

Universidad de las Ciencias Informáticas

Facultad 3



Título: “Propuesta de un paquete de métricas para evaluar cronogramas.”

Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas.

Autores:

Katia Aragón Castañeda.

Lisandra González Alfonso.

Tutoras:

Ing. Irina Napal Torres.

Ing. Yanisleidy Barroso Benítez

Consultante:

MSc. José Ramón Ruiz de Zárate.

Junio 2009

“Año del 50 Aniversario de la Revolución”



“El aspecto fundamental en el cual la juventud debe señalar el camino es precisamente en el aspecto de ser vanguardia en cada uno de los trabajos que le compete.”

Ché.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaramos ser los únicos autores de la presente tesis y reconocemos a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de _____ del año _____.

Katia Aragón Castañeda

Lisandra González Alfonso

Firma de Autor

Firma de Autor

Ing. Irina Napal Torres

Ing. Yanisleidy Barroso Benítez

Firma de Tutor

Firma de Tutor

DATOS DE CONTACTO

Katia Aragón Castañeda

Email: karagon@estudiantes.uci.cu

Grupo: 3506

Sexo: F

Lisandra González Alfonso

Email: lgranfonso@estudiantes.uci.cu

Grupo: 3507

Sexo: F

AGRADECIMIENTOS

A la Revolución y a Fidel.

A las tutoras: Irina y Yanisleidys, gracias por su apoyo incondicional.

Le doy muchas gracias a toda mi familia por estar siempre apoyándome y guiándome, especialmente a mi mamá y mi yiyi, por llorar y reírse conmigo, por confiar en mí, sin su apoyo y comprensión hoy no pudiera ser lo que soy.

A mi papá por su gran ayuda durante todos estos años.

A mi cuñado Mauricio que ha sido como mi segundo papá, sin su ayuda y apoyo mi estancia en esta escuela hubiera sido difícil.

A mi mejor y gran amiga Sandrita que a pesar de estar distanciadas ha sido un motor impulsor para mí en esta carrera.

A mi tatico, por soportarme tanto tiempo, por hacerme creer todo el tiempo que si podía seguir en esta escuela, por su confianza y dedicación .Por ser mi amigo y mi gran amor.

A todos mis amigos por estar a mi lado en los momentos buenos y malos, especialmente a mi compañera de tesis por soportarme, a Tama, Yami por ser tan buena y oportuna, Yamisley y Julio César, a todos gracias por su apoyo y comprensión.

A todas aquellas personas que de alguna forma pusieron su granito de arena en el desarrollo de este trabajo.

Lisandra.

Gracias Infinitamente:

A mi mamá que lo ha sido todo para mí, por su apoyo incondicional, por brindarme todo el amor del mundo, por todo lo que me inculcó y porque me ha hecho la persona que hoy soy.

A mi abuelita Norma y a tía Chiny por ayudarme a alcanzar mi sueño.

A Vita y Vito por darme todo por mí y ser siempre tan tiernos.

A mi novio por estar siempre a mi lado, brindándome todo su amor.

A toda mi familia, que ha sido el motor impulsor de mi estancia en esta universidad, gracias por su ayuda y apoyo.

A todas las amigas que aquí encontré que fueron mi apoyo y compañía, en especial a Lisandra porque sin ella no hubiese sido posible el desarrollo de esta tesis, a todos mis amigos del grupo 3507 por soportarme durante estos cinco años.

A nuestras tutoras, por ayudarnos y sacrificarse para que este trabajo saliera.

A la revolución por crear esta escuela y permitirme formarme profesionalmente.

Katia.

DEDICATORIA

A la memoria de mi abuela Victoria, que en paz descansa.

A mi madre y mi hermana Gardenia que nunca me han fallado.

A mi padre.

A mi gran amiga Sandra: mi graduación es mitad tuya.

A mi tatico por ser mi apoyo en los buenos y los malos momentos.

A todos aquellos que no confiaron en que pudiera llegar hasta aquí.

Lisandra.

A mi madre, gracias por:

Conseguirme la luz del sol a media noche y el número después del infinito, endulzar el agua del mar para mi sed y alquilarme el cuarto menguante de la luna.

A todos aquellos que hicieron todo lo posible para que yo no llegara hasta aquí, a ellos les debo gran parte de mi empeño.

Katia.

RESUMEN

La Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) como institución joven dentro del desarrollo de productos y servicios de software, cuenta con una comunidad de desarrolladores de poca experiencia. En la UCI se produce software, se realizan los cronogramas de los proyectos productivos que en ella se desarrollan y se necesita que estos cronogramas cuenten con la exactitud requerida. La inexistencia de algún método que evalúe la calidad de los cronogramas como parte del desarrollo de los mismos, puede derivar, en determinadas ocasiones, en la culminación de un proyecto fuera del tiempo establecido. En el presente trabajo de diploma se arriba a la propuesta de un paquete de métricas que evalúa la calidad de los cronogramas planificados en los proyectos productivos. Las mismas ayudarán a obtener una mayor eficiencia y exactitud en la planificación de los cronogramas, así como aportar indicadores a los miembros del equipo de trabajo, que le ayudarán a tomar estrategias de mejora, de esta forma se reducirán las incongruencias existentes entre el tiempo que se estableció para la culminación del proyecto y el tiempo que verdaderamente se culminó, cumpliendo así con los acuerdos establecidos con los clientes.

PALABRAS CLAVE

Software, Cronograma, Calidad, Indicadores y Métricas.

TABLA DE CONTENIDOS.

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
1.1. Introducción.....	7
1.2. Conceptos Generales.....	7
1.3. Procesos de la Gestión de Tiempo.	10
1.3.1. Definición de las Actividades.	11
1.3.1.1. Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT).....	11
1.3.1.2. Herramientas para desarrollar EDTs.	12
1.3.2. Establecimiento de la Secuencia de las Actividades.	13
1.3.3. Estimación de Recursos de las Actividades.	15
1.3.4. Estimación de la Duración de las Actividades.	16
1.3.5. Desarrollo del Cronograma.....	18
1.3.5.1. Herramientas y Técnicas para el desarrollo del cronograma.....	19
1.3.5.2. Desarrollo del Cronograma: Salidas.	24
1.3.6. Control del Cronograma.	25
1.3.6.1. Herramientas y técnicas.....	25
1.4. Análisis del Valor Ganado.	26
1.5. Modelo de Madurez y Capacidades Integrado (CMMI).....	28
1.5.1. Áreas de Proceso del Nivel de Madurez dos de CMMI.	30
1.5.1.1. Área de proceso: Planificación de Proyectos.....	31
1.5.1.2. Área de proceso: Medición y Análisis.	31
1.5.1.3. Área de proceso: Monitorización y Control de Proyectos.	32
1.6. Proceso de Medición de Software (PSM).	33
1.6.1. Principios de medición.....	35
1.6.2. Métricas de software.....	36
1.6.2.1. Tipos de Métricas de software y otras clasificaciones.	37
1.6.2.2. Características fundamentales de las métricas de software.....	39
1.7. Enfoque GQM (Goal Question Metric).	40
1.8. Conclusiones Parciales.	41
CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE UN PAQUETE DE MÉTRICAS PARA EVALUAR CRONOGRAMAS	42
2.1. Introducción.....	42

2.2. Aplicación del Enfoque GQM para la realización de las métricas propuestas.	42
2.2.1. Prácticas Clave de GQM aplicadas para desarrollar la propuesta.	43
2.2.2. Niveles de GQM establecidos para desarrollar la propuesta.....	47
2.2.3. Pasos de GQM seguidos para desarrollar la propuesta.	50
2.3 Conclusiones Parciales.	69
CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.	70
3.1. Introducción.....	70
3.2. Proceso de Validación del paquete de Métricas.	70
3.2.1. Validación del paquete de Métricas en el proyecto SGF.....	71
3.2.1.1. Estabilidad en las actividades del cronograma: validación.	71
3.2.1.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP: validación	72
3.2.1.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: validación.....	72
3.2.1.4. Visualización de dependencias entre las actividades: validación.	73
3.2.1.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades: validación.	73
3.2.1.6. Acciones correctivas llevadas a cabo luego de la validación del paquete de métricas en el proyecto SGF.	74
3.2.2. Validación del paquete de Métricas en el proyecto PATDSI.	79
3.2.2.1. Estabilidad en las actividades del cronograma: validación.	80
3.2.2.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología OpenUP: validación	80
3.2.2.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: validación.....	81
3.2.2.4. Visualización de dependencias entre las actividades: validación.	81
3.2.2.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades: validación.	81
3.2.3. Validación del paquete de Métricas en el proyecto SUA.....	82
3.2.3.1. Estabilidad en las actividades del cronograma: validación.	83

3.2.3.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP: validación.	83
3.2.3.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: validación.....	84
3.2.3.4. Visualización de dependencias entre las actividades: validación.	84
3.2.3.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades: validación.	85
3.3. Análisis de los resultados obtenidos a partir de la validación de la propuesta.....	86
3.3.1. Estabilidad en las actividades del Cronograma. Análisis de los resultados.	86
3.3.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP y EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología OpenUP. Análisis de los resultados.	87
3.3.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades. Análisis de los resultados.	87
3.3.4. Visualización de dependencias entre las actividades. Análisis de los resultados.	88
3.3.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades. Análisis de los resultados.....	88
3.4. Conclusiones parciales.	90
CONCLUSIONES.	91
RECOMENDACIONES.	93
BIBLIOGRAFÍA.	94
ANEXOS.	97
GLOSARIO DE TÉRMINOS.	98

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1. Niveles del enfoque GQM.....	48
Figura 2.2. Representación de los niveles GQM aplicados al trabajo.	49
Figura 2.3. RUP en dos dimensiones.	53
Figura 2.4. El ciclo de vida de OpenUP.	55
Figura 2.5. Relación entre las actividades planificadas y los recursos y tiempo de duración asignados. ...	57

Figura 3.1. Comportamiento de los proyectos SGF, PATDSI y SUA en cuanto a la estabilidad en las actividades planificadas en el cronograma.	86
Figura 3.2. Comportamiento de los cronogramas de los proyectos SGF, PATDSI y SUA en cuanto a la visualización de las dependencias entre las actividades.	88
Figura 3.3. Representación de la cantidad de actividades con problemas de asignación de recursos y tiempo de duración en los cronogramas de los proyectos SGF, PATDSI y SUA.	89

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1. Flujos de trabajo que tienen mayor peso en cada una de las fases definidas por RUP:	53
Tabla 2.2. Flujos de trabajo que tienen mayor peso en cada una de las fases definidas por OpenUP.....	55
Tabla 2.3. Rangos de inestabilidad de las actividades.	63

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de proyectos de software se hace inminente en la actualidad y con él los continuos cambios que se presentan en los mismos, todo proyecto que se desarrolle necesita de la Gestión de Proyectos independientemente de su complejidad con el propósito de alcanzar los resultados requeridos.

El principal objetivo de la Gestión de Proyectos es asegurar que el proyecto se termine y entregue dentro de las fechas definidas. El segundo, un poco más ambicioso, es la asignación óptima y la integración de las entradas necesarias para cumplir los objetivos predefinidos. Ha surgido para ayudar a organizar las acciones y procesos dentro del desarrollo de un proyecto para alcanzar con el mayor éxito posible los objetivos propuestos por el mismo. Contribuye a gestionar los recursos y tener un dominio sobre cada área que influya en el proceso de desarrollo (Díaz, 2004). La Gestión de Proyectos, muchas veces, es responsabilidad de un solo individuo. Este individuo raramente participa de manera directa en las actividades que producen el resultado final del proyecto. En vez de eso se esfuerza por mantener el progreso y la interacción mutua productiva de las varias partes de manera que el riesgo general de fracasar se disminuya.

Entre los años 1940 y 1970 existía una Gestión de Proyectos tradicional, se asumía que las organizaciones vivían en un mundo estático y predecible para desarrollar los proyectos y las decisiones se tomaban sin darle importancia a la satisfacción del cliente. El presupuesto, cronograma y la asignación de recursos se manejaban a través de una serie de herramientas fijas y el ciclo de vida del proyecto constaba solo de cuatro fases: Inicio, Planificación, Ejecución, y Cierre. En cambio, en la Gestión de Proyectos moderna (desde 1980 hasta nuestros días) las cosas cambian, ya que se asume que vivimos en mundo caótico y no predecible para desarrollar los proyectos, y al revés que la Gestión de Proyectos tradicional, para toma de decisiones se tiene en cuenta la opinión y satisfacción del cliente. Nacen nuevas técnicas y herramientas para gestionar los proyectos en los ámbitos de gestión de contratos, análisis de costes, análisis de riesgos, del entorno, negociación y gestión de cambios. Además, se incorporan dos fases adicionales al ciclo de vida tradicional: la fase de Seguimiento y la fase de Control. (Angel Nieva)

La Gestión de Proyectos incluye nueve áreas de conocimiento de la dirección de proyectos de software (PMI, 2004):

- Gestión de Integración: Asegurar que los diversos elementos del proyecto están adecuadamente coordinados.
- Gestión del Alcance: Asegurar que el proyecto incluye todos los trabajos requeridos y sólo estos.
- Gestión de Tiempo: Asegurar la realización del proyecto dentro de los plazos.
- Gestión de Costes: Asegurar que el proyecto es completado dentro del presupuesto previsto.
- Gestión de la Calidad: Asegurar que el proyecto satisface los requisitos, es decir, las necesidades por las cuales fue emprendido.
- Gestión de Recursos Humanos: Conseguir el uso más efectivo de las personas que participan en el proyecto.
- Gestión de Comunicaciones: Asegurar en tiempo y forma adecuados la generación, recopilación, diseminación, almacenamiento y localización final de la información del proyecto.
- Gestión de Riesgos: Identificar, analizar y dar respuesta a los riesgos del proyecto; maximizar la probabilidad y consecuencias de eventos positivos y minimizar las de eventos negativos.
- Gestión de Adquisiciones: Adquirir productos (bienes y/o servicios) de fuera de la organización que realiza el proyecto. (PMI, 2004)

La capacidad de gestionar bien el tiempo es una habilidad que las empresas valoran cada vez más en sus trabajadores, ya que este factor mejora la productividad y la competitividad de la organización. El tiempo se descompone para propósitos analíticos en el tiempo requerido para completar los componentes del proyecto que es, a su vez, descompuesto en el tiempo requerido para completar cada tarea que contribuye a la finalización de cada componente. Cuando se realizan tareas utilizando Gestión de Proyectos, es importante partir el trabajo en pedazos menores para que sean fáciles de seguir. Estimar adecuadamente el tiempo de desarrollo de un proyecto de software es la clave del éxito del mismo.

Entre los procesos que se realizan en la Gestión del Tiempo del Proyecto se encuentra el desarrollo del cronograma del proyecto. Para crear un cronograma de proyecto, lo ideal es que el encargado de proyecto tenga una Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT); la cual sirve como base para la planificación del proyecto, una estimación de esfuerzo para cada tarea, y una lista de los recursos con la disponibilidad de cada uno. (PMI, 2004)

El desarrollo del cronograma exige que se revisen y se corrijan las estimaciones de duración y las estimaciones de los recursos para crear un cronograma del proyecto aprobado que pueda servir como línea base, con respecto a la cual poder medir el avance. El desarrollo del cronograma continúa a lo largo del proyecto, a medida que el trabajo avanza, el plan de gestión del proyecto cambia, y los eventos de riesgo anticipados ocurren o desaparecen al tiempo que se identifican nuevos riesgos.

Según el PMI, (2004) en el mundo actualmente existen diversas herramientas y técnicas para el control de los cronogramas de los proyectos, pero desgraciadamente es una realidad que en la industria del software a nivel mundial suele suceder que los cronogramas no cumplen con su objetivo primordial, no se realizan las entregas de subproductos en las fechas previstas por parte de las personas que van a hacer el trabajo y por tanto, muchos cronogramas son inexactos.

La Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) como institución joven dentro del desarrollo de productos y servicios de software, cuenta con una comunidad de desarrolladores de poca experiencia. En la UCI se produce software, se realizan los cronogramas de los proyectos productivos que en ella se desarrollan y se necesita que estos sean cronogramas realistas y factibles. La inexistencia de algún método que evalúe la calidad de los cronogramas como parte del desarrollo de los mismos, puede derivar en ocasiones, en la culminación de un proyecto fuera del tiempo establecido, trayendo consigo incongruencias entre el tiempo que se estableció para la culminación del proyecto y el tiempo en que verdaderamente se culminó y además se incumple con los acuerdos establecidos con el cliente que esperaba por el producto final.

Esto se ha convertido en un tema crítico para los proyectos productivos de la universidad, los resultados alcanzados no cubren las expectativas, debido precisamente a diversos problemas en la realización de los cronogramas de tiempo de desarrollo de los proyectos y la evaluación de estos.

Los cronogramas que se realizan en la UCI deben tener correspondencia con los entregables, las fechas de inicio y fin y las fases definidas en el proyecto. También deben satisfacer los requerimientos, estar

preparados y concebidos para disminuir los riesgos del proyecto, cubrir y ajustarse al modelo de producción y estar establecido en función del plan de desarrollo. Finalmente, los resultados del proyecto deben estar acorde con el cronograma y los entregables del proyecto. (Durán, 2009)

Actualmente la UCI no posee alternativas totalmente adecuadas para poder de forma satisfactoria evaluar la exactitud de los cronogramas de sus proyectos productivos, generando la inexactitud de una estimación real, lo que provoca ineficiente asignación de recursos y retrasos en la entrega a clientes.

