

6.1 ¿Cuál es el Siguiete Paso?

El paso siguiente corresponde a continuar con la implementación del programa de medición, con el objetivo de ir alcanzando, a medida de que vayan sucediéndose las iteraciones, la institucionalización del proceso de medición.

Las acciones inmediatas que se reconocen para continuar con la implementación se describen a continuación:

- * Identificar un patrocinador gerencial. Con el objeto de resolver las dificultades encontradas en la primera implementación del programa de medición, se presenta como solución el identificar un patrocinador gerencial que sea responsable de mantener vivo el programa de medición, puesto que podría tomar un tiempo largo en ser institucionalizado. El patrocinador debiera ser un alto ejecutivo que comprenda el valor del programa, y que se encargue de obtener el compromiso de la alta gerencia para la implementación y hacer que se mantenga dicho compromiso; que asegure que los equipos de proyectos estén en conocimiento de que el programa cuenta con aprobación y apoyo de la alta gerencia; que sea capaz de vender el plan de medición hacia los equipos de proyectos; que entregue directrices al equipo de medición; y que asegure que cualquier conclusión que se logre obtener a través del programa se traduzca en una acción concreta.
- * Vender el programa a la alta gerencia. Será el patrocinador gerencial el responsable de vender el programa de medición a la alta gerencia de la organización. A su vez la alta gerencia debería vender el programa a sus gerentes de área y a los profesionales de los equipos de proyectos, quedando claro que para el éxito del programa, se necesita que existe un alto grado de sinergia dentro de la organización.
- * Determinar una estrategia de comunicación que involucre al área de desarrollo completa. Es necesario vender el programa de medición a los equipos de desarrollo, para esto es necesario invertir tiempo y esfuerzo en desarrollar todos los mecanismos y herramientas útiles para generar conciencia a nivel interno sobre las metas del programa,

específicamente, cómo podría beneficiarse cada profesional con la consecución de las metas del programa de medición.

- * Darle nuevos usos a los datos y habilitar nuevos análisis. Con los indicadores ya obtenidos se debe evaluar que nuevos usos se pueden dar a los datos para investigar causales de dificultades encontradas con los análisis actuales. Se debe, además, considerar nuevas necesidades de información que nazcan de los usuarios y ver la factibilidad de conducirlos con los datos existentes.
- * Diseñar un mecanismo que permita dejar disponible los resultados de medición. Con el objeto de remediar la falta de comunicación que se dio en la primera implementación del programa de medición, surge como una necesidad el diseñar un mecanismo que permita hacer públicos los resultados de medición. Un factor clave para el éxito en el desarrollo, es establecer una interfaz efectiva entre los distintos proyectos, grupos de trabajo e individuos. Una buena comunicación mejora el entendimiento de los procesos de medición en todos los niveles de la organización. Habría que considerar que información puede hacerse pública y que información deberá mantener cierto grado de confidencialidad. En adición a hacer pública la información, debiera enseñarse a los profesionales como utilizar los datos publicados para su beneficio individual.
- * Orientar la medición hacia el alcance de nuevas prácticas. El objetivo último del proceso de medición es apoyar el mejoramiento de los procesos de desarrollo para que estos vayan alcanzando mayores niveles de madurez. Esto se logra mediante la inclusión de nuevas prácticas o acciones correctivas sobre prácticas existentes. Entonces, en un siguiente paso, debiera orientarse el programa de medición hacia la evaluación de acciones que vayan orientadas al logro de estos objetivos.

Existen diversas acciones que realizar como acciones futuras en la institucionalización del programa de medición. En el listado anterior se expusieron aquellos que resuelven las falencias que presentó la primera iteración del programa de medición. En una segunda iteración y producto de la evaluación del programa surgirán nuevas acciones a realizar con el objeto de ir conduciendo el proceso de medición a su institucionalización (tales como la creación de un equipo de medición, orientar la medición a niveles superiores, etc.).

Con respecto a la herramienta de generación de informes, se presentan las siguientes propuestas de mejoras:

- * Mejorar la capacidad gráfica para un mejor despliegue de los reportes generados por la aplicación.
- * Mejorar el diseño de los reportes, utilizando un esquema de plantillas, que permita configurar nuevos reportes a partir de datos contenidos el modelo.
- * Migrar el prototipo realizado, a la plataforma tecnológica estándar de la empresa, para poder hacerla accesible por los usuarios involucrados en la toma de decisiones.

Como alternativa al prototipo generado, se puede efectuar una evaluación de herramientas de generación de reportes existentes en el mercado, y hacer una comparación de costos y funcionalidad para determinar que herramienta utilizar para este fin.

6.2 Conclusiones de la Investigación

En este punto de la investigación no hay mucho que agregar acerca del rol que desempeña la medición como un factor de valor agregado; a lo largo del desarrollo de este documento se discutió ampliamente la utilidad de la medición, efectuando una introducción detallada de forma que sean incorporados los conocimientos específicos sobre su alcance y limitaciones de manera que se pudiera comprender el trabajo propuesto..

La hipótesis planteada al inicio de la investigación, fue definida como que la medición, que en la mayoría de los estándares internacionales está definida como práctica de niveles superiores de madurez, podía ser un factor clave en el mejoramiento a partir de niveles tempranos en la escala de madurez de los procesos. Dicho de otro modo, se planteó que la implementación de un proceso de medición sobre un proceso de desarrollo inmaduro, sería un impulsor del mejoramiento del proceso.

Al finalizar esta investigación, se puede concluir que, efectivamente, la medición puede ser un impulsor del mejoramiento de los procesos de desarrollo de software, aún en organizaciones en niveles de madurez bajos. Para esto se debe generar un programa de medición que sea simple, y que entregue información para la toma de decisiones, a partir del grado de visibilidad existente en los procesos de la organización. Se ha podido comprobar, que además de promover el mejoramiento, la medición se vuelve una herramienta útil, de fuerte impacto en las organizaciones, minimizando costos de producción, tiempos, utilización de recursos, y calidad de los productos, dicho de otro modo, aumenta la eficiencia de la organización de desarrollo.

El modo de implementar el proceso de medición debe ser en forma paulatina para evitar las conductas de resistencia al cambio. Para esto se deben seguir directrices de simplicidad, bajo costo, y alto compromiso, para las primeras aplicaciones del programa de medición. A medida que el proceso de medición vaya aumentando su capacidad, y se vaya concretando la institucionalización del mismo, se podrá utilizar el proceso de medición para herramientas de gestión tales como el “Cuadro de Mando Integral” (Balanced Scorecard), “Sistema de Gestión del Valor Devengado” (Earned Value Management), y otras técnicas de gestión que se apoyan en la realización de mediciones.

Un factor de éxito del proceso de medición es que el proceso esté gobernado por las necesidades de información. Se deben desarrollar indicadores estándares y formatos de reportes, orientados a satisfacer los objetivos y necesidades de información crítica, presentándolos de manera simple, de manera de facilitar su lectura y entendimiento.

Las mediciones deben ser una parte integral del proyecto y la organización, las cuales no deben ser vistas como algo adicional al negocio de la organización, sino que como una parte del proceso y de la toma de decisiones.