Teniendo en consideración la situación problémica planteada anteriormente se determinó el siguiente **problema científico**: Las ineficiencias en la construcción de los cronogramas y la evaluación de los mismos está afectando la adecuada planeación de los recursos y el cumplimiento de los compromisos contraídos con los clientes.

Para darle solución al problema planteado se define como **objeto de estudio**: Gestión de Tiempo.

Para lo cual se traza como **objetivo de la investigación**: Desarrollar un paquete de métricas para la evaluación de cronogramas.

El campo de acción: Paquete de métricas para la evaluación de cronogramas.

Cuyos **objetivos específicos** son:

- Evaluar y analizar el estado del arte de las pautas existentes para la construcción y evaluación de los cronogramas.
- Desarrollar un paquete de métricas para la evaluación de los cronogramas en los proyectos productivos.
- Validar el paquete de métricas en el proyecto Sistema de Gestión Fiscal (SGF).

Hipótesis: Con la determinación de un paquete de métricas, se facilitará el proceso de evaluación de los cronogramas y se logrará una exactitud de los mismos en el proyecto productivo SGF de la Facultad tres de la UCI.

Para llevar a cabo el presente trabajo se definieron las siguientes **tareas de investigación**:

- Estudio y análisis de tendencias, pautas y métodos para la evaluación de los cronogramas.
- Descripción de métricas para la evaluación de los cronogramas en los proyectos productivos.
- Aplicación y evaluación del paquete de métricas para la evaluación de la exactitud del cronograma en el proyecto SGF.

Se utilizaron los siguientes **métodos científicos de la Investigación**:

Métodos teóricos: Histórico lógico, Hipotético deductivo, Sistémico.

En cada caso se plantea el problema como un todo, donde los datos tomados tras la aplicación de la propuesta en el cronograma del proyecto Sistema de Gestión Fiscal, a partir del análisis de las necesidades existentes en la universidad, se funden en un sistema sostenible e integral. Orientando la problemática de la evaluación de la calidad de cronogramas desde un enfoque histórico lógico, en la primera parte de la investigación se realiza un estudio del estado del arte de la problemática enunciada, donde se analizan las técnicas y herramientas existentes para el control de los cronogramas en la Gestión de Tiempo. La investigación sigue además un método hipotético deductivo, ya que a partir de la problemática real se plantean los objetivos específicos e hipótesis que en el transcurso de la investigación son resueltas siguiendo métodos científicamente bien fundamentados.

Método empírico: Experimentación, Medición.

Además de seguir métodos teóricos se siguen métodos empíricos basando la investigación en la experimentación con datos provenientes de situaciones reales suministrados por la aplicación en el Proyecto SGF.

Se aplicaron pruebas estadísticas bien fundamentadas para analizar la factibilidad de las métricas desarrolladas y la calidad de los resultados finales. Se establecen indicadores adecuados que permiten realizar correctas mediciones de los resultados, y se efectuaron correcciones a partir de las deficiencias detectadas.

Estructura del trabajo.

El presente trabajo de diploma consta de tres capítulos y una breve introducción a la Gestión de Proyectos, dentro de ésta la Gestión de Tiempo y más específicamente en la construcción y evaluación de cronogramas en el mundo y en la UCI.

En el capítulo uno se realiza un estudio del estado del arte sobre los procesos de la Gestión de Tiempo, el Modelo de Madurez y Capacidades Integrado (Capability Maturity Model Integration, CMMI), posteriormente sobre el Proceso de Medición de Software, métricas de software existentes y finalmente sobre el enfoque Meta-Pregunta-Métrica (Goal-Question-Metric, GQM) utilizado para la realización de la propuesta.

En el capítulo dos se propone el paquete de métricas para la evaluación de cronogramas aplicando las prácticas claves y niveles que propone el enfoque GQM para el desarrollo de métricas y siguiendo cada uno de sus pasos, explicando su importancia y aplicación.

En el capítulo tres se expone la validación del paquete de métricas propuesto, en los proyectos SGF, Paquete de Herramientas para el Análisis de Datos (PATDSI) y Sistema Único de Aduanas (SUA), luego el análisis de los resultados obtenidos. Finalmente se presentan las conclusiones del trabajo y las recomendaciones.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1. Introducción.

El presente capítulo incluye conceptos generales sobre Gestión de Tiempo, cronogramas y métricas de software que se utilizan en la Gestión de Proyectos. Se ha incluido un estudio de los diferentes procesos de la Gestión de Tiempo, así como un análisis profundo del modelo de calidad de CMMI, sus niveles y áreas de procesos, posteriormente una descripción del Proceso de Medición de Software, se enuncian diferentes tipos de métricas de software existentes, finalmente sobre el enfoque GQM para la realización de métricas.

1.2. Conceptos Generales.

Muchas han sido las personalidades e instituciones que han dedicado gran parte de sus estudios a la Gestión de Proyectos, por lo que a lo largo de la historia del desarrollo del software se pueden encontrar infinidad de documentos y definiciones que hacen referencia a este tan importante tema. Se introduce diferentes definiciones necesarias.

Proyecto: El (PMI, 2004) define un proyecto como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. El término temporal se refiere a que cada proyecto define un comienzo y un final al cual se llega cuando se han cumplido todos los objetivos del proyecto o cuando queda claro que no se han alcanzado o no se alcanzarán los objetivos. Además un proyecto crea servicios productos o resultados únicos mediante una elaboración gradual, lo que significa que se va desarrollando en pasos el proyecto y este va aumentando cada vez (PMI, 2004).

Gestión de Proyectos: Según una comparación efectuada entre las principales tendencias, la Gestión de Proyectos se considera la aplicación de conocimientos, habilidades, técnicas y herramientas dentro de un proyecto para definir los requerimientos del mismo. Integra los procesos de Inicio, Planificación, Ejecución, Seguimiento y Control y Cierre (PMI, 2004).

Una de las nueve áreas de conocimiento de la dirección de proyectos de software que incluye el (PMI, 2004) es la Gestión de Tiempo.

La **Gestión del Tiempo** del proyecto es el área de conocimiento de la dirección de proyectos de software que incluye los procesos necesarios para lograr la conclusión del proyecto a tiempo, estos procesos interaccionan entre sí y también con los procesos de las demás áreas de conocimiento. Cada proceso puede implicar el esfuerzo de una o más personas o grupos de personas, dependiendo de las necesidades del proyecto. (PMI, 2004)

Cronograma: proviene del griego (kronos) tiempo, (gramaas) actividad (Freelang(Griego)) y que consiste en una lista de todos los elementos terminales de un proyecto con sus fechas previstas de comienzo y final.

Planificación: La planificación es el proceso de crear el calendario de un proyecto en base a los datos del proyecto como tareas, recursos y calendarios. (Kplato, 2009)

Hito: Un hito es un evento planificado de vital importancia para la culminación de una entrega o de una serie de entregas relacionadas (que suelen marcar el final de un período). Un hito es una actividad con duración cero y sin esfuerzo es decir no hay trabajo asociado con un hito. Es una marca en el plan de trabajo para indicar que ya se ha terminado alguna parte del trabajo. (Kplato, 2009)

Camino crítico: Un camino es un conjunto de tareas conectadas. En la Gestión de Proyectos, un camino crítico es la secuencia de elementos terminales del proyecto conectados con la mayor duración, que determina el menor tiempo posible para completar el proyecto. La duración del camino crítico determina la duración del proyecto. Cualquier retraso en un elemento del camino crítico tiene un impacto directo sobre la fecha de finalización del proyecto (esto es, no hay margen para el camino crítico). Por ejemplo, si se retrasa un día una tarea del camino crítico, el proyecto entero se retrasa un día (a no ser que haya otra tarea del camino crítico que se adelante un día). (Kplato, 2009)

Tarea: Una tarea es parte de un proyecto que se tiene que realizar en un período de tiempo definido. Las tareas se pueden enlazar para crear dependencias. (Kplato, 2009)

Recurso: Un recurso es un elemento necesario para completar una tarea. Los recursos pueden ser personas, equipos, instalaciones, dinero o cualquier otra cosa necesaria para realizar el trabajo del proyecto. Los recursos pueden tener una disponibilidad temporal limitada. (Kplato, 2009)

Holgura libre: Es lo que puede retrasarse una tarea sin que afecte a las fecha de comienzo de las de las tareas sucesoras. (Esterkin, 2007)

Holgura total: Es lo que puede retrasarse una tarea sin que afecte a la duración del proyecto. (Esterkin, 2007)

Margen: El margen o seguro en la Gestión de Proyectos es la cantidad de tiempo que se puede retrasar la red de un proyecto, sin causar un retraso en aspectos como:

- Elementos terminales subsiguientes (flotante libre).
- Fecha de conclusión del proyecto (flotante total). (Kplato, 2009).

Para la evaluación de los cronogramas se propondrán un conjunto de métricas y para entender el concepto general de métrica se introducen definiciones que se encuentran encerradas dentro de esta palabra. Como las de los términos medida y medición que se utilizan a menudo indistintamente y se pueden confundir.

Una **medida** “proporciona una indicación cuantitativa de extensión, cantidad, dimensiones, capacidad y tamaño de algunos atributos de un proceso o producto” (Pressman, 2005).

Medición no es más que el acto de determinar una medida (Pressman, 2005).

La medición “es el proceso por el cual los números o símbolos son asignados a atributos o entidades en el mundo real tal como son descritos de acuerdo a reglas claramente definidas” (Fenton, 1991).

Entidad: puede ser un objeto físico, un evento que ocurre en un determinado momento de tiempo o una actividad que transcurre en un determinado intervalo de tiempo.

Tipos de entidades: Procesos, Productos, Recursos

Atributo: Un atributo es una característica de una entidad (Fenton, 1991)

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE) define **métrica** como “una medida cuantitativa del grado en que un sistema, componente o proceso posee un atributo dado. (IEEE, 1990)

Un ingeniero de software recopila medidas y desarrolla métricas para obtener indicadores (Pressman, 2005).

Un **indicador** es una métrica o una combinación de métricas que proporciona una visión profunda que permite al gestor de proyectos o a los ingenieros de software ajustar el producto, el proyecto o el proceso para que las cosas salgan mejor (Pressman, 2005)(Ragland, Marzo, 1995).

Los indicadores de proyecto permiten (1) evaluar el estado del proyecto en curso; (2) seguir la pista de los riesgos potenciales; (3) detectar las áreas de problemas antes de que se conviertan en críticas; (4) ajustar el flujo y las tareas del trabajo, y (5) evaluar la habilidad del equipo del proyecto en controlar la calidad de los productos de trabajo de software (Pressman, 2005).

Concluyendo, muchos autores coinciden en que una métrica es utilizada para proporcionar indicadores que conducirán a una estrategia de mejora. Es por eso que se dice que la medición es esencial, si es que se desea realmente conseguir la calidad del software.

1.3. Procesos de la Gestión de Tiempo.

El objetivo fundamental de la Gestión del Tiempo del Proyecto "es concluir el proyecto a tiempo, logrando el alcance del proyecto, en tiempo, costes y calidad requerida por el cliente, sin rebasar los riesgos inherentes del proyecto" (PMI, 2004). Los procesos que la Gestión del Tiempo del Proyecto incluye son:

- Definición de actividades.
- Establecimiento de la secuencia de las actividades.
- Estimación de los recursos de las actividades.
- Estimación de la duración de las actividades.

- Desarrollo del cronograma.
- Control del cronograma.

1.3.1. Definición de las Actividades.

Este proceso identifica las actividades específicas del cronograma que deben ser realizadas para producir los diferentes productos entregables del proyecto. (PMI, 2004)

Definir las actividades del cronograma implica identificar y documentar el trabajo que se planifica realizar. El proceso Definición de las Actividades identificará los productos entregables al nivel más bajo de la estructura de desglose del trabajo (EDT), que se denomina paquete de trabajo. Los paquetes de trabajo del proyecto están planificados (descompuestos) en componentes más pequeños denominados actividades del cronograma, para proporcionar una base con el fin de estimar, establecer el cronograma, ejecutar, y supervisar y controlar el trabajo del proyecto. La definición y planificación de las actividades del cronograma están implícitas en este proceso, de tal modo que se cumplan los objetivos del proyecto. (Olalde)

Como parte de este proceso se definen los atributos de la actividad, estos identifican las múltiples características relacionadas con cada actividad del cronograma. También se define una lista de hitos del cronograma que identifica todos los hitos e indica si el hito es obligatorio (exigido por el contrato) u opcional (sobre la base de los requisitos del proyecto o la información histórica), estos se utilizan en el modelo de cronograma. (Olalde)

1.3.1.1. Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT).

La EDT es una técnica para mirar al proyecto a alto nivel y subsecuentemente descomponer el trabajo en piezas más y más pequeñas hasta que pueda tener la imagen completa del trabajo que necesita ser ejecutado. El equipo completo puede colaborar en este ejercicio. En su mayor parte, la técnica de Estructura de Descomposición del Trabajo puede siempre ser usada como punto de inicio para crear un cronograma desde cero. Si el líder no conoce suficiente para crear un EDT del proyecto (o al menos para los primeros tres meses del proyecto), probablemente no esté en posición de iniciar el proyecto. En este caso, puede que solo quiera definir un proyecto para la porción de análisis del proyecto. Cuando la porción

de análisis del proyecto esté terminada, deberá tener suficiente información para definir el resto del proyecto. (TenStep, 2008)

En Gestión de Proyectos, una Estructura de Descomposición del Trabajo o Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) (en inglés Work Breakdown Structure, WBS) es una estructura exhaustiva, jerárquica y descendente formada por los entregables y las tareas necesarias para completar un proyecto. La EDT es una herramienta muy común y crítica en la Gestión de Proyectos. (PMI, 2004)

El propósito de una EDT es documentar el alcance del proyecto. Su forma jerárquica permite una fácil identificación de los elementos finales. Siendo un elemento exhaustivo que sirve como la base para la planificación del proyecto. Todo trabajo a ser hecho en el proyecto debe poder rastrear su origen en una o más entradas de la EDT.

En la Gestión de Proyectos no se trata tanto de enfocarse en realizar el trabajo, como de monitorizarlo, de tal forma que se aseguren los resultados planificados. (PMI, 2004) Es por eso que un buen consejo para crear una EDT es que sea lo suficientemente detallada como para poder asignar una parte del trabajo a un tercero, y que su estado se monitorice adecuadamente. Por eso una medida práctica de la profundidad que debe alcanzar la EDT es preguntarse si el nivel al que se ha llegado permite definir con claridad las variables tiempo y coste. Si aún no se pueden determinar en el nivel en que se está, deberá subdividirse aún más. Este trabajo asignado podría convertirse en una nueva EDT subalterna de la anterior.

1.3.1.2. Herramientas para desarrollar EDTs.

El software para la Gestión de Proyectos puede ser muy útil para desarrollar una EDT (PMI, 2004). Otra opción es la utilización de un software de trabajo colaborativo por medio de la cual los distintos actores o (miembros del equipo o invitados) hacen sus aportes en un espacio común designado para ello. La gran utilidad de esta herramienta radica en que tales aportes pueden tener un origen asincrónico y de dispersión geográfica, no obstante los cuales se integrarán en una única plataforma que los contendrá para que sean visualizados en contexto y guardando un registro detallado de su evolución. (PMI, 2004)

La Norma de Práctica del Project Management Institute para Estructuras de Desglose del Trabajo proporciona orientación para la generación, el desarrollo y la aplicación de EDTs. Esta publicación contiene ejemplos de plantillas de EDTs específicos de la industria que pueden adaptarse a proyectos específicos en un área de aplicación en particular. (PMI, 2004).

1.3.2. Establecimiento de la Secuencia de las Actividades.

Identifica y documenta las dependencias entre las actividades del cronograma.

El establecimiento de la secuencia de las actividades implica identificar y documentar las relaciones lógicas entre las actividades del cronograma. Las actividades del cronograma pueden estar ordenadas de forma lógica con relaciones de precedencia adecuadas, así como también adelantos y retrasos, para respaldar el desarrollo posterior de un cronograma del proyecto realista y factible. El establecimiento de la secuencia puede realizarse utilizando un software de Gestión de Proyectos o técnicas manuales. Las técnicas manuales y automatizadas también pueden combinarse. (PMI, 2004)

Existen técnicas manuales para lograr el correcto establecimiento de la secuencia de actividades tales como es el Método de Diagramación por Precedencia (PDM) y el Método de Diagramación con Flechas (A.D.M) los cuales se explican a continuación:

- **Método de Diagramación por Precedencia (PDM).**

El PDM es un método para crear un diagrama de red del cronograma del proyecto que utiliza casillas o rectángulos, denominados nodos, para representar actividades, que se conectan con flechas que muestran las dependencias. Esta técnica también se denomina actividad en el nodo (AON), usa la técnica de redes de precedencia, y es el método utilizado por la mayoría de los paquetes de software de Gestión de Proyectos.

El PDM incluye cuatro tipos de dependencias o relaciones de precedencia:

- **Final a Inicio.** El inicio de la actividad sucesora depende de la finalización de la actividad predecesora.

- **Final a Final.** La finalización de la actividad sucesora depende de la finalización de la actividad predecesora.
- **Inicio a Inicio.** El inicio de la actividad sucesora depende del inicio de la actividad predecesora.
- **Inicio a Fin.** La finalización de la actividad sucesora depende del inicio de la actividad predecesora.