Las mediciones dentro de los proyectos de software no existen por si solas. El valor de los datos obtenidos, es maximizado cuando es considerado dentro del contexto de otras fuentes de información. Además, integrar las mediciones a otros procesos de la organización ayudan a mantener el proceso por un largo periodo de tiempo.

Las oportunidades de integrar la información se da tanto a nivel del proyecto como a altos niveles de la organización. El gerente de proyecto debe considerar los factores de riesgo y financieros, además del progreso y estimaciones del proyecto en si, para tomar decisiones sobre la dirección que debe seguir el proyecto.

Sin embargo, por muy efectivos que sean los procesos de medición, el éxito de este puede no ser alcanzado si la cultura organizacional no soporta el apropiado uso de mediciones. El soporte organizacional se obtiene generando una comunicación objetiva que ponga en conocimiento a toda la organización del programa de medición.

No sólo es importante el propagar los datos y reportes de los procesos de medición, también es importante el comunicar los datos en los tiempos adecuados. El no informar de un problema en

forma temprana dentro del proyecto, puede no solo afectar al éxito de este, sino que es un potencial problema para toda la organización.

La cultura que adopta la gestión debe aceptar los fracasos ocasionales, como una oportunidad para aprender y modificar los procesos. Al contrario, los objetivos que no tienen base, en realidad, son una pérdida de esfuerzo y tiempo.

La cultura de gestión implica nuevos roles para el gerente de proyectos de software. Además de monitorear y reaccionar ante anomalías dentro del proyecto, el gerente debe usar las mediciones para investigar y comprender el rendimiento del proyecto, de manera de tomar acciones correctivas adecuadas.

Establecer la cultura necesaria para soportar de forma efectiva el uso de mediciones, no es simple. Sin embargo, se puede decir que el proceso es exitoso cuando:

- * La recolección de datos es automática y natural.
- * Los datos están ampliamente disponibles.
- * Las personas buscan datos como base para la toma de decisiones.
- * Los fracasos llevan al entendimiento, y no a buscar culpables.
- * Los objetivos numéricos son acompañados por planes racionales.
- * Se realizan mejoras regularmente al proceso de medición.

El proceso de medición es un proceso experimental. No existe un conjunto de datos ni un proceso que sea perfecto a priori. Incluso, las mejores mediciones posibles pueden cambiar a medida que el proyecto avanza y se obtiene mayor conocimiento. Las mediciones deben evolucionar como evolucionen las necesidades de información. Un programa de medición estático tiende a dejar de ser usado dado que se torna poco útil.

Un proceso de medición no asegura por sí mismo una solución infalible, ya que como todo proceso de cambio requiere no solo de aprenderlo, y conocerlo sino que se hace necesario que el mismo sea adoptado como un estilo de trabajo en toda la organización o área involucrada en el desarrollo de software.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [ALB1993] Albala, A. (1993). *Dirección de Proyectos, Teoría y Práctica*. Santiago, Chile: Ediciones del Colegio de Ingenieros de Chile.
- [DEM1986] Deming, W. E. (1986). *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering.
- [FLO1997] Florac, W.A., Park, R.E. y Carleton, A.D. (1997). *Practical Software Measurement: Measuring for Process Management and Improvement* (CMU/SEI-97-HB-003). Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.
- [FLO2000] Florac, W.A. y Carleton, A.D. (2000). *Measuring the Software Process: Statistical Process Control for software Process Improvement*. Reading, MA: Corporate & Professional Publishing Group, Addison Wesley Longman, Inc.
- [GUE2001] Guerrero, M. *Gestión de Riesgos en Proyectos TI*. SPIN Chile, Red Chilena para el Mejoramiento del Proceso de Software, Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, Santiago, Julio 2001.
- [HUM1987] Humphrey, W.S. (1987). *Characterizing the Software Process: A Maturity Framework* (CMU/SEI-87-TR-11, ADA182895). Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute.
- [HUM1990] Humphrey, W. S (1990). *Managing the Software Process*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- [HUM1998] Humphrey, W.S. (1998). *Three Dimensions of Process Improvement Part I: Process Maturity*. CrossTalk, Software Technology Support Center, Hill Air Force Base, UT, Febrero 1998, pp.14-17.
- [HUM2001] Humphrey, W.S. (2001). *Introducción al Proceso Software Personal*. Madrid: Pearson Education S.A.
- [INT1998] INTEC (1998) Herramienta de Mejoramiento en la Productividad para la Industria del Software. http://www.intec.cl/fichas/proyecto_ejecutado.asp?COD=2358.
- [IEEE2002] IEEE (2002). *IEEE Std 610.12-1990 (RE2002): IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology*. Los Alamitos, CA: IEEE Computer Society Press.
- [JAC2000] Jacobson, I., Booch, G. y Rumbaugh, J. (2000). *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Madrid: Pearson Education S.A.
- [JLC1996] Joint Logistics Commanders Joint Groups on Systems Engineering . (1996). *Practical Software Measurement: A Guide to Objective Program Insight, Version 2.1*. Newport, RI: Naval Undersea Warfare Center.
- [JUR1989] Juran, J.M. (1989). *The Quality Trilogy: A Universal Approach to Managing for Quality*. Wilton: Juran Institute, Inc.
- [JUR1990] Juran Institute, Inc. (1990). *Planning for Quality*. Segunda Edición. Milwaukee: Quality Press.
- [MCG1998] McGarry, J., Bailey, E., Jones, C., Card, D., Layman, B., Dean, J., Hall, F. y Stark, G. (1998). *Practical Software Measurement: A Foundation for Objective Project Management, Version 3.1a*. Landing, NJ: Picatinney Arsenal.
- [MCG2001] McGarry, J., Card, D., Jones, C., Layman, B., Clark, E., Dean, J. y Hall, F. (2001). *Practical Software Measurement: Objective Information for Decision Makers*. Boston, MA: Addison-Wesley 2002.