En el PDM, final a inicio es el tipo de relación de precedencia más comúnmente usado. Las relaciones inicio a fin raramente se utilizan. (Olalde)

- **Método de Diagramación con Flechas (A.D.M.).**

El ADM es un método para crear un diagrama de red del cronograma del proyecto que utiliza flechas para representar las actividades, que se conectan en nodos para mostrar sus dependencias. Esta técnica también se denomina actividad en la flecha (AOA), usa la técnica de redes de precedencia y, aunque menos común que el PDM, todavía se utiliza para enseñar teoría de la red del cronograma y en algunas áreas de aplicación.

El ADM sólo utiliza dependencias; final a inicio y puede requerir el uso de relaciones “ficticias”, denominadas actividades ficticias, que se representan como una línea de puntos, para definir correctamente todas las relaciones lógicas. Como las actividades ficticias no son actividades del cronograma reales (no tienen contenido de trabajo), se les asigna un valor de duración cero a los fines del análisis de la red del cronograma. (Olalde)

- **Aplicación de Adelantos y Retrasos.**

Si no se realiza la aplicación de adelantos y retrasos nunca se podrá establecer una secuencia de actividades del cronograma con la calidad requerida. El equipo de dirección del proyecto determina las dependencias que pueden requerir un adelanto o un retraso para definir con

exactitud la relación lógica. El uso de adelantos y retrasos, y sus asunciones relacionadas están documentados.

Un adelanto permite la aceleración de la actividad sucesora. Por ejemplo, el equipo de redacción técnica puede comenzar a escribir el segundo borrador de un documento grande (la actividad sucesora) quince días antes de terminar de escribir el primer borrador completo (la actividad predecesora). Esto puede lograrse mediante una relación final a inicio con un período de adelanto de quince días.

Un retraso causa una demora en la actividad sucesora. Por ejemplo, para dar cuenta del período de diez días que el hormigón tarda en curarse, se puede utilizar un retraso de diez días en una relación final a inicio, lo que significa que la actividad sucesora no puede comenzar hasta diez días después de finalizada la predecesora(Olalde).

1.3.3. Estimación de Recursos de las Actividades.

En este proceso se estima el tipo y las cantidades de recursos necesarios para realizar cada actividad del cronograma.

La estimación de recursos de las actividades del cronograma involucra determinar cuáles son los recursos (personas, equipos, o material) y qué cantidad de cada recurso se utilizará, y cuándo estará disponible cada recurso para realizar las actividades del proyecto. El proceso Estimación de Recursos de las Actividades se coordina estrechamente con el proceso Estimación de Costes. (Olalde)

Se podrá hacer una estimación óptima de los recursos necesarios para la realización de las actividades mediante las siguientes herramientas y técnicas:

- **Técnica: Juicio de Expertos:** Todo grupo o persona con conocimientos especializados en planificación y estimación de recursos puede aportar dicha experiencia.
- **Técnica: Análisis de Alternativas:** Muchas actividades del cronograma cuentan con métodos alternativos de realización. Estos incluyen el uso de distintos niveles de capacidad o habilidades de

los recursos, diferente tamaño o tipo de máquinas, diferentes herramientas (manuales frente a automatizadas) y la decisión de fabricación propia o compra a terceros con respecto al recurso.

- **Técnica: Datos de Estimación Publicados:** Varias empresas publican periódicamente los índices de producción actualizados y los costes unitarios de los recursos para una extensa variedad de industrias, materiales y equipos, en diferentes países y en diferentes ubicaciones geográficas dentro de esos países.
- **Herramienta: Software de Gestión de Proyectos:** El software de Gestión de Proyectos tiene la capacidad de ayudar a planificar, organizar y gestionar los conjuntos de recursos, y de desarrollar estimaciones de recursos. Dependiendo de la complejidad del software, podrán definirse las estructuras de desglose de recursos, las disponibilidades de recursos y las tarifas de recursos, así como también diversos calendarios de recursos.
- **Técnica: Estimación Ascendente:** Cuando no se puede estimar una actividad del cronograma con un grado razonable de confianza, el trabajo que aparece dentro de la actividad del cronograma se descompone con más detalle. Se estiman las necesidades de recursos de cada una de las partes inferiores y más detalladas del trabajo, y estas estimaciones se suman luego en una cantidad total para cada uno de los recursos de la actividad del cronograma.

1.3.4. Estimación de la Duración de las Actividades.

Durante este proceso se estima el número de períodos laborables que se necesitarán para completar actividades individuales del cronograma.

El proceso de estimar las duraciones de las actividades del cronograma utiliza información sobre el alcance del trabajo de la actividad del cronograma, los tipos de recursos necesarios, las cantidades de recursos estimadas y los calendarios de recursos con su disponibilidad. Las entradas para las estimaciones de la duración de las actividades del cronograma surgen de la persona o grupo del equipo del proyecto que esté más familiarizado con la naturaleza del contenido del trabajo de la actividad del cronograma específica. La estimación de la duración se desarrolla de forma gradual, y el proceso evalúa

la calidad y disponibilidad de los datos de entrada. De esta manera, puede suponerse que la estimación de la duración será cada vez más exacta y de mejor calidad.

El proceso Estimación de la Duración de las Actividades requiere que se estime la cantidad de esfuerzo de trabajo, la cantidad prevista de recursos a ser aplicados y la cantidad de períodos laborables necesarios para completar la actividad del cronograma. Se documentan todos los datos y asunciones que respaldan la estimación de la duración para cada actividad.

Estimar la cantidad de períodos laborables necesarios para completar una actividad del cronograma puede requerir la consideración del tiempo transcurrido como requisito relacionado con un tipo de trabajo específico. La mayor parte del software de Gestión de Proyectos para la elaboración de cronogramas tratará esta situación mediante un calendario del proyecto y calendarios de recursos de períodos laborables alternativos que, por lo general, se identifican por los recursos que requieren períodos laborables específicos. Las actividades del cronograma se realizarán de acuerdo con el calendario del proyecto, y las actividades del cronograma a las cuales se asignan los recursos también se realizarán según los calendarios de recursos correspondientes.

La duración total del proyecto se calcula como salida del proceso Desarrollo del Cronograma (Olalde).

Existen varias técnicas que se utilizan para la estimación de la duración de las actividades como son:

- **Técnica: Juicio de Expertos**, explicada anteriormente.
- **Técnica: Estimación por Analogía**: La estimación de la duración por analogía significa utilizar la duración real de una actividad del cronograma anterior y similar como base para la estimación de la duración de una actividad del cronograma futura.
- **Técnica: Estimaciones por Tres Valores (Tiempo PERT)**: La precisión de la estimación de la duración de la actividad puede mejorarse teniendo en cuenta la cantidad de riesgo de la estimación original. Las estimaciones por tres valores se basan en determinar tres tipos de estimaciones:
 - **Más probable (m)**. La duración de la actividad del cronograma, teniendo en cuenta los recursos que probablemente serán asignados, su productividad, las expectativas

realistas de disponibilidad para la actividad del cronograma, las dependencias de otros participantes y las interrupciones.

- **Optimista (Op).** La duración de la actividad se basa en el mejor escenario posible de lo que se describe en la estimación más probable.
- **Pesimista (p).** La duración de la actividad se basa en el peor escenario posible de lo que se describe en la estimación más probable.

Se puede elaborar una estimación de la duración de la actividad utilizando un promedio de las tres duraciones estimadas. Este promedio con frecuencia suministra una estimación de la duración de la actividad más precisa que la estimación de valor único, más probable.

El tiempo PERT se define como: $(1Op+4m+1p)/6$ (probabilidad del 50%)

- **Técnica: Análisis de Reserva:** Los equipos del proyecto pueden decidir agregar tiempo adicional, denominado reservas para contingencias, reservas de tiempo o colchón, al cronograma del proyecto, en reconocimiento al riesgo del cronograma. La reserva para contingencias puede ser un porcentaje de la duración estimada de la actividad, una cantidad fija de períodos laborables, o puede desarrollarse mediante el análisis cuantitativo de riesgos del cronograma. La reserva para contingencias puede utilizarse de forma total o parcial, o reducirse o eliminarse con posterioridad, a medida que se dispone de información más precisa sobre el proyecto. Dicha reserva para contingencias se documenta junto con otros datos y asunciones relacionados

1.3.5. Desarrollo del Cronograma.

Este proceso consiste en analizar las secuencias de las actividades, su duración, los requisitos de recursos y las restricciones del calendario para crear el cronograma del proyecto.

El desarrollo del cronograma del proyecto, un proceso iterativo, determina las fechas de inicio y finalización planificadas para las actividades del proyecto. Exige que se revisen y se corrijan las

estimaciones de duración y las estimaciones de los recursos para crear un cronograma del proyecto aprobado que pueda servir como línea base con respecto a la cual poder medir el avance. El desarrollo del cronograma continúa a lo largo del proyecto, a medida que el trabajo avanza, el plan de Gestión de Proyectos cambia y los eventos de riesgo anticipados ocurren o desaparecen al tiempo que se identifican nuevos riesgos (Olalde).

1.3.5.1. Herramientas y Técnicas para el desarrollo del cronograma

Técnica: Análisis de la Red del Cronograma.

El análisis de la red del cronograma es una técnica que genera el cronograma del proyecto. Emplea un modelo de cronograma y diversas técnicas analíticas, como por ejemplo el método del camino crítico, el método de cadena crítica, el análisis “¿Qué pasa si...?” y la nivelación de recursos, para calcular las fechas de inicio y finalización tempranas y tardías, y las fechas de inicio y finalización planificadas para las partes no completadas de las actividades del cronograma del proyecto. (PMI, 2004)

Técnica: Método del camino crítico.

Según (PMI, 2004) el método del camino crítico es una técnica de análisis de la red del cronograma que se realiza utilizando el modelo de cronograma. El método del camino crítico calcula las fechas de inicio y finalización tempranas y tardías teóricas para todas las actividades del cronograma, sin considerar las limitaciones de recursos, realizando un análisis de recorrido hacia adelante y un análisis de recorrido hacia atrás a través de los caminos de red del cronograma del proyecto. Las fechas tempranas y tardías de inicio y finalización resultantes no son necesariamente el cronograma del proyecto; en cambio, indican los períodos dentro de los cuales debería programarse la actividad del cronograma, dadas las duraciones de las actividades, las relaciones lógicas, los adelantos, los retrasos y otras restricciones conocidas.

Las fechas tempranas y tardías de inicio y finalización calculadas pueden o no ser las mismas en cualquier camino de red, dado que la holgura total, que muestra la flexibilidad del cronograma, puede ser positiva, negativa o cero. En cualquier camino de red, la flexibilidad del cronograma se mide por la

diferencia positiva entre las fechas tempranas y tardías, y se denomina holgura total. Los caminos críticos tienen una holgura total igual a cero o negativa, y las actividades del cronograma en un camino crítico se denominan “actividades críticas”. Pueden ser necesarios ajustes en las duraciones de las actividades, las relaciones lógicas, los adelantos y los retrasos, u otras restricciones del cronograma para producir caminos de red con una holgura total igual a cero o positiva. Una vez que la holgura total para un camino de red es igual a cero o positiva, también puede determinarse la holgura libre, que es la cantidad de tiempo que una actividad del cronograma puede ser demorada sin demorar la fecha de inicio temprana de cualquier actividad sucesora inmediata dentro del camino de red.

Importancia de esta técnica:

- Un retraso en una tarea del camino crítico implica un retraso en la fecha de terminación del proyecto.
- Es posible retrasar actividades que no pertenecen al camino crítico sin atrasar el proyecto.
- Las actividades del camino crítico son aquellas en las que el jefe del proyecto deberá poner más atención.
- Las actividades en el camino crítico no son necesariamente las actividades más importantes técnicamente del proyecto. (PMI, 2004)

Técnica: Compresión del Cronograma.

La compresión del cronograma acorta el cronograma del proyecto sin modificar el alcance del proyecto, para cumplir con las restricciones del cronograma, las fechas impuestas u otros objetivos del cronograma.

Las técnicas de compresión del cronograma incluyen:

- **Intensificación.** La técnica de compresión del cronograma en la cual se analizan las concesiones de coste y cronograma para determinar cómo obtener la mayor compresión con el mínimo incremento de coste. La intensificación no siempre produce una alternativa viable y puede ocasionar un incremento de costes. (PMI, 2004)

- **Ejecución rápida.** Una técnica de compresión del cronograma en la cual las fases o actividades que normalmente se realizarían de forma secuencial, se realizan en paralelo. Un ejemplo de esto sería construir los cimientos de un edificio antes de finalizar todos los planos de arquitectura. La ejecución rápida puede dar como resultado un reproceso y aumento del riesgo. Este enfoque puede requerir que el trabajo se realice sin información detallada completa, como por ejemplo los planos de ingeniería. Esto da como resultado sacrificar coste por tiempo, y aumenta el riesgo de lograr el cronograma acortado del proyecto (PMI, 2004).

Técnica: Análisis “¿Qué pasa si...?”.

Este es un análisis de la pregunta “¿Qué pasa si se produce la situación representada por el escenario “X”?” Un análisis de la red del cronograma se realiza usando el modelo de cronograma para calcular diferentes escenarios, tales como la demora en la entrega de uno de los principales componentes, la ampliación de la duración de un diseño específico o la aparición de factores externos, como una huelga o un cambio en el proceso de permisos. Los resultados del análisis “¿Qué pasa si” pueden usarse para evaluar la viabilidad del cronograma del proyecto en condiciones adversas, y preparar los planes de contingencia y respuesta para superar o mitigar el impacto de situaciones inesperadas. La simulación supone el cálculo de múltiples duraciones del proyecto con diferentes conjuntos de asunciones de actividades. La técnica más común es la del Análisis Monte Carlo, en el cual se define una distribución de posibles duraciones de las actividades para cada actividad del cronograma, y esa distribución se usa para calcular una distribución de posibles resultados para todo el proyecto. (PMI, 2004)

Técnica: Nivelación de Recursos.

La nivelación de recursos es una técnica de análisis de la red del cronograma aplicada a un modelo de cronograma que ya ha sido analizado por medio del método del camino crítico. La nivelación de recursos se usa para abordar las actividades del cronograma que deben realizarse para cumplir con fechas de entrega determinadas, para abordar situaciones en las que se dispone de recursos compartidos o críticos necesarios sólo en ciertos momentos o en cantidades limitadas, o para mantener el uso de recursos

seleccionados a un nivel constante durante períodos específicos del trabajo del proyecto. Este enfoque de nivelación del uso de recursos puede hacer que cambie el camino crítico original (PMI, 2004).

Técnica: Método de Cadena Crítica.

El (PMI, 2004) plantea la cadena crítica como otra técnica de análisis de la red del cronograma que modifica el cronograma del proyecto para contemplar los recursos limitados. La cadena crítica combina los enfoques determinísticos y probabilísticos. Inicialmente, el diagrama de red del cronograma del proyecto se construye usando estimaciones no conservadoras para las duraciones de las actividades dentro del modelo de cronograma, con las dependencias necesarias y restricciones definidas como entradas. Luego se calcula el camino crítico. Después de identificar el camino crítico, se introduce la disponibilidad de recursos y se determina el cronograma limitado por los recursos resultante. El cronograma resultante, en general, tiene un camino crítico alterado.

El método de cadena crítica agrega colchones de duración que son actividades del cronograma no laborables, para mantener el enfoque en las duraciones de las actividades planificadas. Una vez que se determinan las actividades colchón del cronograma, las actividades planificadas se programan para las fechas de inicio y finalización planificadas más tardías posibles. En consecuencia, en lugar de gestionar la holgura total de los caminos de red, el método de cadena crítica se centra en gestionar las duraciones de las actividades colchón y los recursos aplicados a actividades del cronograma planificadas.

Herramienta: Software de Gestión de Proyectos.

El software de Gestión de Proyectos para la elaboración de cronogramas se utiliza ampliamente para ayudar en el desarrollo del cronograma. Otros software pueden ser capaces de interactuar de forma directa o indirecta con el software de Gestión de Proyectos para llevar a cabo los requisitos de otras áreas de conocimiento, como la estimación de costes por período y la simulación del cronograma en el análisis cuantitativo de riesgos. Estos productos automatizan el cálculo del análisis matemático del camino crítico de recorrido hacia adelante y hacia atrás y la nivelación de recursos, y de esa manera, permiten la consideración rápida de muchas alternativas del cronograma. También se usan ampliamente para imprimir o mostrar en pantalla las salidas de los cronogramas desarrollados (PMI, 2004).

Herramienta: Calendarios Aplicables.

Los calendarios del proyecto y los calendarios de recursos identifican los períodos en que se autoriza el trabajo. Los calendarios del proyecto afectan a todas las actividades. Por ejemplo, quizás no sea posible trabajar en el emplazamiento durante ciertos períodos del año, debido a las condiciones climáticas. Los calendarios de recursos afectan a un recurso específico o una categoría de recursos. Los calendarios de recursos reflejan cómo algunos recursos trabajan sólo durante las horas de trabajo normales, mientras que otros trabajan tres turnos completos, o un miembro del equipo del proyecto puede no estar disponible, por estar de vacaciones o en un programa de formación, o un contrato de trabajo puede limitar a ciertos trabajadores a trabajar durante determinados días de la semana (PMI, 2004).

Otras Herramientas.

La herramienta más popular para crear un cronograma de proyecto pequeño es el Microsoft Project. Un estándar de la industria para la generación dinámica de cronogramas. Hay también herramientas libres y de código abierto para la generación de cronogramas de proyecto disponibles para la mayoría de plataformas, estas ofrecen la creación de listas de tareas, la asignación de recursos, precedencias y diagramas de Gantt. Otros paquetes de software son:

- DotProject.
- GanttProject.
- KPlato.
- Open workbench.
- NetOffice.
- NetOffice Dwins.
- TaskJuggler.

- TUTOS (Jacobson,Booch y Rumbaugh, 2000).

1.3.5.2. Desarrollo del Cronograma: Salidas.

Cronograma del Proyecto: El cronograma del proyecto incluye, por lo menos, una fecha de inicio y una fecha de finalización planificadas para cada actividad del cronograma. Si la planificación de recursos se realiza en una etapa temprana, el cronograma del proyecto permanecerá con carácter de preliminar hasta que las asignaciones de recursos hayan sido confirmadas, y se establezcan las fechas de inicio y de finalización planificadas. Este proceso generalmente tiene lugar no más tarde de la conclusión del plan de Gestión del Proyectos. El cronograma del proyecto puede presentarse en forma de resumen, a veces denominado cronograma maestro o cronograma de hitos, o presentarse en detalle. A pesar de que un cronograma del proyecto puede presentarse en forma de tabla, se presenta más a menudo en forma gráfica, usando uno o más de los siguientes formatos:

- **Diagramas de red del cronograma del proyecto:** Estos diagramas, con información de la fecha de la actividad, generalmente muestran tanto la lógica de la red del proyecto como las actividades del cronograma del camino crítico del proyecto. Estos diagramas pueden presentarse en el formato de diagrama de actividad en el nodo o en el formato de diagrama de red del cronograma según escala de tiempo, que a veces se denomina diagrama de barras lógico. En este diagrama se planifica cada paquete de trabajo como una serie de actividades del cronograma relacionadas.
- **Diagramas de barras:** Estos diagramas, en los que unas barras representan las actividades, muestran las fechas de inicio y finalización de las actividades, así como las duraciones esperadas. Los diagramas de barras son relativamente fáciles de leer y se usan frecuentemente en presentaciones de dirección. Para la comunicación de control y de dirección, se usa una actividad resumen más amplia y completa, que a veces se denomina actividad hammock, entre hitos o a través de múltiples paquetes de trabajo interdependientes, y se representa en informes de diagramas de barras.

- **Diagramas de hitos:** Estos diagramas son similares a los diagramas de barras, pero sólo identifican el inicio o la finalización programada de los productos entregables más importantes y las interfaces externas clave (PMI, 2004).

1.3.6. Control del Cronograma.

Durante este proceso se controlan los cambios que incurren en el cronograma del proyecto.

1.3.6.1. Herramientas y técnicas.

En el mundo actualmente existen diversas herramientas y técnicas para el control de los cronogramas de los proyectos, entre las que se destacan (PMI, 2004):

1. **Técnica: Informe del Avance:** que incluye información sobre las fechas de inicio y finalización reales, y las duraciones restantes para las actividades del cronograma no completadas.
2. **Técnica: Sistema de Control de Cambios del Cronograma:** El sistema de control de cambios del cronograma define los procedimientos mediante los cuales se puede modificar el cronograma del proyecto. Incluye los formularios, sistemas de seguimiento y niveles de aprobación necesarios para autorizar los cambios.
3. **Técnica: Medición del Rendimiento:** Las técnicas de medición del rendimiento producen la variación del cronograma y el índice de rendimiento del cronograma, que se utilizan para evaluar la magnitud de todas las variaciones del cronograma del proyecto que se produzcan.
4. **Técnica: Análisis de Variación:** La realización del análisis de variación del cronograma durante el proceso de seguimiento del cronograma constituye una función clave del control del cronograma. La comparación de las fechas del cronograma objetivo con las fechas de inicio y finalización reales pronosticadas proporciona información útil para la detección de desviaciones y para la implementación de acciones correctivas en caso de retrasos. La variación de la holgura total es también un componente esencial de la planificación para evaluar el rendimiento del proyecto en el tiempo.

5. Herramienta: Software de Gestión de Proyectos: El software de Gestión de Proyectos para la elaboración de cronogramas da la posibilidad de hacer un seguimiento de las fechas planificadas en comparación con las fechas reales, y de pronosticar el efecto real o potencial de los cambios en el cronograma del proyecto, lo que hace que sea una herramienta útil para el control del cronograma.

6. Herramienta: Diagramas de Barras Comparativos del Cronograma: Para facilitar el análisis del avance del cronograma, es recomendable usar un diagrama de barras comparativo, que muestra dos barras para cada actividad del cronograma. Una barra muestra el estado real actual y la otra muestra el estado de la línea base aprobada del cronograma del proyecto. Esto muestra gráficamente dónde el cronograma ha avanzado según lo previsto o dónde se ha producido un retraso.

1.4. Análisis del Valor Ganado.

El análisis del valor ganado (AVG) es, según Pressman (Pressman, 2005) una técnica cuantitativa para evaluar el progreso a medida que el equipo de software avanza a través de las tareas de trabajo asignadas en la planificación del proyecto.

Humphrey (Humphrey, 1995) estudia el valor ganado de la manera siguiente:

El sistema de valor ganado proporciona una escala de valor común para cada tarea (proyecto de software), independientemente del tipo de trabajo que esté siendo llevado a cabo. Se estiman entonces el total de horas para realizar el proyecto completo y a cada tarea se le da un valor ganado basado en su porcentaje estimado respecto al total.

Dicho de forma más simple, el valor ganado es una medida del progreso. Nos permite evaluar el porcentaje de realización de un proyecto utilizando el análisis cuantitativo más que la opinión particular que de ello tengamos. En efecto, Fleming y Koppleman (Fleming Q.W, 1998) aducen que el análisis de valor ganado proporcionan unas lecturas exactas y fiables del desarrollo desde estados iniciales como cuando tan sólo se haya realizado un 15 por ciento del proyecto.

Para determinar el valor ganado Pressman (Pressman, 2005) desarrolla los siguientes pasos:

El coste presupuestado del trabajo planificado (CPTP) se determina para cada tarea de trabajo que se representa en el plan. Durante la actividad de estimación de cada tarea de ingeniería del software es convenientemente planificada. Por consiguiente, CPTP_i es el trabajo que se ha planificado para una cierta tarea *i*. Para determinar el progreso en un punto dado a lo largo de la planificación del proyecto, el valor de CPTP es la suma de los valores CPTP_i para todas las tareas del trabajo que deberían haber sido completadas en ese momento en el plan del proyecto.

Los valores CPTP para todas las tareas del trabajo se suman para obtener el presupuesto a la terminación que se denomina PAT. Por consiguiente, $PAT = \sum (CPTP_k)$ para todas las tareas *k*.

A continuación, se calcula el valor para el coste presupuestado del trabajo desarrollado (CPTD). El valor para CPTD es la suma de los valores CPTP para todas las tareas de trabajo que hayan sido realmente terminadas en un punto determinado de la planificación del proyecto.

Wilkins (Wilkins, 1999) afirma que cada distinción entre el CPTP y el CPTD es que el primero representa el presupuesto de las actividades que estaban planificadas para ser completadas, y el último representa el presupuesto de las actividades que realmente estaban acabadas.

Dados los valores para CPTP, PAT, CPTD, pueden ser calculados los siguientes indicadores de progreso (Pressman, 2005):

Índice de desarrollo de planificación, $IDP = CPTD/CPTP$

Varianza de la planificación, $VP = CPTD - CPTP$

IDP es una indicación de la eficiencia con que el proyecto está utilizando los recursos de la planificación. Un valor IDP cercano a 1.0 que indica una ejecución eficiente de la planificación del proyecto. VP es simplemente una indicación absoluta de la varianza de la planificación prevista.

Porcentaje planificado para terminar = $CPTD/PAT$

Proporciona una indicación del porcentaje de trabajo que debería estar terminado en el instante *t*.

Porcentaje completado = $CPTP/PAT$

Proporciona una indicación cuantitativa del grado de avance en la realización en tanto por ciento del proyecto en un instante determinado de tiempo t .

Es también posible calcular el coste real de trabajo realizado, CRTR. El valor para CRTR es la suma del esfuerzo realmente desarrollado en tareas de trabajo que hayan sido realizadas en un instante de tiempo de la planificación del proyecto. Es entonces posible calcular:

Índice de desarrollo del coste, $IDC = CPTP/CRTR$

Varianza del coste, $VC = CPTP - CRTR$

Un valor de IDC cercano a 1.0 proporciona una indicación evidente de que el proyecto está dentro del presupuesto que para él se ha definido. VC es una indicación absoluta de los ahorros en coste (en relación con los costes planificados) o de las carencias en una etapa particular del proyecto.

El análisis del valor ganado aclara las dificultades de planificación antes de que ellas puedan aparecer. Esto permite al gestor del proyecto de software tomar las acciones correctivas adecuadas antes de que la crisis del proyecto estalle (Pressman, 2005).

1.5. Modelo de Madurez y Capacidades Integrado (CMMI).

CMMI es un modelo para la mejora de procesos que proporciona a las organizaciones los elementos esenciales para procesos eficaces. El objetivo del proyecto CMMI es mejorar la usabilidad de modelos de madurez integrando varios modelos diferentes en un solo marco (framework). (Méndez, (2006)

El modelo presenta dos enfoques para realizar la mejora, escalonado y continuo (Consultoría, 2008). El enfoque escalonado hace hincapié en el grado de madurez de los procesos de la organización y establece un conjunto prefijado de áreas de proceso para la ruta de mejora en la organización. Este enfoque está compuesto por cinco niveles de madurez; Inicial, Gestionado, Definido, Gestionado Cuantitativamente y Optimizado.

Nivel 1 Inicial: La organización en este nivel no dispone de un ambiente estable para el desarrollo y mantenimiento de productos y servicios. Los procesos son inexistentes y el éxito depende de la heroicidad y responsabilidad del equipo de trabajo.

Nivel 2 Gestionado: La organización que se encuentra en este nivel tiene definidos los productos a realizar y algunas de sus áreas o proyectos han alcanzado las metas genéricas y específicas establecidas en este nivel. Los procesos son planeados, se ejecutan, miden y se controlan y al igual los servicios, productos y requerimientos son administrados.

Nivel 3 Definido: En este nivel los procesos son descritos mediante estándares, procedimientos, métodos y herramientas de una manera más rigurosa. La organización completa participa en el proceso eficiente del proyecto para establecer consistencia en la misma. Los proyectos se definen cualitativamente porque existen pocos datos que muestren cuan efectivo es el proceso.

Nivel 4 Gestionado Cuantitativamente: El proyecto se puede medir cuantitativamente utilizando métodos estadísticos que permitan observar la evolución del mismo y los resultados almacenados son experiencias para los siguientes proyectos en la organización.

Nivel 5 Optimizado: Los procesos de la organización son mejorados continuamente basados en una comprensión cuantitativa de las causas comunes de variación inherentes a los procesos. El nivel está centrado en mejorar continuamente el desempeño de los procesos con mejoras tecnológicas incrementales e innovadoras.

El enfoque continuo presenta seis niveles de capacidad para medir el mejoramiento del proceso para cada área del mismo, estos niveles son:

- Incompleto.
- Ejecutado.
- Gestionado.
- Definido.
- Gestionado cuantitativamente.
- Optimizado.

La implementación del enfoque continuo permite suavizar el impacto que pueda ocasionar las áreas de riesgo en el resto de la organización además la selección adecuada de las mejoras para alcanzar los objetivos del negocio establecidos.

El modelo contiene veintidós áreas de procesos y cada una está formada por: Objetivos específicos, Prácticas específicas, Objetivos genéricos, y Prácticas genéricas.

Para el desarrollo del presente trabajo es imprescindible el estudio del nivel dos de CMMI, nombrado Gestionado y sus áreas de proceso. Lo que se pretende con éste, es conseguir que en los proyectos de la organización haya una gestión de los requisitos y que los procesos estén planeados, ejecutados, medidos y controlados.

1.5.1. Áreas de Proceso del Nivel de Madurez dos de CMMI.

Las áreas de procesos que conforman el nivel dos de CMMI son según (Gracia, 2005):

- Gestión de Requisitos.
- Planificación de Proyectos.
- Monitorización y Control de Proyectos.
- Medición y Análisis.
- Aseguramiento de la Calidad.
- Gestión de la Configuración.

De estas es necesario enfocarse para la resolución del presente trabajo de diploma en las siguientes:

- Planificación de Proyectos.
- Medición y Análisis.
- Monitorización y Control de Proyectos.

1.5.1.1. Área de proceso: Planificación de proyectos.

El objetivo de la planificación de proyectos es establecer y mantener planes que define las actividades del proyecto.

Las tareas que conlleva la planificación de proyectos son:

1. Desarrollar un plan inicial del proyecto.
2. Establecer una relación adecuada con todas las personas involucradas en el proyecto.
3. Obtener compromiso con el plan.
4. Mantener el plan durante el desarrollo del proyecto.

El plan incluye estimación de los elementos de trabajo y tareas, recursos necesarios, negociación de compromisos, establecimiento de un calendario, e identificación y análisis de los posibles riesgos que pueda tener el proyecto.

El plan del proyecto es un herramienta de trabajo viva que se debe de actualizar con mucha frecuencia ya que los requisitos cambiarán, habrá que reestimar, habrá riesgos que desaparezcan y otros que surjan nuevos, habrá que tomar acciones correctivas (Gracia, 2005).

1.5.1.2. Área de proceso: Medición y Análisis.

Incorpora un área de proceso denominada "Medición y Análisis", cuyo objetivo es desarrollar y establecer una capacidad de medición que se pueda usar para dar soporte a las necesidades de información de la organización y que proporcionen resultados objetivos que sean útiles para la toma de decisiones y acciones correctivas. (Méndez, (2006)

Los datos tomados para la medición deben estar alineados con los objetivos de la organización para proporcionar información útil a la misma.

Se ha de implantar un mecanismo de recogida de datos, almacenamiento y análisis de los mismos de forma que las decisiones que se tomen puedan estar basadas en estos datos.

Este sistema tiene que permitir además:

- Planificación y estimación objetiva.
- Comparar el rendimiento actual contra el rendimiento esperado en el plan.
- Identificar y resolver problemas relacionados con los procesos.
- Proporcionar una base para añadir métricas en procesos futuros (Méndez, (2006)).

1.5.1.3. Área de proceso: Monitorización y Control de proyectos.

El objetivo de la monitorización y control de proyectos es proporcionar una comprensión del estado del proyecto para que se puedan tomar acciones correctivas cuando la ejecución de proyecto se desvíe del plan.

El documento plan del proyecto es la base para monitorizar las actividades, comunicar el estado y tomar acciones correctivas. El progreso se determina comparando los actuales elementos de trabajo: tareas, horas realizadas, coste y calendario actual, con los estimados en el plan del proyecto. Una apropiada visibilidad permitirá tomar acciones correctivas antes de que el trabajo real se desvíe mucho del plan.

Estas acciones que se tomarán, harán que se tenga que rehacer o ajustar el plan del proyecto.

1.6. Proceso de Medición de Software (PSM).

La medición es un elemento fundamental para cualquier disciplina de ingeniería. Se emplean medidas para entender mejor los atributos de los modelos que se crean. Pero fundamentalmente, se emplean medidas para valorar la calidad de los productos de ingeniería o de los sistemas que se crean.

A diferencia de otras disciplinas, la ingeniería del software no está basada en leyes cuantitativas básicas de la física. En la ingeniería del software no son comunes medidas absolutas como son la masa, voltaje, temperatura, velocidad. En su lugar se intenta obtener un conjunto de medidas indirectas que dan lugar a métricas que proporcionan una indicación de la calidad de algún tipo de representación del software.

Una de las razones principales del incremento masivo en el interés en la medición software ha sido la percepción de que las métricas son necesarias para la mejora de la calidad del proceso. Para poder asegurar que un proceso o sus productos resultantes son de calidad o poder compararlos, es necesario asignar valores, descriptores, indicadores o algún otro mecanismo mediante el cual se pueda llevar a cabo dicha comparación. Para ello, es necesario llevar a cabo un proceso de medición del software cuyos objetivos fundamentales son según (Fenton, 1991):

- Ayudar a entender que ocurre durante el desarrollo y el mantenimiento.
- Permitir controlar que es lo que ocurre en los proyectos.
- Poder mejorar los procesos y los productos.

Todo proceso de medición del software tiene como objetivo fundamental satisfacer necesidades de información. Un proceso de medición no puede obtener resultados útiles si estos no satisfacen alguna necesidad de información detectada. A partir de las necesidades de información se deben identificar las entidades y los atributos de dichas entidades que son candidatos a ser medidos. Una vez identificados los atributos objeto de la medición se deben definir las métricas necesarias. (García, 2006)

Park, Goethert y Florac (Park, 1996) tratan en su guía de la medición del software las razones por las que se mide. Hay cuatro razones para medir los procesos del software, los productos y los recursos:

1. **Caracterizar:** Para comprender mejor los procesos, los productos, los recursos y los entornos y para establecer la líneas base para las comparaciones con evaluaciones futuras.
2. **Evaluar:** Para determinar el estado con respecto al diseño. Las medidas utilizadas son los sensores que permiten conocer cuando los proyectos y procesos están perdiendo la pista, de modo que se puedan poner bajo control. También se evalúa para valorar la consecución de los objetivos de calidad y para evaluar el impacto de la tecnología y las mejoras del proceso en los productos y procesos.
3. **Predecir:** Para poder planificar. Implica aumentar la comprensión de las relaciones entre los procesos y los productos y la construcción de modelos de estas relaciones, por lo que los valores observados para algunos atributos pueden ser utilizados para predecir otros.
4. **Mejorar:** Cuando se recoge la información cuantitativa que ayuda a identificar obstáculos, problemas de raíz, ineficiencias y otras oportunidades para mejorar la calidad del producto y el rendimiento del proceso.