- [MCG2003]** McGarry, J., Bailey, E., Jones, C., Card, D., Layman, B., Dean, J. y Hall, F. (2003). *Practical Software and Systems Measurement: A Foundation for Objective Project Management, Version 4.0c*. Department of Defense and US Army.
- [PAJ1995]** Pajerski, R. y Sova, D. (1995). *Software Engineering Program: Software Measurement Guidebook* (NASA-GB-001-94). Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, NASA.
- [PAL1987]** Pall, G.A. (1987). *A Quality Process Management*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall.
- [PAR1996]** Park, R.E., Goethert, W.B. y Florac, W.A. (1996). *Goal-Driven Software Measurement – A Guidebook* (CMU/SEI-96-HB-002, ADA313946). Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University.
- [PAU1994]** Paulk, M.C. (1994). *A Comparison of ISO 9001 and the Capability Maturity Model for Software* (CMU/SEI-94-TR-2). Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute.
- [PMI1996]** Project Management Institute. (1996). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. North Carolina: PMI Publishing Division.
- [PMI2004]** Project Management Institute. (2004). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (PMBOK® Guide). Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc.
- [PRE1998]** Pressman, R. S. (1998). *Ingeniería de Software; Un enfoque práctico*. Cuarta Edición. McGrawHill.
- [SEI1995]** Software Engineering Institute. (1995). *The Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- [SEI2002]** Software Engineering Institute (2000). *Capability Maturity Model Integration (CMMI), Ver1.1*. Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute.
- [SHE2003]** Shere, K. D. (2003) “Lean Six Sigma . How Does It Affect the Government?”. CROSSTALK 16.3 (Marzo 2003): 8-11 pags.
- [SIV2001]** Sivi, J. (2001). *Six Sigma: Software Technology Review*. Pittsburgh, PA: Software Engineering Institute
- [URL 1]** The Standish Group International Inc. (1999). *CHAOS: A recipe for success*. http://www.pm2go.com/sample_research/.
- [URL 2]** European Software Institute. (2000) Applying the balanced Scorecard for Process Improvement; What’s happening in the European Software Industry?. <http://www.esi.es>.
- [VIS1999]** Visconti, M. (1999). *Calidad y Mejoramiento de Procesos de Software*, Jornadas Chilenas de Computación SCCC 1999, Universidad Federico Santa María.
- [WAL1986]** Walton, M. (1986). *The Deming Management Method*. New York: Dood, Mead & Company, Inc.
- [WHE1992]** Wheeler, D. y Chambers, D. (1992). *Understanding Statistical Process Control*. Knoxville, TE: SPC Press.
- [ZAV1998]** Zavando, S. y Visconti, M. (1998). *Experiences in software process improvement in the emerging world: The case of Chile*, Proceedings SEPG 98 Conference, Chicago.

ANEXO A

A1. LEVANTAMIENTO DE REQUERIMIENTOS DE MEDICIÓN

ESFUERZO	
A.	¿Cuál es la variación de esfuerzo entre el esfuerzo a la fecha y el esfuerzo planificado? ¿Cuál es el impacto en el proyecto de la variación de esfuerzo detectada?
B.	¿En qué etapa/actividad/tarea se presenta la mayor variación de esfuerzo (a la fecha)? ¿Qué etapas/actividades/tareas están tomando un mayor/menor esfuerzo que el esperado?
C.	¿Cuál es el esfuerzo utilizado en corregir defectos en una etapa/proyecto? ¿Cuál es el impacto en el proyecto de la variación de esfuerzo producto de corregir defectos?
D.	Según la condición actual ¿Es realista el perfil de esfuerzo planificado?
E.	¿Cuál es la calidad del esfuerzo de desarrollo inicial/final?
TIEMPO	
F.	¿Cuál es la variación entre el tiempo utilizado a la fecha y el tiempo planificado? ¿Cuál es el impacto de esta variación en los tiempos críticos del proyecto? ¿Cuál es el efecto de la variación en el proyecto?
G.	¿Qué etapa/actividad/tarea presenta la mayor variación de tiempo? ¿Qué etapas/actividades/tareas están mostrando un mayor/menor tiempo que el esperado? Con respecto a las etapas/actividades/tareas. ¿Están siendo desarrolladas en el tiempo planificado?
H.	¿Cuál es el tiempo medio invertido en corregir un error? ¿Cuál es el tiempo entre que un defecto es reportado y este es corregido?
ATRASOS	
I.	Según el estado del proyecto a la fecha ¿Cuál es el atraso estimado para la etapa/actividad/tarea? ¿De qué modo impacta este atraso sobre el proyecto?
J.	Considerando los atrasos a la fecha ¿Cuál es la fecha estimada de término para el proyecto? ¿Cómo afecta la calidad del producto este atraso?
K.	¿Cuáles son las etapas/actividades/tareas con mayor atraso hasta la fecha? ¿Es posible recuperar este atraso sin sacrificar calidad o costo?
L.	¿Qué porcentaje del atraso es causado por el surgimiento de defectos?
AVANCE – PROGRESO	
M.	¿Cuál es la variación de la proporción de actividades completadas a la fecha y actividades completadas planificadas?
N.	¿Cuál es el progreso de los hitos del proyecto? ¿A la fecha se ve algún hito comprometido en un atraso o variación de tiempo?
O.	¿La proporción completada a la fecha de <cierta etapa> concuerda con lo planificado? ¿Cuál es el progreso de <cierta etapa/actividad/tarea> a la fecha?
P.	Según el avance a la fecha y la situación actual ¿Se verá afectada alguna actividad crítica?
DEFECTOS – ERRORES – PROBLEMAS	
Q.	¿Cuál es el número de errores reportados por etapa? ¿En el proyecto?
R.	¿Cuál es la tasa de errores que tiene cada etapa/el proyecto?
S.	¿Cuál es la densidad de errores del proyecto? ¿Por cada etapa?
T.	¿Cuál es la tasa/índice de corrección de errores por etapa/ proyecto?
U.	¿Qué actividad/etapa presenta la mayor cantidad de errores?
V.	¿Cuál es la capacidad real del proceso de resolver problemas?
W.	¿Cuántos problemas reportados han significado rehacer etapas/actividades?
X.	Según la proporción del arribo de problemas y cierre ¿Las fechas planificadas para el término de la integración y testing corresponden?
Y.	¿Cuántos problemas reportados a la fecha no han sido corregidos (abiertos)?
Z.	¿Cuáles son los componentes de software que han presentado un desproporcionado número de problemas?

AA.	¿Qué componentes/actividades/etc han requerido mayor cantidad de testing/revisión adicional?
CARTAS GANTT – PLANIFICACION	
AB.	Según el avance a la fecha ¿La carta Gantt muestra una planificación realista?
AC.	¿Cuántas modificaciones se han hecho a la fecha? ¿Cuántas actividades han sido agregadas/sacadas/suspendidas? ¿En que etapas se presenta la mayor variación de actividades?
AD.	¿Cuántos componentes (funcionalidad) se han agregado?
RE-TRABAJO	
AE.	¿Qué actividad/etapa ha requerido mayor re trabajo?
AF.	¿Qué componentes son candidatos a re trabajo? (según situación actual)
AG.	La cantidad de re trabajo ¿de qué modo impacta sobre el proyecto? ¿Impacta en los costos, calidad o tiempos? ¿En que porcentaje impacta?
TESTING	
AH.	¿Cuál es el número de componentes que necesitan ser testeados?
AI.	¿Cuál es la efectividad del testing?
AJ.	¿Cuál es la proporción de pruebas erradas v/s total de pruebas o pruebas exitosas v/s total de pruebas?