PSM constituye el documento base a partir del que se ha elaborado el nuevo estándar ISO/IEC 15939 sobre la medición del software, para la que proporciona detalles adicionales respecto de las actividades y tareas. (Gracia, 2005)

El objetivo y los resultados del proceso de medición de ISO 15939 han sido añadidos a la revisión del estándar ISO 12207 dentro de un nuevo proceso de soporte denominado Medición y a la norma ISO 90003 (aplicación de la norma ISO 9001:2000 al software). (García, 2006)

Los conceptos del dominio de la medición de ISO 15939 han sido añadidos al estándar ISO/IEC 15288 (Procesos de Ciclo de Vida del Sistema). De la misma forma, la nueva terminología de la medición ha sido coordinada con las revisiones en los estándares ISO/IEC 9126 (Calidad del Producto Software) e ISO/IEC 14598 (Evaluación de Productos Software) con el objetivo de que todos los estándares que usen el dominio de la medición estén basados en una misma terminología. (García, 2006)

El área Medición y Análisis de CMMI proporcionan una metodología para evaluar si un programa de medición de un proyecto es acorde con el estándar ISO 15939, por lo que utiliza este estándar como referencia de entrada. (García, 2006)

También otros modelos incluyen métricas para evaluar diferentes atributos de calidad del producto casi siempre en el nivel del diseño o del código entre estos se encuentran el FCM (Factor Criterio Métrica), GQM (Metas Preguntas Métricas) (CMMI, 2006).

1.6.1. Principios de medición.

Las métricas son la maduración de una disciplina, que, según (Pressman, 2005) van a ayudar a la evaluación de los modelos de análisis y de diseño, en donde proporcionarán una indicación de la complejidad de diseños procedimentales y de código fuente, y ayudarán en el diseño de pruebas más efectivas; Roche (M, 1994) sugiere un proceso de medición, el cual se puede caracterizar por cinco actividades:

- **Formulación:** La obtención de medidas y métricas del software apropiadas para la representación de software en cuestión.
- **Colección:** El mecanismo empleado para acumular datos necesarios para obtener las métricas formuladas.
- **Análisis:** El cálculo de las métricas y la aplicación de herramientas matemáticas.
- **Interpretación:** La evaluación de los resultados de las métricas en un esfuerzo por conseguir una visión interna de la calidad de la representación.
- **Realimentación:** Recomendaciones obtenidas de la interpretación de métricas técnicas transmitidas al equipo de software.

Los principios que se pueden asociar con la formulación de las métricas son las siguientes (M, 1994):

- Los objetivos de la medición deberían establecerse antes de empezar la recogida de datos.
- Todas las técnicas sobre métricas deberían definirse sin ambigüedades.
- Las métricas deberían obtenerse basándose en una teoría válida para el dominio de aplicación.

- Hay que hacer las métricas a medida para acomodar mejor los productos y procesos específicos. (Basili, 1984)
- Aunque la formulación es un punto de arranque crítico la recogida y análisis son las actividades que dirigen el proceso de medición. Roche (M, 1994) sugiere los siguientes principios para estas actividades:
 - Siempre que sea posible, la recogida de datos y el análisis debe automatizarse.
 - Se deberían aplicar técnicas estadísticas válidas para establecer las relaciones entre los atributos internos del producto y las características externas de la calidad.
 - Se deberían establecer directrices de interpretación y recomendaciones para todas las métricas.

Además de estos principios el éxito de una métrica está ligado al soporte de gestión.

1.6.2. Métricas de software.

Todas las organizaciones de software exitosas implementan mediciones como parte de sus actividades cotidianas pues estas brindan la información objetiva necesaria para la toma de decisiones y que tendrá un impacto efectivo en el negocio y desempeño en la ingeniería.

Las métricas nos proporcionan una manera sistemática de valorar la calidad basándose en un conjunto de reglas claramente definidas y también son utilizadas para señalar áreas con problemas de manera que se puedan desarrollar remedios y mejorar el proceso de software.

Se definen las métricas de software como "La aplicación continua de mediciones basadas en técnicas para el proceso de desarrollo del software y sus productos, para suministrar información relevante a tiempo, así el administrador junto con el empleo de estas técnicas mejorará el proceso y sus productos" (Ejiogu, 1991).

Las métricas de software incluyen varias actividades, tales como:

- Estimación de costo y el esfuerzo.

- Medición de la productividad.
- Acumulación de datos.
- Realización de modelos y mediciones de la calidad.
- Elaboración de modelos de seguridad.
- Evaluación y modelos de desempeño.
- Valoración de las capacidades y de la madurez.
- Administración por métricas.
- Evaluación del método y herramientas.

1.6.2.1. Tipos de Métricas de software y otras clasificaciones.

Pressman en (Pressman, 2005) designa diferentes tipos de métricas de software como son:

Las métricas del proceso: Sirven para mejorar cualquier proceso, se obtienen de los resultados que provienen del proceso y de las características de tareas específicas de la ingeniería del software. Se utilizan para proporcionar indicadores que conducirán a una estrategia de mejora.

Las métricas del proyecto: Sirven para adaptar el flujo del trabajo del proyecto y las actividades técnicas. Estas métricas se utilizan en primer lugar, para minimizar la planificación de desarrollo haciendo los ajustes necesarios que eviten retrasos y reduzcan problemas y riesgos potenciales. En segundo lugar, se utilizan para evaluar la calidad de los productos en el momento actual y cuando sea necesario, modificando el enfoque técnico que mejore la calidad.

Métricas Orientadas al Tamaño: Proviene de la normalización de las medidas de calidad y/o productividad considerando el tamaño del software que se haya producido.

Métricas Orientadas a la Función: Utilizan una medida de la funcionalidad entregada por la aplicación como un valor de normalización. Las métricas orientadas a la función fueron propuestas por primera vez por Albrecht (Albrecht, 1979), quien sugirió una medida llamada punto de función.

Métricas ampliadas de puntos de función: Son extensiones de las anteriores utilizadas en la ingeniería, en las aplicaciones de tiempo real y en las aplicaciones orientadas al control.

Métricas para la calidad del software: Son todas las métricas de software que definen de una u otra forma la calidad del software; tales como exactitud, estructuración o modularidad, pruebas, mantenimiento, reusabilidad, cohesión del módulo, acoplamiento del módulo, etc. Estas son los puntos críticos en el diseño, codificación, pruebas y mantenimiento. Proporcionan una indicación de cómo se ajusta el software a los requisitos implícitos y explícitos del cliente. Es decir cómo voy a medir para que mi sistema se adapte a los requisitos que me pide el cliente.

Pressman en (Pressman, 2005) afirma que dentro del contexto de la gestión de software, en primer lugar existe una gran preocupación por las métricas de productividad y de calidad.

A continuación se muestra una breve clasificación de métricas de software, descritas por (Ejio, 1991):

Métricas de complejidad: La Complejidad Ciclomática es una métrica del software que proporciona una medición cuantitativa de la complejidad lógica de un programa. Es una de las métricas de software más ampliamente aceptada, ya que ha sido concebida para ser independiente del lenguaje.

Métricas de competencia: Son todas las métricas que intentan valorar o medir las actividades de productividad de los programadores o practicantes con respecto a su certeza, rapidez, eficiencia y competencia. No se ha alcanzado mucho en esta área, a pesar de la intensa investigación académica.

Métricas de desempeño: Corresponden a las métricas que miden la conducta de módulos y sistemas de un software, bajo la supervisión del sistema operativo o hardware. Generalmente tienen que ver con la eficiencia de ejecución, tiempo, almacenamiento, complejidad de algoritmos computacionales, etc.

Métricas estilizadas: Son las métricas de experimentación y de preferencia; Por ejemplo: estilo de código, indentación, las convenciones denominando de datos, las limitaciones, etc. Pero estas no se deben confundir con las métricas de calidad o complejidad.

Variedad de métricas: Tales como portabilidad, facilidad de localización, consistencia. Existen pocas investigaciones dentro del área.

Estas clasificaciones de métricas fortalecen la idea, de que más de una métrica puede ser deseable para valorar la complejidad y la calidad del software.

1.6.2.2. Características fundamentales de las métricas de software.

Se han propuesto cientos de métricas para el software, pero no todas proporcionan suficiente soporte práctico para su desarrollo. Algunas demandan mediciones que son demasiado complejas, otras son tan esotéricas que pocos profesionales tienen la esperanza de entenderlas, y otras violan las nociones básicas intuitivas de lo que realmente es el software de alta calidad. (Pressman, 2005)

Es por eso que (Ejiogu, 1991) define una serie de atributos que deben acompañar a las métricas efectivas de software, por lo tanto la métrica obtenida y las medidas que conducen a ello deben cumplir con las siguientes características fundamentales:

- **Simple y fácil de calcular:** Debería ser relativamente fácil de aprender a obtener la métrica y su cálculo no obligara a un esfuerzo o a una cantidad de tiempo inusuales.
- **Empírica e intuitivamente persuasiva:** La métrica debería satisfacer las nociones intuitivas del ingeniero de software sobre el atributo del producto en cuestión (por ejemplo: una métrica que mide la cohesión de un módulo debería aumentar su valor a medida que crece el nivel de cohesión).
- **Consistente en el empleo de unidades y tamaños:** El cálculo matemático de la métrica debería utilizar medidas que no lleven a extrañas combinaciones de unidades. Por ejemplo, multiplicando el número de personas de un equipo por las variables del lenguaje de programación en el programa resulta una sospechosa mezcla de unidades que no son intuitivamente concluyentes.
- **Independiente del lenguaje de programación:** Las métricas deberían apoyarse en el modelo de análisis, modelo de diseño o en la propia estructura del programa. No deberían depender de los caprichos de la sintaxis o semántica del lenguaje de programación.
- **Un mecanismo eficaz para la realimentación de calidad:** La métrica debería suministrar al desarrollador de software información que le lleve a un producto final de superior calidad.

1.7. Enfoque GQM (Goal Question Metric).

El enfoque GQM (Goal-Question-Metric) proporciona una manera útil para definir mediciones tanto del proceso como de los resultados de un proyecto. Considera que un programa de medición puede ser más satisfactorio si es diseñado teniendo en mente las metas (objetivo perseguido). Las preguntas ayudarán a medir si se está alcanzando en forma exitosa la meta definida, por lo tanto se consideraran preguntas que son potencialmente medibles.

GQM define objetivos, refina estos objetivos en preguntas y define métricas que intentan dar información para responder a estas preguntas. Se puede aplicar a todo el ciclo de vida del producto, procesos, y recursos y se puede alinear fácilmente con el ambiente organizacional. Puede ser utilizado por los miembros individuales de un equipo de proyecto para:

1. Enfocar su trabajo.
2. Determinar su progreso hacia la realización de sus metas específicas.

Originariamente definido por Basili y Weiss (1984) y extendido posteriormente por Rombach (1990) como resultado de muchos años de experiencia práctica e investigación académica. Es casi con certeza el método de desarrollo de métricas más ampliamente aplicado y mejor conocido (Pressman, 2005). El principio básico es que la medición debe ser realizada, siempre, orientada a un objetivo. Los objetivos de la organización se definen para mejorar calidad y confiabilidad reduciendo costos, riesgos, mejorando tiempos.

Para un buen uso del método GQM se deben aplicar las prácticas claves que este enfoque ofrece. Lo podemos describir en términos de un proceso de seis pasos, en el cual se evidencian los tres niveles que a continuación se presentan:

1. Nivel Conceptual.
2. Nivel Operacional.
3. Nivel Cuantitativo.

1.8. Conclusiones Parciales.

La inexistencia de algún método que evalúe la calidad de los cronogramas que se planifican en los proyectos productivos de nuestra universidad constituye una problemática hoy en día. Es por eso que en aras de desarrollar un paquete de métricas que evalúe la calidad de los cronogramas, en este capítulo se realizó un estudio donde se incluyen diferentes conceptos generales sobre Gestión de Tiempo, cronogramas y métricas de software que ayudarán a interiorizar el tema tratado en el trabajo. Se realizó el estudio del estado del arte de los diferentes procesos de la Gestión de Tiempo, así como del modelo CMMI y los dos enfoques que presenta para realizar la mejora, sus niveles y áreas de procesos. Se estudió además los procesos de medición, metodologías y enfoques para posteriormente seleccionar los que más se ajusten para la elaboración del paquete de métricas. De este estudio resultó que se confeccionarían métricas del proyecto y que se seleccionarían el enfoque escalonado del modelo CMMI y el enfoque GQM para su desarrollo, para de esta forma lograr que las métricas logren solucionar el problema que inició esta investigación.

CAPÍTULO 2: PROPUESTA DE UN PAQUETE DE MÉTRICAS PARA EVALUAR CRONOGRAMAS

2.1. Introducción.

En el capítulo dos se presenta la propuesta de un paquete de métricas para evaluar cronogramas de tiempo de desarrollo de proyectos productivos, para entornos similares al de la Universidad de las Ciencias Informáticas.

La primera parte del capítulo es una breve introducción en la que se expone la necesidad existente en la universidad de este tipo de mecanismo de medición. Luego se explican todas las prácticas claves y niveles de GQM aplicados al trabajo, posteriormente se evidencia el seguimiento de todos los pasos del proceso que el enfoque GQM propone para llevar a cabo el desarrollo un paquete de seis métricas, por cada una de ellas se describe lo que propone medir, el tipo de medición, método de aplicación e interpretación del resultado.

2.2. Aplicación del Enfoque GQM para la realización de las métricas propuestas.

La UCI como institución ejecutora de grandes proyectos de software, necesita establecer mecanismos fiables para mantener el control de estos. El seguimiento del cronograma de trabajo, controlando por fechas el cumplimiento de sus principales hitos, constituye una técnica empleada para estos fines. Sin embargo, cuando aún la UCI por su condición de joven no cuenta con un registro histórico de tiempos asociados al desarrollo, los plazos impuestos en los cronogramas suelen ser empíricos y no necesariamente realistas. Como consecuencia, la información del avance que se brinda es subjetiva, los problemas muchas veces no se detectan a tiempo y los proyectos concluyen, en ocasiones, fuera de fecha. Por esta razón es necesario desarrollar algún método que evalúe la calidad de los cronogramas de los proyectos productivos de la universidad.

En el presente trabajo se desarrollará utilizando el enfoque GQM, método que permite trabajar con metas en función de un proyecto o producto, un paquete de métricas que le permita al líder del proyecto SGF evaluar objetivamente el estado del cronograma en función de los objetivos del mismo. A una de las métricas del paquete se le hizo una adaptación con el fin de que pudiera ser aplicada también a proyectos que trabajen con la

metodología de desarrollo de software OpenUP. De la aplicación de estas métricas se obtiene cuantitativamente el estado de avance del desarrollo del proyecto, así como su evolución en el tiempo y calidad, resultando en información precisa, necesaria para la toma de decisiones gerenciales del proyecto.

2.2.1. Prácticas Clave de GQM aplicadas para desarrollar la propuesta.

Para el desarrollo de las métricas mediante el enfoque GQM fue necesario recurrir a la ejecución de prácticas que son clave para la correcta utilización del método. Estas prácticas indicaron que hacer y qué no hacer al utilizar GQM para la realización de las métricas que se van a aplicar en un proyecto de desarrollo de software, estas están basadas en el trabajo de Basili y son una combinación de:

- Factores de suceso identificados por los desarrolladores.
- Practicas genéricas aplicables a la implementación de cualquier metodología de medición.

1. Tener a las personas adecuadas involucradas en el proceso de GQM.

- La líder del proyecto facilitó información que sirvió de guía y dirección, pues dejó claramente definidos los objetivos del proyecto. También estuvo involucrada en este proceso la planificadora, estas son las personas que tienen conocimiento del estado del cronograma.
- El equipo de GQM, en este caso las desarrolladoras del presente trabajo de investigación, definieron las metas cuantitativas y cualitativas, para posteriormente definir las métricas que indicarían el grado de cumplimiento de dichas metas.

2. Fijar objetivos de mediciones explícitos y especificarlos explícitamente.

En esta práctica fue necesario definir los objetivos de las mediciones, los cuales se especifican explícitamente en el desarrollo del primer paso del enfoque GQM: Establecimiento de Metas. Estas metas describen como medir el progreso orientado a los objetivos del cronograma, hacen que las actividades

de mediciones, en este caso las métricas a desarrollar, estén alineadas con los aspectos que son necesarios medir en el cronograma del proyecto.

3. No crear objetivos de mediciones falsos.

- No se crearon objetivos para lograr correspondencia con métricas existentes, por el contrario, se definieron primero las metas y luego a partir de estas se realizaron las métricas en pos de cumplir los objetivos.
- Se evitaron situaciones como:
 - Sabemos que podemos obtener estos datos, veamos qué podemos hacer con ellos.
 - Veamos qué datos ya tenemos y determinar que se puede descubrir a partir de ellos, para no tener esfuerzo extra.

4. Adquirir modelos de calidad implícitos a partir de la gente involucrada.

Se identificó que la líder y planificadora del proyecto SGF tenían claramente definidos los objetivos de su proyecto, y contaban con nociones de la calidad que debía tener el cronograma, en cuanto a todos los aspectos que se midieron, y la capacitación que debía tomar todo el equipo de desarrollo para mejorar la planificación.

5. Considerar el contexto.

Se identificaron factores de variación de la calidad focalizándose en el contexto del proyecto, pues para la realización de la métrica: Estabilidad en las Actividades del Cronograma, se confeccionó una tabla en la cual se representan los rangos de inestabilidad en las actividades planificadas en correspondencia con las particularidades del proyecto SGF y la experiencia acumulada por su líder. En todo momento el proyecto mostró un ambiente estable, respecto a la líder, miembros y local en que se desarrolla.

6. Derivar métricas apropiadas.

- En el primer paso que define el enfoque GQM, llevado al contexto de este trabajo se definieron cuatro metas. Para lograr la segunda meta se establecieron tres preguntas y a partir de cada una de estas preguntas se definió una métrica, por cada una de las restantes metas se estableció una pregunta y una métrica que le diera respuesta.
- Se desarrollaron las métricas con el objetivo de satisfacer las preguntas planteadas.
- Se definió que las métricas propuestas intentan satisfacer los objetivos planteados y por tanto se estableció que tener más métricas no es necesariamente mejor, pues es preciso evitar los casos en que se definan muchas métricas que conlleven a un gasto de tiempo y no resuelvan las necesidades objetivas de los cronogramas de los proyectos.

7. Permanecer focalizado en los objetivos cuando se analizan datos.

- Los resultados de las mediciones indicaron el nivel de cumplimiento de las metas previamente fijadas.
- Nunca se analizaron los datos para ver que comportamientos adicionales podían ser descubiertos, siempre se analizaron focalizados en los aspectos a medir.

8. Dejar que los datos sean interpretados por las personas involucradas.

- Las personas involucradas en el desarrollo deben formar parte del equipo de definición de las métricas. Este aspecto se cumplió correctamente pues se analizaron los datos conjuntamente con la líder y la planificadora del proyecto SGF, personas consideradas con conocimiento suficiente del estado del cronograma del proyecto y los objetivos seguidos por el mismo.
- La líder del proyecto también estuvo presente en la interpretación de los resultados de las mediciones.

9. No usar mediciones para otros fines.

Un mal uso de las métricas propuestas conlleva a que estas mediciones pierdan objetividad. Las métricas solo se usaron con el fin de evaluar la calidad del cronograma en correspondencia con las metas planteadas y no para otros fines. Estas métricas no deben ser usadas como base para premiaciones individuales y/o competencia entre proyectos ya que esto conlleva a que el programa de mediciones falle.

10. Asegurar el compromiso de la dirección del proyecto con el resultado de las mediciones.

Este es el factor de suceso de GQM más crítico ya que puede darse el caso de que la dirección del proyecto ignore el soporte que le dan los resultados de las mediciones, entonces sean percibidas como una formalidad que se debe realizar pero que no aportará beneficios. Para evitar esta situación, se aseguró que la líder del proyecto SGF implementara acciones correctivas con respecto a los resultados arrojados a partir de la aplicación de la propuesta, al cronograma de este proyecto y estas fueron claramente proporcionadas a las autoras de este trabajo.

11. Asegurar que las mediciones son vistas como una herramienta y no como el objetivo final.

Las mediciones ayudan al proceso de desarrollo, en este caso el paquete de métricas propuesto ayudaron a evaluar la calidad del cronograma del proyecto con el objetivo de establecer estrategias de mejoras. Pero es necesario destacar que el equipo de desarrollo no debe perder de vista el proyecto y mantenerse focalizado en los objetivos de este. Además es necesario que una vez aplicadas las métricas se registre la información y se continúe con el proceso de medición a lo largo de todo el proyecto para detectar y corregir errores que retrasen la entrega del producto final en tiempo. Los datos que se vayan guardando luego de cada medición servirán para determinar el grado de factibilidad de las métricas a medida que pase el tiempo.

12. Capacitarse en GQM antes de aplicarlo.

GQM parece sencillo pero es un proceso sofisticado, suele ser muy diferente de la forma de pensar y modelar de muchos de los que lo practican. Por tanto para la utilización de este enfoque en la realización del presente trabajo, fue necesario un entrenamiento inicial consistente en el estudio de cada uno de sus pasos, niveles y la forma de aplicarlo enfocado a las características específicas del proyecto y la universidad.

2.2.2. Niveles de GQM establecidos para desarrollar la propuesta.

Además de las prácticas claves aplicadas, fue necesario establecer tres niveles para desarrollar el paquete de métricas, en correspondencia con los niveles que define el enfoque GQM.

Nivel Conceptual – Metas: Las metas que se definen más adelante en el paso uno del enfoque GQM, identifican lo que se desea lograr respecto al cronograma.

Nivel Operacional – Preguntas: Las preguntas que se definen más adelante en el paso dos, ayudan a comprender cómo satisfacer las metas. Abordan el contexto de la calidad desde un punto de vista particular.

Las preguntas tratan de caracterizar al cronograma con respecto a un aspecto de calidad concreto y tratan de determinar la calidad de este desde el punto de vista seleccionado.

Nivel Cuantitativo – Métricas: Se asocia un conjunto de datos a cada pregunta, con el fin de proporcionar una respuesta de manera cuantitativa o cualitativa.

Los datos pueden ser:

- **Objetivos:** si dependen únicamente del cronograma y no del punto de vista desde el que se captan.

Este tipo de datos se recopilarán en cada una de las métricas que se proponen

- **Subjetivos:** si dependen tanto del objeto que se está midiendo como del punto de vista desde el que se captan.

Se considera que dentro de los datos a recopilar, no se encuentran datos subjetivos.

- **Resultado** → Definir métricas.

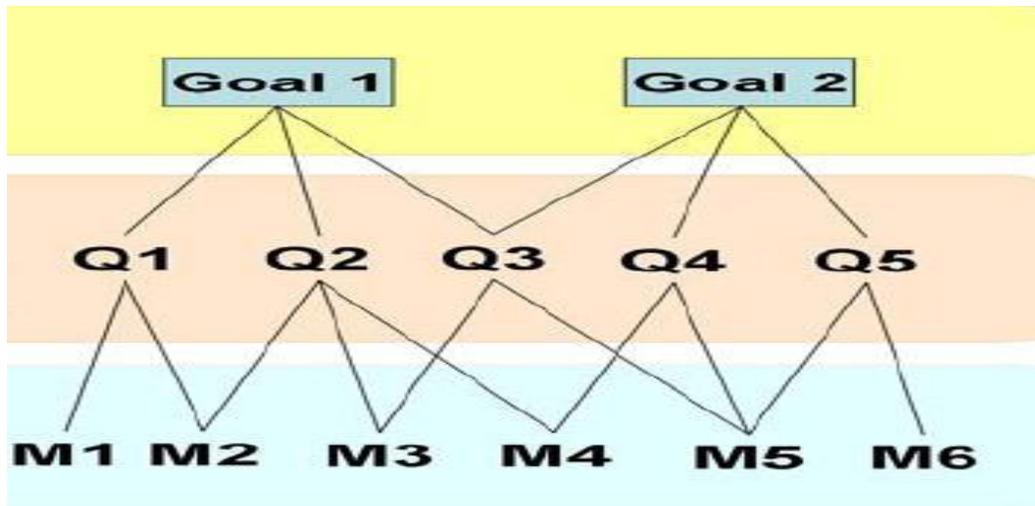


Figura 2.1. Niveles del enfoque GQM.

La figura 2.1 muestra claramente que:

- Para cada meta, puede haber varias preguntas y la misma pregunta se puede ligar a múltiples metas.
- Para cada pregunta puede haber múltiples métricas.
- Una métrica puede ser aplicable a más de una pregunta.

La figura 2.2 muestra cuáles son los niveles del enfoque GQM aplicados al presente trabajo de diploma, en el primer nivel se establecieron cuatro metas que definen la calidad del cronograma del proyecto, el segundo nivel contiene el refinamiento de las metas en preguntas y en el tercero se define el conjunto de métricas que aportan información para responder las preguntas planteadas y verificar el cumplimiento de las metas trazadas en el primer nivel.

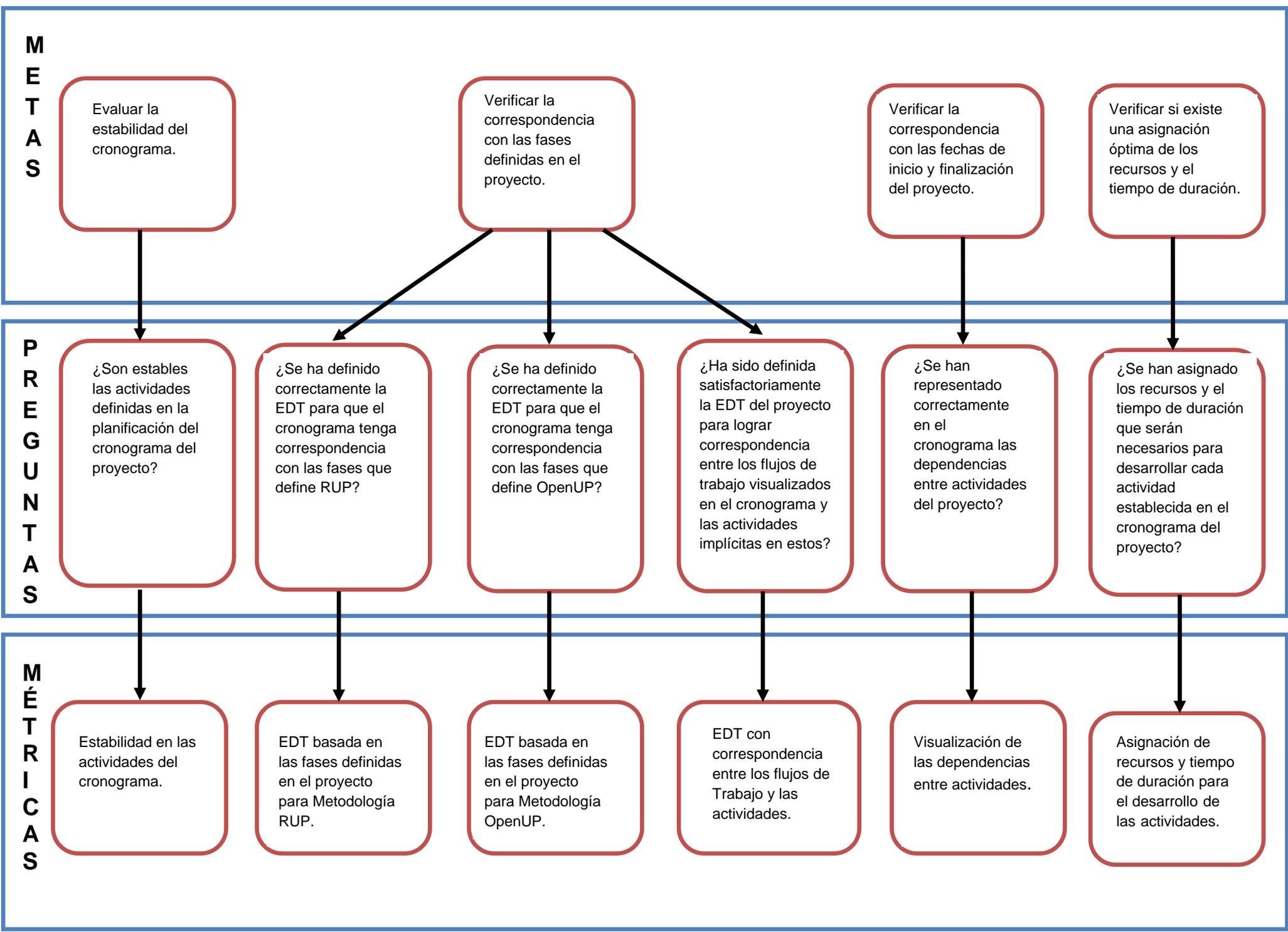


Figura 2.2. Representación de los niveles GQM aplicados al trabajo.

2.2.3. Pasos de GQM seguidos para desarrollar la propuesta.

Guiadas por uno de los anexos de la (NC ISO/IEC, 2001), que establece que toda métrica debe tener asociado un conjunto de aspectos dentro de los que se encuentran: nombre de la métrica, lo que se propone medir a través de una pregunta, método de medición, fórmula de medición, tipo de medición e interpretación de valor obtenido (Ver anexo 1), las autoras del presente trabajo de diploma confeccionaron un paquete de métricas para evaluar la calidad de los cronogramas.

Para la confección de las métricas propuestas se siguió todo el proceso por los pasos que el enfoque GQM plantea. A este enfoque lo podemos describir en términos de un proceso de seis pasos donde:

- Los tres primeros se basan en usar las metas definidas para conducir a la identificación de las verdaderas métricas y estos son los que conforman los tres niveles de GQM.
- Los últimos tres pasos se basan en recopilar los datos de las medidas y la fabricación del uso eficaz de las métricas para mejorar la toma de decisión.

Se le dio seguimiento a cada uno de estos pasos como se muestra a continuación:

Paso 1: Establecer las Metas.

Con el objetivo de desarrollar un conjunto de métricas para medir la calidad de los cronogramas se definen las siguientes metas:

1. Evaluar la estabilidad del cronograma.
2. Verificar la correspondencia de la EDT con las fases definidas en el proyecto.
3. Verificar la visualización de dependencias en el cronograma.
4. Verificar si existe una asignación óptima de los recursos y el tiempo de duración.

Cada una de estas metas se refina en preguntas en el paso dos que propone el enfoque GQM.

Paso 2: Generación de Preguntas.

Se generaron las siguientes preguntas, que definen qué medir de una forma cualitativa o cuantitativa, para alcanzar las metas antes enunciadas, o sea establecen **qué se proponen medir** las posteriores métricas:

- La meta número uno se refina con la siguiente pregunta:
 1. ¿Son estables las actividades definidas en la planificación del cronograma del proyecto?

- La meta número dos se refina con las siguientes preguntas:
 2. ¿Se ha definido correctamente la EDT para que el cronograma tenga correspondencia con las fases que define RUP?

 3. ¿Se ha definido correctamente la EDT para que el cronograma tenga correspondencia con las fases que define OpenUP?

 4. ¿Ha sido definida satisfactoriamente la EDT del proyecto para lograr correspondencia entre los flujos de trabajo visualizados en el cronograma y las actividades implícitas en estos?

- La meta número tres se refina con la siguiente pregunta:
 5. ¿Se han representado correctamente en el cronograma las dependencias entre actividades del proyecto?

- La meta número cuatro se refina con la siguiente pregunta:
 6. ¿Se han asignado los recursos y el tiempo de duración que serán necesarios para desarrollar cada actividad establecida en el cronograma del proyecto?

Paso 3: Especificación de Medidas.

Se definió que era necesaria la recolección de medidas que contestaran las preguntas y que siguieran la evolución del cronograma con respecto a las metas. Estas medidas necesarias son:

- Para darle cumplimiento a la meta número uno y respuesta a su pregunta correspondiente se especificaron las siguientes medidas necesarias:

Como parte de la realización del cronograma del proyecto se identifican las actividades que deben ser realizadas para producir los diferentes productos entregables del proyecto, mediante el proceso “Definición de las Actividades”, explicado en el capítulo uno. Una de las causas por la que el software se atrasa es muchas veces por los constantes cambios que sufren las actividades que se planifican, a lo largo de todo el desarrollo se insertan nuevas actividades que no estaban incluidas en la planificación, muchas se modifican reiteradamente y a veces innecesariamente y otras se planifican y luego de haber perdido tiempo, esfuerzo y recursos materiales en su desarrollo, se determinan innecesarias y se eliminan del cronograma. Es por esto que se definió que era precisa la recolección de medidas que permitieran detectar si se produjeron modificaciones, inserciones o eliminaciones de las actividades planificadas con el objetivo de lograr que los líderes de los proyectos conozcan el grado de inestabilidad que existe en sus cronogramas e implementen acciones correctivas y preventivas.