B1. REPORTES DE INDICADORES SELECCIONADOS

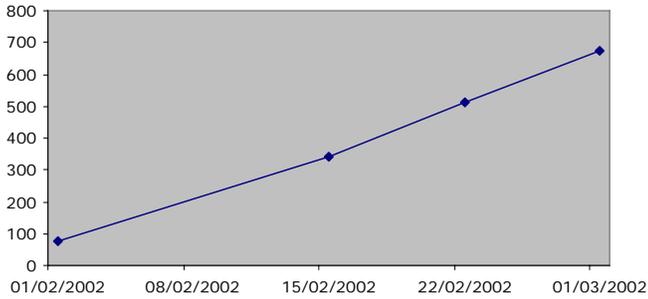
B1.1 Resumen de Indicadores

Resumen de Indicadores	
Fecha Observación: 01/03/2002	
Características	
<p>Nombre: Proyecto A Gerencia: Operaciones Cliente: Cliente A Fecha Inicio: 24/01/2002 Jefe de Proyecto: Jefe de Proyecto 1</p>	<p>Resumen de Medidas</p> <p><i>Variación acumulada de Tiempo:</i> 16,16% <i>Variación acumulada de Esfuerzo:</i> 19,01% <i>Errores encontrados v/s total de reportes a la fecha:</i> 25/40</p>
Notas	
<p>Leyenda de alertas Controlado: 0% de variación Manejable: 0 – 10% de variación Crítico: Sobre 10% de variación</p> <p>Leyenda de fuentes GANTT: Carta Gantt HA: Formulario Hoja de Actividades ASR: Formulario Administración y Seguimiento de Reportes</p>	
Análisis de Tiempos (GANTT - HA)	
Alerta: Crítico	
<p style="text-align: center;">Curva de variación de tiempo en las fechas observadas</p>	<p style="text-align: center;">Aporte por fase a la variación de tiempos en la fecha de observación actual</p>
<p style="text-align: center;">Curva de tiempos acumulados por etapa</p>	<p>Porcentaje de tiempo consumido a la fecha del total planificado:</p> <p>(Tiempo real acumulado / Tiempo total planificado)</p> <p>69,24% (HA) 57,70% (Gantt)</p>

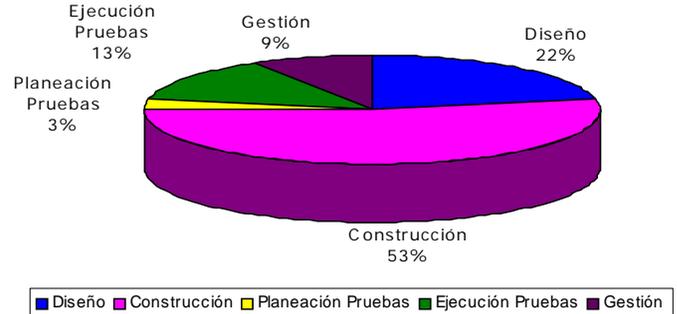
Análisis de Esfuerzos (GANTT - HA)

Alerta: **Crítico**

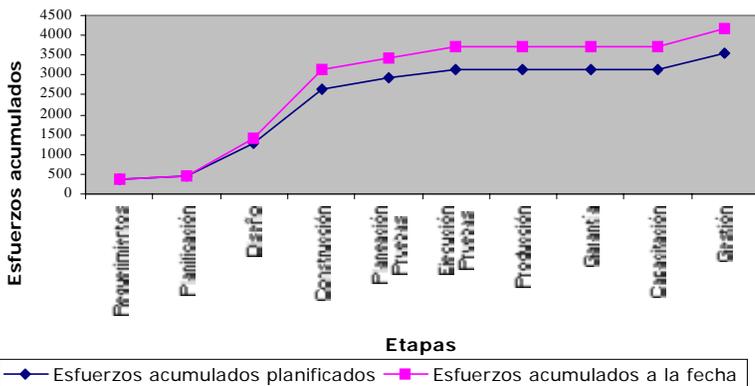
Curva de variación de esfuerzo en las fechas observadas



Aporte por fase a la variación de esfuerzos en la fecha de observación actual



Curva de esfuerzos acumulados por etapa

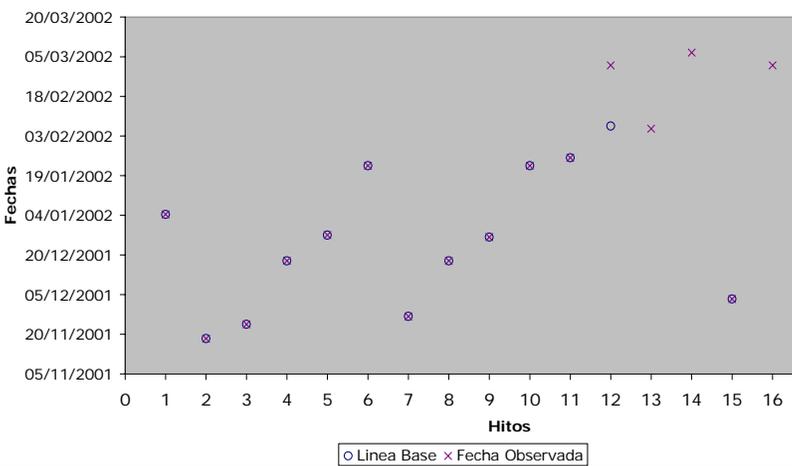


Porcentaje de esfuerzo consumido a la fecha del total planificado:

65,54% (HA)
56,02% (Gantt)

Análisis de Hitos (GANTT)

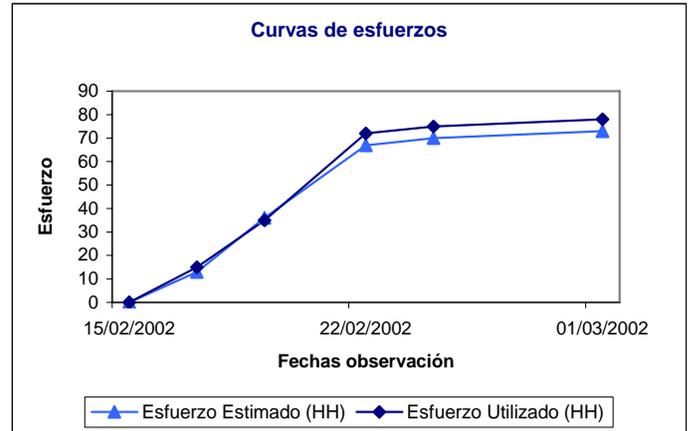
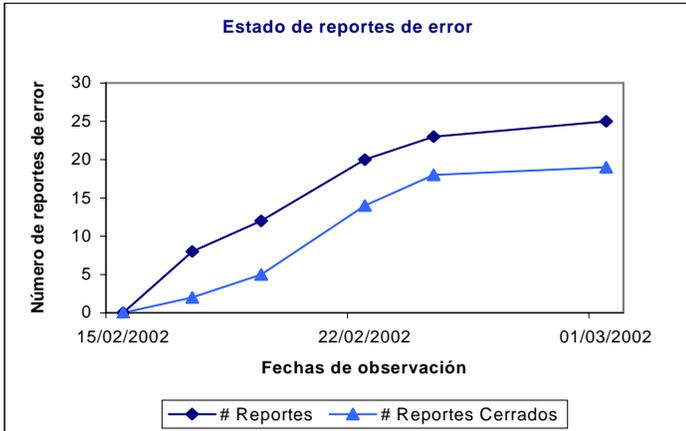
Estado de avance de Hitos