- Para darle cumplimiento a la meta número dos y respuesta a la pregunta número dos se especificó la siguiente medida necesaria:

La correspondencia con las fases definidas en el proyecto es otro aspecto que deben cumplir los cronogramas que se realizan en la UCI. La EDT se utiliza como punto de inicio en la realización de estos. De esta forma el trabajo estará mejor organizado y el cronograma contará con mayor exactitud. El desarrollo de cualquier proyecto informático debe estar basado en alguna metodología de desarrollo de software, en la UCI se utiliza para la producción de software en muchos proyectos, la metodología: Rational Unified Process (RUP). RUP establece cuatro fases y en el contexto de cada una de estas fases, siguiendo un proceso iterativo e incremental, tienen lugar todos los flujos de trabajo en una distribución como se muestra a continuación:

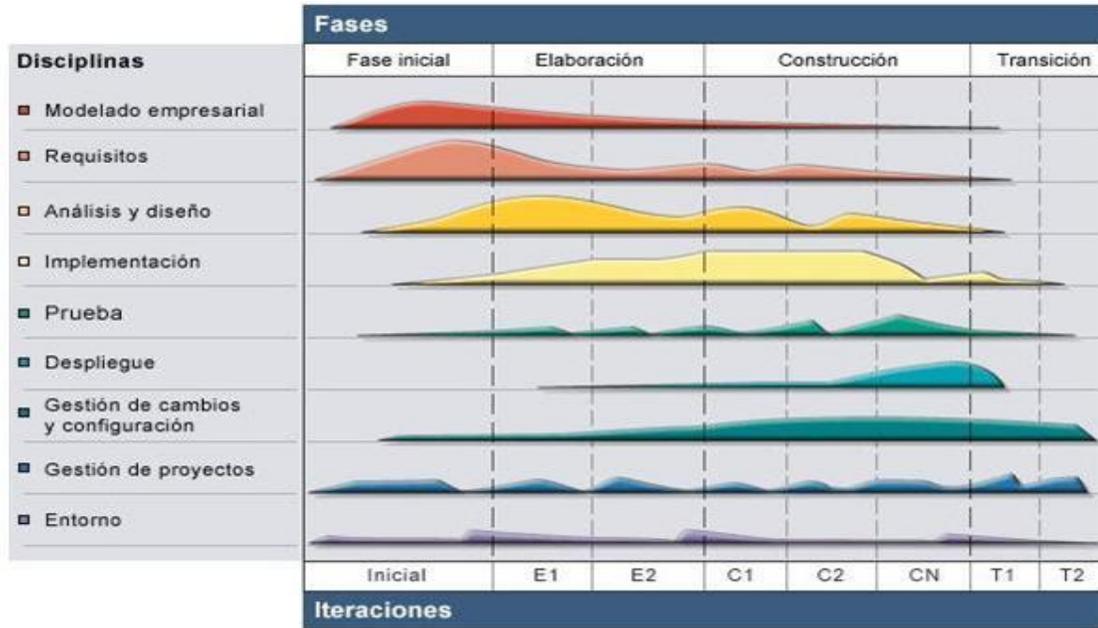


Figura 2.3. RUP en dos dimensiones.

Para que la EDT de los proyectos productivos que trabajen con la metodología de desarrollo de software RUP, cuenten con la calidad requerida, es necesario que en ella se contemplen las cuatro fases de desarrollo y por ende todos los flujos de trabajo que se incluyen en cada fase.

En la siguiente figura se muestran los flujos de trabajo que tienen mayor peso en cada una de las fases definidas por RUP:

Fases	Flujos de Trabajo
Inicio	Modelamiento del Negocio y Requerimientos
Elaboración	Análisis y Diseño
Construcción	Implementación
Transición	Pruebas y despliegue

Tabla 2.1. Flujos de Trabajo que tienen mayor peso en cada una de las fases definidas por RUP:

El cronograma del proyecto se define una vez que se haya completado la EDT donde se han identificado todas y cada una de las actividades del proyecto. La calidad y perfección de la EDT determinarán la calidad del cronograma. Por esta razón es necesario que se verifique si todas las fases contempladas en esta tienen correspondencia con las definidas en el cronograma del proyecto, para la evaluación de su relación con los flujos de trabajo definidos para cada fase y las actividades que estos contienen. De esta forma se podrá determinar si la EDT definida para el proyecto es satisfactoria o no y así lograr una buena planificación del cronograma del proyecto.

- Para darle cumplimiento a la meta número dos y respuesta a la pregunta número tres se especificó la siguiente medida necesaria:

Otra de las metodologías de desarrollo de software que es usada en los proyectos productivos de la UCI es OpenUP. Fue creada por la fundación Eclipse y al igual que RUP es un proceso unificado iterativo e incremental que aplica enfoques estructurados dentro de un ciclo de vida. OpenUP es un proceso mínimo y suficiente, lo que significa que solo el contenido fundamental y necesario es incluido. Por lo tanto no provee lineamientos para todos los elementos que se manejan en un proyecto pero tiene los componentes básicos que pueden servir de base a procesos específicos. La mayoría de los elementos de OpenUP están declarados para fomentar el intercambio de información entre los equipos de desarrollo y mantener un entendimiento compartido del proyecto, sus objetivos, alcance y avances. (Eclipse, 2009).

OpenUP es un proceso iterativo distribuido a través de cuatro fases: Inicio, Elaboración y Transición. Cada fase consiste de una o más iteraciones, donde se trabaja por versiones estables del software que son desarrolladas y liberadas, el completar cada iteración representa un hito menos para el proyecto y una contribución al éxito de la fase donde los objetivos de la misma son alcanzados. Esto se muestra a continuación en la figura 2.4.

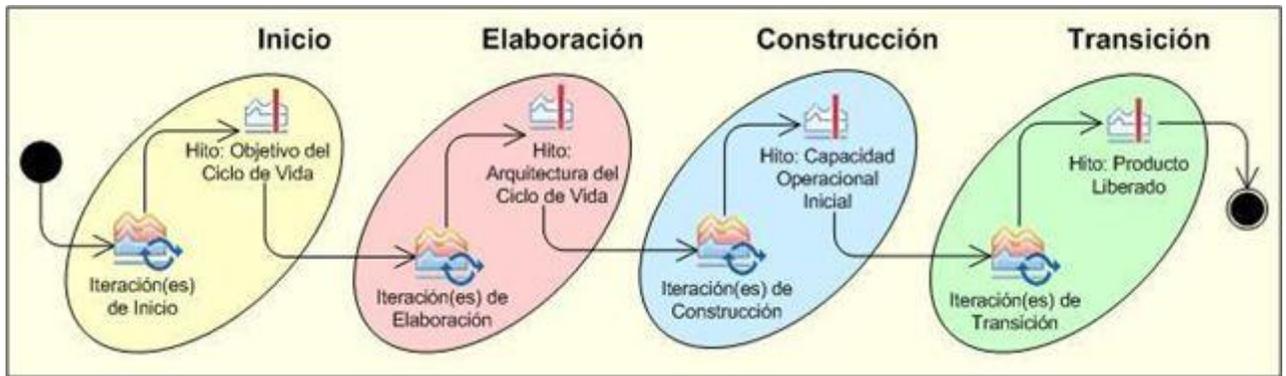


Figura 2.4. El ciclo de vida de OpenUP.

Para que la EDT de los proyectos productivos que trabajen con la metodología de desarrollo de software OpenUP, cuenten con la calidad requerida, es necesario que en esta se contemplen las cuatro fases de desarrollo y por ende todos los flujos de trabajo que se incluyen en cada fase. En el contexto de cada una de estas fases tienen lugar los flujos de trabajo siguientes:

Fases	Flujos de Trabajo
Inicio	Requerimientos
Elaboración	Arquitectura
Construcción	Desarrollo
Transición	Prueba
Durante todo el ciclo de vida	Administración del proyecto, Administración de configuración y Cambio.

Tabla 2.2. Flujos de Trabajo que tienen mayor peso en cada una de las fases definidas por OpenUP.

La calidad de la EDT determinará la calidad del cronograma. Por esta razón se deberá corroborar la existencia de correspondencia entre la EDT y las fases que

define OpenUP, verificar que la EDT del cronograma del proyecto esté dividida en flujos de trabajo y que estos coincidan plenamente en orden y significado, con los flujos que define esta metodología de desarrollo. De esta forma se podrá determinar si la EDT definida para el proyecto es satisfactoria o no y así lograr una buena planificación del cronograma.

- Para darle cumplimiento a la meta número dos y respuesta a la pregunta número cuatro se especificó la siguiente medida necesaria:

Luego de verificar que la EDT del proyecto está estructurada por las fases y flujos de trabajo que definen las metodologías de desarrollo de software RUP u OpenUP, es necesaria la especificación de medidas que corroboren la correspondencia entre los flujos de trabajo definidos y cada una de las actividades que se desarrollan como parte de estos, revisar una por una las actividades de la EDT del proyecto y verificar si existe al menos una que no esté incluida dentro de su flujo de trabajo correspondiente.

- Para darle cumplimiento a la meta número tres y respuesta a la pregunta número cinco se especificó la siguiente medida necesaria:

Debe existir correspondencia entre el cronograma y las fechas de inicio y finalización del proyecto, el cumplimiento de este objetivo va a indicar el grado de exactitud entorno al tiempo que tiene el cronograma. Como parte de la realización del cronograma del proyecto se identifican y documentan las dependencias entre las actividades del cronograma, mediante el proceso “Establecimiento de la secuencia de Actividades”, explicado en el capítulo uno. Las actividades definidas en el cronograma se deben ordenar de forma lógica con relaciones de precedencia adecuadas, incluyendo también adelantos y retrasos en caso de que sean necesarios, para garantizar el desarrollo posterior de un cronograma del proyecto realista y factible, o sea para la correcta representación de la línea de vida de un proyecto es importante la visualización de cada una de las actividades del cronograma pues si esto no se cumple se puede incurrir en un atraso del proyecto o simplemente el cronograma no va constituir una planificación real del desarrollo. Es por esto que es necesaria la recolección de medidas que permitan verificar la

representación de todas las dependencias que existen entre las actividades del cronograma.

- Para darle cumplimiento a la meta número cuatro y respuesta a la pregunta número seis se especificó la siguiente medida necesaria:

Otro aspecto a medir para la correcta planificación de las actividades del cronograma es precisamente la asignación de un tiempo de duración y de los recursos necesarios para ser desarrollada cada actividad. La estimación de recursos de las actividades del cronograma involucra determinar cuáles son los recursos (personas, equipos, o material) y qué cantidad de cada cual se utilizará, y cuándo estará disponible cada recurso para realizar las actividades del proyecto. Aunque hay muchas razones por las que el software se entrega tarde una de las principales causas es la mala estimación del tiempo de duración y la cantidad de esfuerzo y/o el número de recursos que serán necesarios para hacer el trabajo. Se analizó que toda actividad que se realice necesita tanto recursos materiales como humanos además de un tiempo de duración definido para su desarrollo, esto se muestra en la Figura 2.5, y por tanto todas las actividades del cronograma deben cumplir con esta condición.



Figura 2.5. Relación entre las actividades planificadas y los recursos y tiempo de duración asignados.

Por esta razón es necesario verificar que cada una de las actividades del cronograma tenga asignados los recursos y el tiempo de duración necesarios y disponibles para su desarrollo.

Paso 4: Preparar Recolección de datos.

Se definió que la recolección de datos se desarrollaría mediante el análisis del cronograma del proyecto SGF, consultando a su líder del proyecto y la planificadora. A continuación se especifican cada uno de los mecanismos definidos para la recolección de los datos de las medidas, estos mecanismos consistirían en el método de medición de las métricas que ayudarán al desarrollo eficaz de las mismas:

- Para ayudar a conformar la métrica que intentará dar información para responder a la pregunta número uno y esta a su vez verificar el cumplimiento de la meta número uno, se definió que la recolección de los datos sería siguiendo el **método de medición** que a continuación se muestra:

La métrica tiene un **tipo de medición cuantitativo** y consiste en lo siguiente: Se debe llevar un registro que contenga toda la información relacionada con las inserciones, eliminaciones y modificaciones que se llevan a cabo en el cronograma, en cuanto a actividades se refiere. Se debe contabilizar la cantidad de actividades que han sufrido cambios de cada tipo y se obtiene como resultado final, el número de actividades que han sufrido cambios.

- Para ayudar a conformar la métrica que intentará dar información para responder a la pregunta número dos y esta a su vez verificar el cumplimiento de la meta número dos, se definió que la recolección de los datos sería siguiendo el **método de medición** que a continuación se muestra:

El **tipo de medición es cualitativo** y consiste en revisar la EDT del proyecto. Verificar que esta constituya una organización jerárquica, exhaustiva y descendente dividida por los siguientes flujos de trabajo:

- Modelamiento del negocio.
 - Requerimientos.
 - Análisis y diseño.
 - Implementación.
 - Prueba.
 - Instalación.
 - Administración del proyecto.
 - Administración de configuración y cambios.
 - Ambiente.
- Para ayudar a conformar la métrica que intentará dar información para responder a la pregunta número tres y esta a su vez verificar el cumplimiento de la meta número dos, se definió que la recolección de los datos sería siguiendo el **método de medición** que a continuación se muestra:

El **tipo de medición es cualitativo** y consiste en revisar la EDT del proyecto. Verificar que esta constituya una organización jerárquica, exhaustiva y descendente dividida por los siguientes flujos de trabajo:

- Requerimientos.
- Arquitectura.
- Desarrollo.
- Prueba.
- Administración del proyecto.
- Administración de configuración y cambios.

- Para ayudar a conformar la métrica que intentará dar información para responder a la pregunta número cuatro y esta a su vez verificar el cumplimiento de la meta número dos, se definió que la recolección de los datos sería siguiendo el **método de medición** que a continuación se muestra:

El tipo de medición es cuantitativo y consiste en lo siguiente: Se revisa la EDT definida para el proyecto y se cuentan la cantidad de no correspondencias de los flujos de trabajo con las actividades que estos incluyen.

- Para ayudar a conformar la métrica que intentará dar información para responder a la pregunta número cinco y esta a su vez verificar el cumplimiento de la meta número tres, se definió que la recolección de los datos sería siguiendo el **método de medición** que a continuación se muestra:

El **tipo de medición es cualitativo** y consiste en lo siguiente: Se debe verificar la visualización de cada una de las dependencias o relaciones de precedencia que existen entre las actividades del cronograma. Revisar que las características del proyecto permiten la existencia de dichas dependencias. El establecimiento de las dependencias entre las actividades se realizó basándose en el Método PDM, porque usa la técnica de redes de precedencia, y es el método utilizado por la mayoría de los paquetes de software de Gestión de Proyectos. Por tanto se establece que se debe verificar solo la existencia de las siguientes dependencias:

- **Final a Inicio.** El inicio de la actividad sucesora depende de la finalización de la actividad predecesora.
- **Final a Final.** La finalización de la actividad sucesora depende de la finalización de la actividad predecesora.
- **Inicio a Inicio.** El inicio de la actividad sucesora depende del inicio de la actividad predecesora.
- **Inicio a Fin.** La finalización de la actividad sucesora depende del inicio de la actividad predecesora.

- Para ayudar a conformar la métrica que intentará dar información para responder a la pregunta número seis y esta a su vez verificar el cumplimiento de la meta número cuatro, se definió que la recolección de los datos sería siguiendo el **método de medición** que a continuación se muestra:

El **tipo de medición es cuantitativo** y consiste en lo siguiente: Se revisa el cronograma del proyecto y se cuentan el número de actividades que no tienen recursos asignados para su desarrollo. Hay que tener presente que puede existir alguna actividad en el cronograma que tenga asignada recursos humanos y no así recursos materiales o viceversa y estas también se cuentan. Luego se cuentan la cantidad de actividades que no tienen tiempo de duración definido.

Paso 5: Recolectar, Validar y Analizar los datos para la toma de decisiones.

Se recolectaron, validaron y analizaron cada uno de los datos con el objetivo de desarrollar seis métricas que proporcionen indicadores que sirvan de realimentación al proyecto en una acción correctiva.

La utilización de las métricas propuestas para evaluar la calidad de los cronogramas en los proyectos productivos de la UCI tiene dos aspectos fundamentales. En primer lugar, estas métricas sirven para mejorar la calidad de la planificación del cronograma, haciendo los ajustes necesarios que eviten retrasos y reduzcan problemas y riesgos potenciales. En segundo lugar sirven para evaluar la calidad de los cronogramas en el momento actual y cuando lo estime necesario la dirección del proyecto.

A medida que mejora la calidad del cronograma, se minimizan los defectos, y al tiempo que disminuye el número de defectos la cantidad de trabajo que ha de rehacerse también se reduce, esto lleva a una reducción del tiempo de entrega del proyecto. Las métricas desarrolladas a continuación intentan dar información para dar respuesta a las preguntas planteadas y verificar el grado de cumplimiento de cada una de las metas definidas.

- Con el objetivo de dar respuesta a la pregunta número uno y verificar el cumplimiento de su meta correspondiente se propone la siguiente métrica:

Estabilidad en las actividades del cronograma, referida a los cambios que sufren las actividades a lo largo del desarrollo del proyecto de software incluyendo la eliminación, inserción y modificación. Estos continuos cambios en las actividades del cronograma traen consigo un atraso en la entrega del producto final.

Se recolectaron los datos a través de la siguiente **fórmula de Medición**:

Se asociaron a la primera pregunta establecida un conjunto de datos objetivos como dicta el nivel cuantitativo del enfoque GQM, que permitieron definir tres variables (A, B, C) estas guardan el número de actividades modificadas, insertadas y eliminadas respectivamente, en el cronograma del proyecto. Se estableció una suma de estas variables para obtener un resultado final de la cantidad total de actividades que sufrieron cambios en su planificación, este se guardará en la variable Y, con el fin de proporcionar una respuesta de manera cuantitativa.

$$Y = A + B + C$$

Donde:

A - número de actividades modificadas.

B - número de actividades insertadas.

C - número de actividades eliminadas.

Y es un número entero desde cero hasta el infinito (0, ∞).

Y – Número cantidad total de actividades que sufrieron cambios.

Se validó que todos los datos recolectados eran los correctos. Pues el equipo de GQM conjuntamente con los líderes de los proyectos se encargó de recopilarlos y verificar su veracidad. Se realizó el mismo proceso de validación de los datos para cada una de las restantes métricas desarrolladas.