- 1 Aclaración de dudas "Multas"
- 2 Alargue actividad
- 3 Entregable: Diseño de Interfaces V1.0
- 4 Entregable: Diseño de Interfaces V2.0
- 5 Nula - Revisión Diseño Cliente
- 6 Entregable: Diseño de Interfaces V3.0
- 7 Entregable: Diseños Interno V1.0
- 8 Entregable: Diseños Interno V2.0
- 9 Nula - Revisión Diseño Cliente
- 10 Entregable: Diseño Interno V3.0
- 11 Entregable: Especificación de Eculink V2.0
- 12 Servicios Eculink Activados
- 13 Entregable: Modelo BD SIDWEB
- 14 Entregable: Modelo BD SIDWEB V2.0
- 15 Espacio en Disco
- 16 Entrega de Rutinas de PEL
- 17 Entregable: Especificación Datos de Prueba
- 18 Entrega de Datos de Prueba

(Página 2)

Análisis de Reportes (ASR)



(Página 3)

B1.2 Análisis de Tiempos

Análisis de Tiempos

Fecha Observación: 23/05/2002

Características

Nombre: Proyecto A
Gerencia: Operaciones
Cliente: Cliente A
Fecha Inicio: 24/01/2002
Jefe de Proyecto: Jefe de Proyecto 1

Resumen de Indicadores

Variación Tiempo a la fecha: 8 HH
% Variación del Proyecto: 4,32%
% de Tiempos consumido a la fecha del Total planificado: 45,4%

Notas

Leyenda de alertas
 Controlado: 0% de variación
 Manejable: 0 – 10% de variación
 Crítico: Sobre 10% de variación

Leyenda de fuentes
 GANTT: Carta Gantt
 HA: Formulario Hoja de Actividades
 ASR: Formulario Administración y Seguimiento de Reportes

Convenios de Conceptos
 Tiempo: Duración temporal que toma una determinada actividad
 Tiempo Efectivo: Tiempo que ha sido consumido o completado a la fecha.

Resumen de Datos (GANTT)

Denominación:

T_{PA} : Tiempo planificado actual	TT_{PA} : Tiempo Total planificación actual
T_{EPA} : Tiempo efectivo planificación actual	TT_{EPA} : Tiempo Total efectivo Planificación actual
T_{ECG} : Tiempo efectivo carta Gantt	TT_{ECG} : Tiempo Total efectivo carta Gantt
TA_{PA} : Tiempo acumulado planificación actual	ΔT_{CG} : Variación de tiempo según CG
TA_{EPA} : Tiempo acumulado efectivo planif. actual	ΔTA_{CG} : Variación acumulada de tiempo según CG
TA_{ECG} : Tiempo acumulado efectivo carta Gantt	ΔTT_{CG} : Variación Total de tiempo según CG

Datos Medidos*:

Etapas	Planificación Actual		Valores Medidos		Valores Acumulados		Variaciones**	
	T_{PA}	TA_{PA}	T_{EPA}	T_{ECG}	TA_{PA}	TA_{ECG}	ΔT_{CG}	ΔTA_{CG}
Requerimientos	10	10	7	8	7	8	1	1
Planificación	15	25	15	15	22	23	0	1
Diseño	38	63	25	23	47	46	2	3
Construcción	45	108	30	28	77	74	2	5
Planeación Pruebas	35	143	5	7	82	81	2	7
Ejecución Pruebas	20	163						
Producción	18	181						
Capacitación								
Gestión	4	185	2	3	84	84	1	8
TOTALES	185	-	84	84	-	-	8	-

* El cálculo se hace sobre las actividades completadas.

** Las variaciones se calculan con el valor absoluto, es decir, no consideran el signo.

Totales:

ΔTT_{CG} = 8 HH
 TT_{PA} = 185 HH
 TT_{EPA} = 84 HH
 TT_{ECG} = 84 HH

(Página 1)

Indicadores de Tiempos (GANTT)

Alerta: **Manejable**

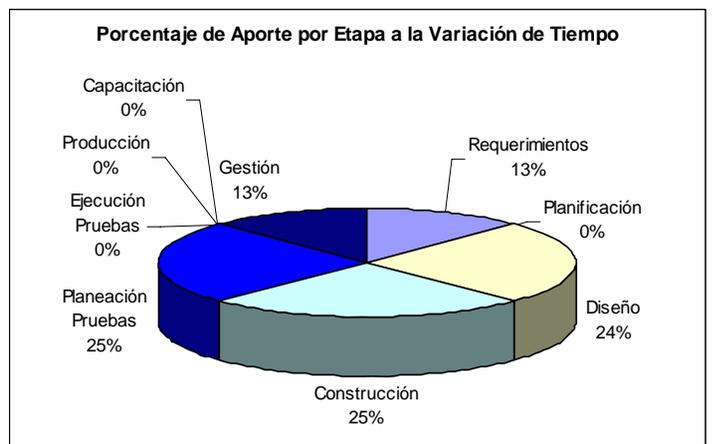
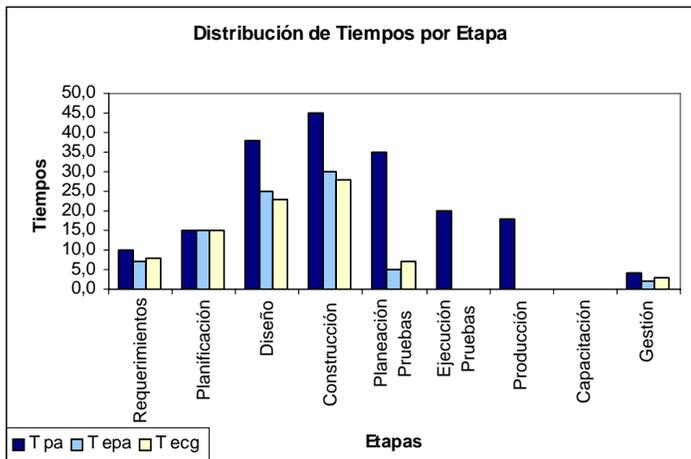
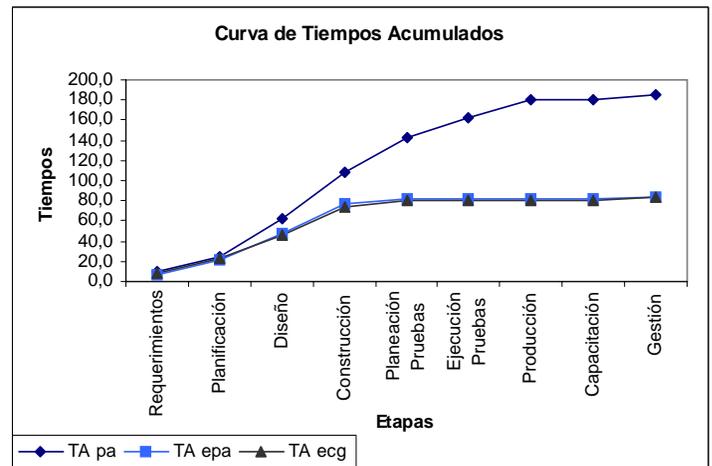
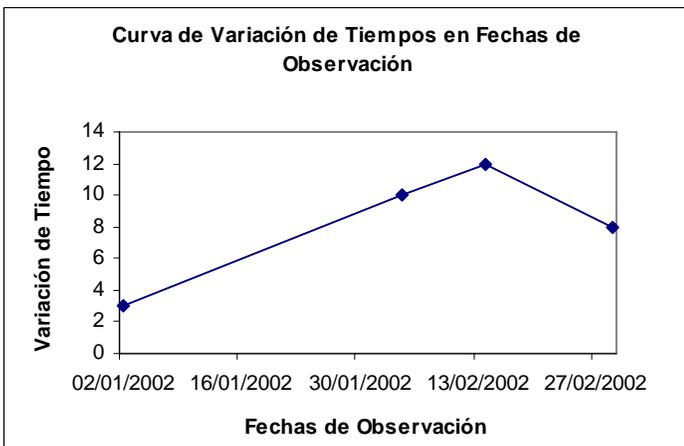
Denominación:

IT_R : Índice de tiempo efectivo sobre tiempo planificado	$IT_R = T_{ECG} / T_{EPA}$
IA_{TR} : Índice de avance del tiempo efectivo	$IA_{TR} = T_{ECG} / T_{PA}$
$I\Delta T$: Índice de variación de tiempo	$I\Delta T = \Delta E_{CG} / ET_{PA}$
$I\Delta T_E$: Índice de distribución por etapa de la variación de tiempo	$I\Delta T_E = \Delta T_{CG} / \Delta T_{CG}$

Tabla Indices de Esfuerzo:

Etapas	Indices de Esfuerzo según CG			
	IT_R	IA_{TR}	$I\Delta T$	$I\Delta T_E$
Requerimientos	1,143	0,8	0,005	0,125
Planificación	1,0	1,0	0	0
Diseño	0,92	0,605	0,011	0,25
Construcción	0,933	0,622	0,011	0,25
Planeación Pruebas	1,4	0,2	0,011	0,25
Ejecución Pruebas				
Producción				
Capacitación				
Gestión	1,5	0,75	0,005	0,125
TOTALES	1,0	0,454	0,043	1,0

Indicadores Gráficos:



Planificación Histórica (GANTT)

Fechas de Planificación	24/01/2002	12/02/2002	27/02/2002
Requerimientos	8	8	10
Planificación	10	13	15
Diseño	25	25	38
Construcción	45	45	45
Planeación Pruebas	40	40	35
Ejecución Pruebas	30	30	20
Producción	20	18	18
Capacitación			
Gestión	10	5	4

(Página 3)

B1.3 Análisis de Esfuerzos

Análisis de Esfuerzos

Fecha Observación: 23/05/2002

Características

		Resumen de Indicadores	(CG)	(HA)
Nombre:	Proyecto A	Variación Esfuerzo a la fecha:	21 HH	20 HH
Gerencia:	Operaciones	% Variación del Proyecto:	8.03%	7.9%
Cliente:	Cliente A	% de Esfuerzo consumido a la		
Fecha Inicio:	24/01/2002	fecha del Total planificado:	45%	40%
Jefe de Proyecto:	Jefe de Proyecto 1			

Notas

Leyenda de alertas	Controlado:	0% de variación
	Manejable:	0 – 10% de variación
	Crítico:	Sobre 10% de variación
Leyenda de fuentes	GANTT:	Carta Gantt
	HA:	Formulario Hoja de Actividades
	ASR:	Formulario Administración y Seguimiento de Reportes
Convenios de Conceptos	Esfuerzo:	Horas trabajadas por un profesional (HH: Hora Hombre)
	Esfuerzo Efectivo:	Esfuerzo que ha sido realizado (completado) a la fecha.

Resumen de Datos (GANTT - HA)

Denominación:

E_{PA} : Esfuerzo planificado actual	ET_{EPA} : Esfuerzo Total efectivo Planificación actual
E_{EPA} : Esfuerzo efectivo planificación actual	ET_{ECG} : Esfuerzo Total efectivo carta Gantt
E_{ECG} : Esfuerzo efectivo carta Gantt	ET_{EHA} : Esfuerzo Total efectivo HA
E_{EHA} : Esfuerzo efectivo HA	ΔE_{CG} : Variación de Esfuerzo según CG
EA_{PA} : Esfuerzo acumulado planificación actual	ΔE_{HA} : Variación de Esfuerzo según HA
EA_{EPA} : Esfuerzo acumulado efectivo planif. actual	ΔEA_{CG} : Variación acumulada de esfuerzo según CG
EA_{ECG} : Esfuerzo acumulado efectivo carta Gantt	ΔEA_{HA} : Variación acumulada de esfuerzo según HA
EA_{EHA} : Esfuerzo acumulado efectivo HA	ΔTE_{CG} : Variación Total esfuerzo según CG
ET_{PA} : Esfuerzo Total planificación actual	ΔTE_{HA} : Variación Total esfuerzo según HA

Datos Medidos*:

Etapas	Planificación Actual		Valores Medidos			Valores Acumulados			Variaciones**			
	E_{PA}	ET_{PA}	E_{EPA}	E_{ECG}	E_{EHA}	EA_{PA}	EA_{ECG}	EA_{EHA}	ΔE_{CG}	ΔE_{HA}	ΔEA_{CG}	ΔEA_{HA}
Requerimientos	25	25	13	14	16	13	14	16	1	3	1	3
Planificación	10	35	8	8	7	21	22	23	0	1	1	4
Diseño	35	70	19	23	28	40	45	51	4	9	5	13
Construcción	30	100	24	28	27	64	73	78	4	3	9	16
Planeación Pruebas	10	110	17	15	18	81	88	96	2	1	11	17
Ejecución Pruebas	15	125										
Producción	8	133										
Capacitación												
Gestión	20	153	20	10	23	137	98	119	10	3	21	20
TOTALES	153	-	137	98	119	-	-	-	21	20	-	-

* El cálculo se hace sobre las actividades completadas.

** Las variaciones se calculan con el valor absoluto, es decir, no consideran el signo.

Totales:

ΔTE_{CG}	= 21 HH
ΔTE_{HA}	= 20 HH
ET_{PA}	= 153 HH
ET_{EPA}	= 137 HH
ET_{ECG}	= 98 HH
ET_{EHA}	= 119 HH

(Página 1)

Indicadores de Esfuerzo (GANTT - HA)

Alerta: **Manejable**

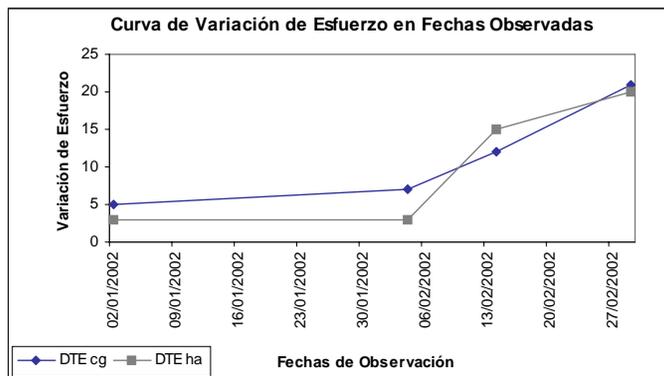
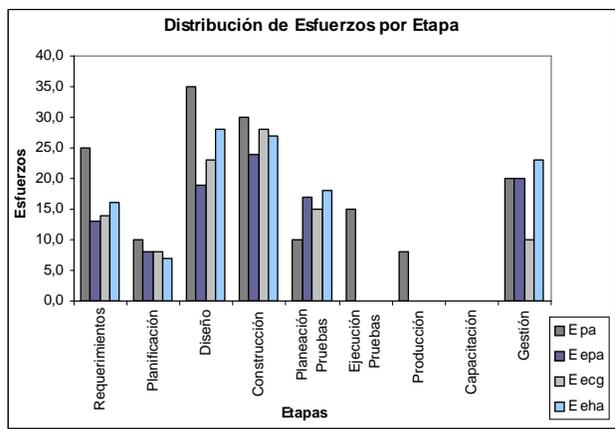
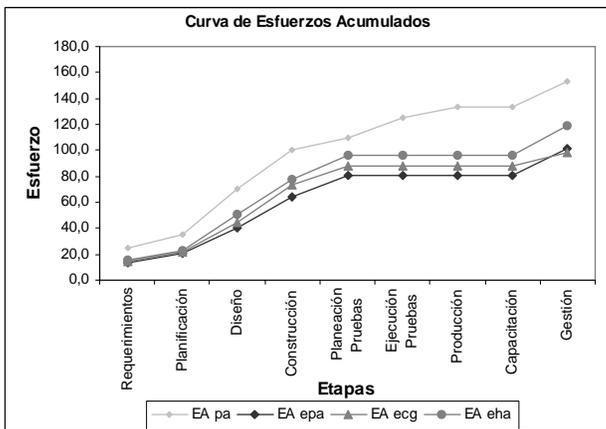
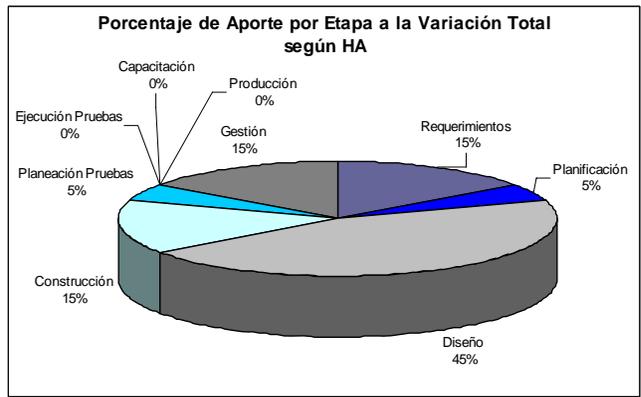
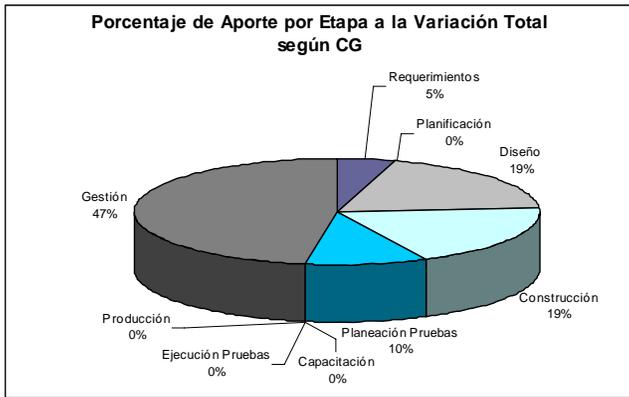
Denominación:

IE_R : Índice de esfuerzo efectivo sobre esfuerzo planificado	$IE_R = E_{ECG}/E_{EPA}$ ó $IE_R = E_{EHA}/E_{EPA}$
IA_{ER} : Índice de avance del esfuerzo efectivo	$IA_{ER} = E_{ECG}/E_{PA}$ ó $IA_{ER} = E_{EHA}/E_{PA}$
$I\Delta E$: Índice de variación de esfuerzo	$I\Delta E = \Delta E_{CG}/ET_{PA}$ ó $I\Delta E = \Delta E_{HA}/ET_{PA}$
$I\Delta E_E$: Índice de distribución por etapa de la variación de esfuerzo	$I\Delta E_E = \Delta E_{CG}/\Delta TE_{CG}$ ó $I\Delta E_E = \Delta E_{HA}/\Delta TE_{HA}$

Tabla Indices de Esfuerzo:

Etapas	Indices de Esfuerzo según CG				Indices de Esfuerzo según HA			
	IE_R	IA_{ER}	$I\Delta E$	$I\Delta E_E$	IE_R	IA_{ER}	$I\Delta E$	$I\Delta E_E$
Requerimientos	1,077	0,56	0,007	0,048	1,231	0,64	0,02	0,15
Planificación	1,0	0,8	0	0	0,875	0,7	0,007	0,05
Diseño	1,211	0,657	0,026	0,19	1,474	0,8	0,059	0,45
Construcción	1,167	0,933	0,026	0,19	1,125	0,9	0,02	0,15
Planeación Pruebas	0,882	1,5	0,013	0,095	1,059	1,8	0,007	0,05
Ejecución Pruebas								
Producción								
Capacitación								
Gestión	0,5	0,5	0,065	0,476	1,15	1,15	0,02	0,15
TOTALES	0,97	0,641	0,137	1,0	1,178	0,778	0,131	1,0

Indicadores Gráficos:



Planificación Histórica (GANTT)

Fechas de Planificación	24/01/2002	12/02/2002	27/02/2002
Requerimientos	27	25	25
Planificación	12	10	10
Diseño	35	35	35
Construcción	30	30	30
Planeación Pruebas	15	12	10
Ejecución Pruebas	24	18	15
Producción	10	10	8
Capacitación			
Gestión	28	25	20

(Página 3)

B1.5 Análisis de Reportes de Error

Análisis de Reportes

Fecha Observación: 23/05/2002

Características

Nombre: Proyecto A
Gerencia: Operaciones
Cliente: Cliente A
Fecha Inicio: 24/01/2002
Jefe de Proyecto: Jefe de Proyecto 1

Resumen de Indicadores

Indice Eficiencia Testing: 0,31
% errores del Total de Reportes: 76%
% de errores cerrados del total de errores detectados: 72%

Notas

Leyenda de fuentes
 GANTT: Carta Gantt
 HA: Formulario Hoja de Actividades
 ASR: Formulario Administración y Seguimiento de Reportes

Convenios de Conceptos
 Testing: Horas invertidas en la fase Ejecución de Pruebas(HH: Hora Hombre)
 Reportes Registrados: Todos los reportes llegados desde el cliente en la fase de pruebas.
 Errores Detectados: Reportes registrados del tipo ERROR
 Errores Cerrados: Errores que han sido cerrados.

Resumen de Datos (ASR - HA)

Denominación:

H _T :# horas gastadas en testing según HA	E _A :# errores abiertos
R _R :# total de reportes registrados.	Ef _E :Esfuerzo Total Estimado
E _D :# errores detectados	Ef _U :Esfuerzo Total Utilizado
E _C :# errores cerrados	IC :Intervalo de Cierre

Datos Medidos:

Concepto	Valor
H _T	80
R _R	33
E _D	25
E _C	18
Ef _E	173
Ef _U	180

Intervalos de Cierre para Reportes Cerrados:

IC	E _C
< 1	0
1-2	5
3-4	11
5-6	6
> 7	3

Distribución por Severidad de Reportes Abiertos:

Severidad	E _A
Leve	2
Media	3
Critico	1

Valores en Fechas Observadas:

Fechas Observadas	R _R	E _D	E _C	Esfuerzo	
				Ef _E	Ef _U
15/02/2002	2	0	0	0	0
17/02/2002	10	8	2	40	10
19/02/2002	15	12	5	89	40
22/02/2002	26	20	14	120	131
24/02/2002	30	23	16	160	158
01/03/2002	33	25	18	173	180

(Página 1)

Indicadores de Reportes (ASR - HA)

Alerta: **Manejable**

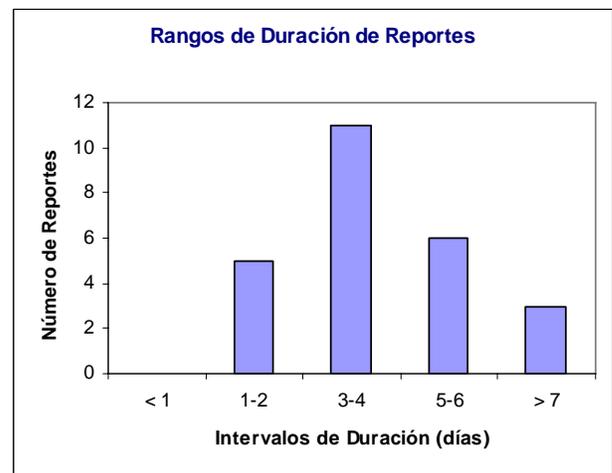
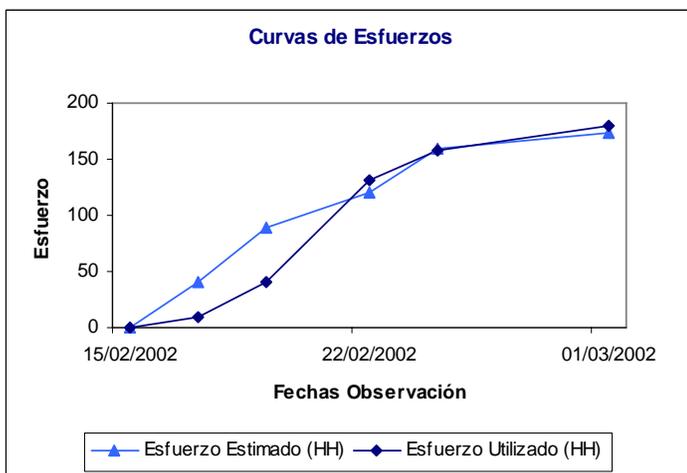
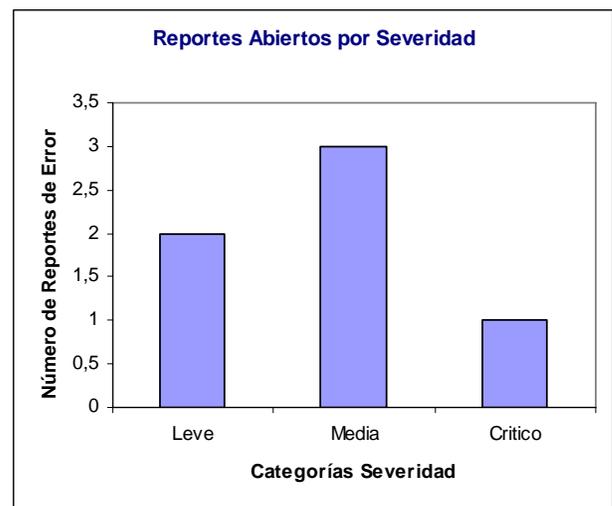
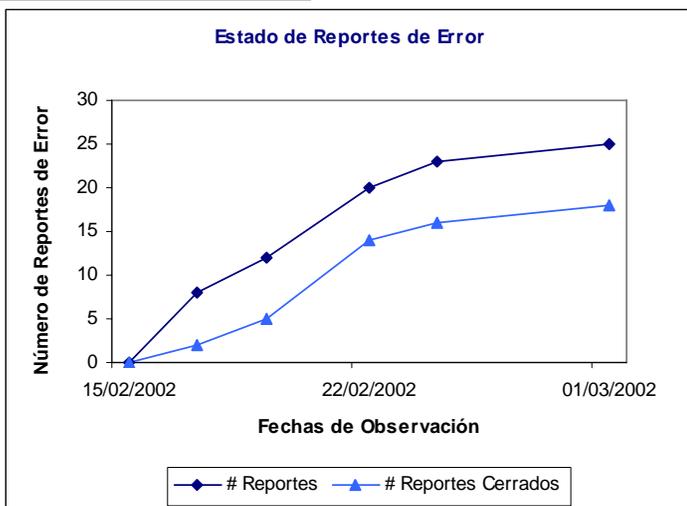
Denominación:

IET : Índice de eficiencia de testing	$IET = E_D / H_T$
IED : Índice de errores detectados	$IED = E_D / R_R$
IEU : Índice de esfuerzo utilizado	$IEU = E_C / Ef_U$
IEC : Índice de errores cerrados	$IEC = E_C / E_D$
IΔEf : Índice de variación de esfuerzo	$I\Delta Ef = Ef_E - Ef_U / Ef_E$

Tabla Indices de Reportes:

Indice	Valor
IET	0,31
IED	0,76
IEU	0,10
IEC	0,72
IΔEf	0,04

Indicadores Gráficos:



Detalle de Datos (ASR)

Parámetros:

Parámetro	Código	Descripción
TIPO	1	Sin Clasificar
	2	Nuevo Requerimiento
	3	Error
SEVERIDAD	1	Leve
	2	Medio
	3	Crítico
ESTADO	1	En Curso
	2	Cerrado
	3	Pendiente
	4	Postergado

Detalle:

Número de Reporte	Tipo	Severidad	Estado	Esfuerzo Estimado	Esfuerzo Utilizado	Tiempo de Cierre (en días)
1	3	1	2	8	9	1,5
2	3	2	2	12	12	3
3	2	3	2	15		4
4	3	2	1	10		
5	3	1	2	4	4	2
6	3	3	2	16	18	5
7	2	3	2	20		3
8	3	3	1	15		
9	2	2	2	14		6
10	3	2	1	10		
11	3	3	2	14	14	6
12	3	1	1	4		
13	3	1	2	6	7	7
14	3	1	2	3	4	5
15	3	2	2	9	7	8
16	1	3	3			
17	3	3	2	16	15	3
18	3	2	2	12	12	4
19	3	1	2	5	6	3
20	2	1	2	8		2
21	3	1	3	6	6	
22	3	1	1	4		
23	3	2	2	8	9	2
24	3	2	2	10	8	3
25	3	2	2	11	11	5
26	2	3	2	18		3
27	2	3	2	20		4
28	3	1	2	3	4	1,5
29	3	2	2	11	15	3
30	2	3	2	21		10
31	3	3	2	14	13	6
32	3	2	1	10		
33	3	1	2	5	6	4

(Página 3)