Luego se procedió al análisis de los datos arrojados por la fórmula de medición dando al traste con la siguiente interpretación del **resultado obtenido**:

Si $Y=0$, se considera que hay estabilidad en las actividades planificadas en el cronograma del proyecto, ya que no se realizó ningún cambio en las mismas.

Si: $Y > 0$, se establece un rango de inestabilidad en las actividades basándose en la práctica clave número cinco que propone GQM la cual implica identificar factores de la variación de la calidad focalizándose siempre en el contexto del proyecto. En este caso se identificaron los rangos de inestabilidad en las actividades planificadas en correspondencia con las particularidades del proyecto SGF y la experiencia acumulada por su líder. Es necesario destacar que estos rangos pueden variar en dependencia de las características del proyecto, al cual se necesite aplicar esta métrica. Esto se muestra en la tabla siguiente:

Grado de inestabilidad	Rango de Y
BAJO	1-5
MEDIO	6-20
ALTO	21 en adelante

Tabla 2.3. Rangos de inestabilidad de las actividades.

En dependencia del rango donde se encuentre Y, se podrá saber el grado de inestabilidad que poseen las actividades planificadas en el cronograma del proyecto y por tanto la calidad del mismo. Esta medición les proporcionará indicadores a los miembros del proyecto que le permitan tomar decisiones en pro de ajustar el cronograma para que los productos y entregables del proyecto salgan en tiempo.

- Con el objetivo de dar respuesta a la pregunta número dos y verificar el cumplimiento de su meta correspondiente se propone la siguiente métrica:

EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP, referida a la existencia en la EDT de cada uno de los flujos de trabajo que define la metodología de desarrollo de software RUP y que la estructura de esta se corresponda con la estructuración del cronograma. Es importante destacar que esta métrica solo será aplicable en los cronogramas de los proyectos que trabajen con metodología RUP.

Después de haber seguido el método de medición cualitativo de la métrica, se tiene la siguiente **interpretación del resultado obtenido**:

Si están en el cronograma todos los flujos de trabajo mencionados en el método de medición de esta métrica (mostrado en el paso cuatro) y en el orden expuesto entonces el mismo contempla una correspondencia con las fases definidas en la EDT del proyecto, en cualquier otro caso no existe tal correspondencia y se considera que existe una mala planificación del cronograma.

- Con el objetivo de dar respuesta a la pregunta número tres y verificar el cumplimiento de su meta correspondiente se propone la siguiente métrica:

EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología OpenUP, referida a la existencia en la EDT de cada uno de los flujos de trabajo que define la metodología de desarrollo de software OpenUP y que la estructura de esta se corresponda con la estructuración del cronograma. Es importante destacar que esta métrica solo será aplicable en los cronogramas de los proyectos que trabajen con metodología OpenUP.

Después de haber seguido el método de medición cualitativo de la métrica, se tiene la siguiente **interpretación del resultado obtenido**:

Si están en el cronograma todos los flujos de trabajo mencionados en el método de medición de esta métrica (mostrado en el paso cuatro) y en el orden expuesto entonces el mismo contempla una correspondencia con las fases definidas en la EDT del proyecto, en cualquier otro caso no existe tal correspondencia y se considera que existe una mala planificación del cronograma.

- Con el objetivo de dar respuesta a la pregunta número cuatro y verificar el cumplimiento de su meta correspondiente se propone la siguiente métrica:

EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: referida a la correspondencia que debe existir entre los flujos de trabajo definidos en la EDT

del proyecto y las actividades que estos contemplan en pos de lograr una correcta planificación del cronograma del proyecto, es decir verificar que cada una de las fases definidas en la EDT del proyecto tengan relación con sus actividades.

Se recolectaron los datos a través de la siguiente **fórmula de medición**:

Se asoció a la tercera pregunta establecida un conjunto de datos objetivos como dicta el nivel cuantitativo del enfoque GQM. Estos datos permitieron definir una variable X , que guarda el número total de no correspondencias entre los flujos de trabajo y las actividades que estos incluyen. Este valor permitirá conocer si la EDT del proyecto es satisfactoria o no, con el fin de proporcionar una respuesta de manera cuantitativa.

X es un número entero desde cero hasta infinito ($0, \infty$).

X - número total de no correspondencias entre los flujos de trabajo con las actividades que estos incluyen.

Luego se procedió al análisis de los datos arrojados por la fórmula de medición dando al traste con la siguiente **interpretación del resultado obtenido**:

Si $X = 0$, se considera que existe correspondencia entre todos los flujos de trabajo representados en la EDT del proyecto y las actividades que estos contemplan, por tanto la EDT del proyecto es satisfactoria y existe una buena planificación del cronograma.

Si $X \geq 1$ se considera que la EDT del proyecto no es satisfactoria por la existencia de no correspondencias entre los flujos de trabajo y sus actividades.

Esta métrica ayuda a los miembros del equipo a obtener indicadores que conducirán a estrategias de mejora.

- Con el objetivo de dar respuesta a la pregunta número cinco y verificar el cumplimiento de su meta correspondiente se propone la siguiente métrica:

Visualización de dependencias entre las actividades, referida a la representación en el cronograma de cada una de las dependencias que existen entre las actividades.

Después de haber seguido el método de medición cualitativo de la métrica, se tiene la siguiente **interpretación del resultado obtenido**:

Si las características del proyecto permiten la existencia de algún tipo de dependencia mencionado anteriormente en el método de medición de la métrica (en el paso cuatro) y no se visualizan en el cronograma del proyecto se considera que no se han indicado todas las particularidades existentes en el mismo, por tanto el cronograma es incompleto y el equipo de desarrollo debe tomar medidas al respecto.

- Con el objetivo de dar respuesta a la pregunta número seis y verificar el cumplimiento de su meta correspondiente se propone la siguiente métrica:

Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades, referida a la asignación de los recursos requeridos para acometer el esfuerzo de desarrollo de software y el tiempo de duración que será necesario para desarrollar cada actividad establecida en el cronograma del proyecto. El recurso primario son las personas (el recurso humano) y los recursos materiales son las herramientas (hardware y Software) que constituyen la base proporcional de soporte al esfuerzo de desarrollo.

La recolección de los datos se efectuó a través de la siguiente **fórmula de medición**:

Se asociaron a la quinta pregunta establecida, un conjunto de datos objetivos como dicta el nivel cuantitativo del enfoque GQM. Estos datos permitieron definir tres variables, (X, Y, W), estas guardan el número total de actividades planificadas en el cronograma que no tienen recursos de ningún tipo asignados, el número total de actividades que tienen asignados recursos de un solo tipo (humanos o materiales) y el número de actividades que no tienen tiempo de duración asignado

respectivamente. En primer lugar, se estableció una suma de las variables X y Y, para obtener un resultado del número de actividades con problemas de asignación de recursos, este se guardará en la variable Z. En segundo lugar se estableció una suma de las variables Z y W, para obtener un resultado final del número de actividades con problemas de asignación de recursos y tiempo que se guardará en la variable N. Esto permitirá determinar si la planificación del cronograma es correcta en cuanto a la asignación óptima de tiempo de duración y recursos para cada actividad, con el fin de proporcionar una respuesta de manera cuantitativa.

$$Z = X+Y$$

Donde:

X - número total de actividades que no tienen recursos de ningún tipo asignados.

Y- número total de actividades que tienen asignados recursos de un solo tipo (humanos o materiales).

Z- número de actividades con problemas de asignación de recursos.

W- número de actividades que no tienen tiempo de duración asignado.

Por lo tanto el número de actividades con problemas de asignación de recursos y tiempo se define de la forma siguiente:

$$N = Z+W$$

Donde:

N es un número entero desde 0 hasta infinito (0, ∞).

N- número total de actividades con problemas de asignación de recursos y/o tiempo.

Luego se procedió al análisis de los datos arrojados por la fórmula de medición dando al traste con la siguiente **interpretación del resultado obtenido:**

Si $N = 0$, se considera que la planificación del cronograma es correcta ya que a todas las actividades se le asignaron los recursos y tiempo de duración necesarios para ser desarrolladas.

Si $N \geq 1$ se considera que la planificación del cronograma es incorrecta puesto que hay actividades a las que no se le asignaron recursos para su desarrollo y/o tiempo de duración y se corre el riesgo de que el proyecto se termine fuera del tiempo establecido.

Esta métrica ayuda a los miembros del equipo a obtener indicadores que conducirán a una estrategia de mejoras.

Paso 6: Analizar los datos para el logro de los objetivos y el aprendizaje.

- Se analizaron los datos y se llegó a la conclusión de que se le dio cumplimiento a las metas propuestas. Esto permitió que el equipo de desarrollo tomara medidas correctivas, en pos de reducir el riesgo de que el producto se termine fuera del tiempo establecido.
- Se recomienda una capacitación por parte del equipo de desarrollo acerca del enfoque GQM, con el objetivo de designar un grupo que sea el encargado de realizar mediciones al proyecto y a los diferentes productos entregables periódicamente y desarrollar métricas que respondan a las necesidades del proyecto.

2.3. Conclusiones Parciales.

A partir del proceso que se siguió se pudo determinar:

- GQM permitió identificar métricas significativas para el proyecto productivo SGF.
- Permitted elegir métricas que se relacionan con las metas más importantes y problemas más urgentes.
- El proceso de interpretación de las medidas estuvo bien definido, permitiendo el correcto desarrollo de las métricas propuestas.
- El equipo del proyecto estuvo fuertemente involucrado en la definición e interpretación de las métricas.
- Se consideran las métricas como útiles y relevantes pues sirven para evaluar la calidad de los cronogramas de los proyectos productivos de la UCI, aspecto que afecta considerablemente a la universidad.

Las métricas desarrolladas en este capítulo miden la calidad del cronograma en cuanto a:

- Estabilidad en las actividades.
- Calidad de la EDT en cuanto a:
 - Correspondencia con las Fases de RUP.
 - Correspondencia con las Fases de OpenUP.
 - Correspondencia con los flujos de trabajo y las actividades que contemplan.
- Dependencias entre las actividades.
- Recursos y tiempo de duración asignados a las actividades.
- Posteriormente se aplicarán en el proyecto productivo SGF y brindarán la información necesaria para evaluar la calidad de los cronogramas que se planifican en el mismo y de esta forma tomar estrategias de mejora por parte de los miembros del proyecto.

CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.

3.1. Introducción.

La medición es fundamental para cualquier disciplina de ingeniería, y la ingeniería del software no es una excepción. La medición nos permite tener una visión más profunda, proporcionando un mecanismo para la evaluación objetiva. (Pressman, 2005). Con el fin precisamente, de realizar una medición que permita evaluar objetivamente el estado de los cronogramas de los proyectos productivos, es que se desarrolló el paquete de métricas y a continuación, en el presente capítulo se muestra la validación de la solución propuesta.

Estas métricas fueron hechas con el objetivo de ser aplicadas al cronograma del proyecto SGF, pero para establecer una comparación del impacto causado y resultados arrojados, además de lograr la verificación del valor e importancia de las mismas, se decidió validar también en otros dos proyectos productivos que actualmente están en pleno desarrollo en la universidad.

La primera parte del capítulo es una breve explicación de la forma en la que se realizó la validación de la solución propuesta. Luego se realiza todo el proceso de validación de cada una de las métricas en el proyecto SGF de una forma más detallada y se exponen las medidas correctivas adoptadas por los miembros del proyecto. Posteriormente se realiza el proceso de validación de las métricas en los proyectos PATDSI y SUA. Luego se analizan y comparan los resultados obtenidos de la aplicación de cada una de las métricas a los proyectos. Finalmente se dan las conclusiones parciales del capítulo.

3.2. Proceso de Validación del paquete de Métricas.

Para la aplicación de las métricas a los cronogramas de los proyectos se llevaron a cabo todos los métodos de medición definidos para cada una, se establecieron las fórmulas de medición (en los casos de las métricas que tenían métodos de medición cuantitativos) y posteriormente se llevó a cabo el análisis de la interpretación del resultado obtenido en cada caso. O sea se siguió cabalmente todo el proceso explicado en el capítulo dos.

Se utilizó el enfoque GQM, pero esta vez aplicando el proceso de manera inversa, para realizar la validación de las métricas propuestas. O sea, se aplicaron cada una de las métricas a los cronogramas de los proyectos, para obtener información que permitiera dar respuesta a las preguntas planteadas y de esa forma comprobar el grado de cumplimiento que poseen las metas definidas, teniendo en cuenta que la medición debe ser realizada, siempre, orientada a una meta.

Es importante destacar que las métricas uno, cinco y seis se pueden aplicar en cualquier momento del desarrollo del proyecto, después de que exista al menos la primera versión del cronograma. En cambio las métricas dos, tres y cuatro se aplicarán después que se realice la EDT del proyecto.

3.2.1. Validación del paquete de Métricas en el proyecto SGF.

El proyecto SGF surge con el objetivo de proporcionar a la Fiscalía General de la República (FGR) un sistema para la gestión de sus procesos fundamentales. Tiene un alcance nacional y está dirigido a la informatización de los procesos en los que interviene el fiscal, posibilitando además, recuperar informaciones útiles para la toma de decisiones. La dirección del proyecto efectuó la planificación a través de un cronograma por cada uno de sus ocho módulos y otro cronograma general que abarca cada uno de ellos.

El paquete de métricas propuesto se desarrolló con el objetivo de ser aplicado al proyecto SGF, es por esto que los rangos de inestabilidad definidos en la métrica uno (Ver Tabla 2.3) están enfocadas solo a su contexto. A continuación se explica todo el proceso de validación de cada una de las métricas propuestas en el cronograma general de este proyecto.

3.2.1.1. Estabilidad en las actividades del cronograma: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. O sea se contó la cantidad de actividades que habían sufrido cambios, ya sea modificaciones, inserciones y eliminaciones. Luego se procedió a darle los valores a las variables que forman parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan los valores:

$$A = 13$$

$$B = 0$$

$$C = 3$$

Donde para los valores antes expuestos:

$$Y = 13 + 0 + 3 = 16.$$

Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido indica que el valor arrojado está comprendido en el rango de inestabilidad medio y se considera que las actividades planificadas en el cronograma SGF no son estables.

3.2.1.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP: validación

Para la validación de esta métrica se analizó la EDT y el cronograma del proyecto, siguiendo su método de medición. Con la interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método se comprobó que en la EDT del proyecto SGF están plasmadas todas las fases que define la metodología RUP, organizadas jerárquicas, exhaustiva y descendientemente. Además se contempla una correspondencia con las fases definidas en la EDT del proyecto y los flujos de trabajo definidos en el cronograma. Por lo tanto se considera que existe una buena planificación del cronograma en lo que se refiere a la estructuración del mismo, por las fases que define la metodología de desarrollo de software RUP.

3.2.1.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. Luego se procedió a darle valor a la variable forma parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan el valor:

$$X = 0$$

Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido indica que hay una correspondencia total entre los flujos de trabajo visualizados en el cronograma y las actividades implícitas en estos. La interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método indica que la estructuración de la EDT del proyecto es satisfactoria.

3.2.1.4. Visualización de dependencias entre las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. Se comprobó que en el cronograma del proyecto SGF no se visualizan correctamente todas las dependencias entre las actividades en correspondencia con las características del proyecto, el cronograma del proyecto tiene que alcanzar un mejor detalle en este aspecto para lograr que el mismo se termine en el plazo establecido. La interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método indica que el cronograma es incompleto.

3.2.1.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se examinó el cronograma siguiendo su método de medición. O sea, se analizó el cronograma y se verificó si existían actividades que presentaran problemas en cuanto a la asignación de recursos y/o tiempo de duración, luego se procedió a darle los valores a las variables que forman parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan los valores:

$$X = 0$$

$$Y = 0$$

$$W = 0$$

Donde para los valores antes expuestos, $Z = 0+0 = 0$.

Consecuentemente $N = 0 + 0 = 0$.

Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido a partir del valor arrojado por N, indica que la planificación del cronograma, en cuanto a asignación de recursos y tiempo de

duración de cada actividad definida en el mismo se refiere, es correcta, ya que a todas las actividades se le asignaron los recursos necesarios y el tiempo de duración para ser desarrolladas.

3.2.1.6. Acciones correctivas llevadas a cabo luego de la validación del paquete de métricas en el proyecto SGF.

Con el objetivo de darle cumplimiento a la práctica clave número diez que define GQM: asegurar el compromiso de la dirección del proyecto con el resultado de las mediciones, se muestran a continuación las acciones llevadas a cabo por los miembros del proyecto SGF, a partir de la aplicación de la propuesta al cronograma de este proyecto con el objetivo de corregir los defectos encontrados y prevenir la aparición de otros.

A partir de los resultados que arrojaron las métricas validadas en el proyecto SGF, inmediatamente se reunieron los jefes de módulos, el analista principal, el arquitecto principal, el planificador y el líder de proyecto. En la reunión se profundizó en los siguientes pasos de los cuales varios se obviaron en un principio y no se hacían con el rigor y la profundidad que ameritan, apoyándose en la propuesta de Modelo para Gestión de Tiempo del compañero Omar Ahmed García Pérez, que tan buenos resultados ha arrojado en el Centro de Tecnologías de Almacenamiento y Análisis de Datos (CENTALAD). Los pasos a seguir son:

Definición de actividades.

- Estructura de desglose de trabajo bien detallada y minuciosa (EDT).
- Descripción de la EDT.
- Descomposición de las EDT en actividades

Se obtiene:

- Lista de hitos y actividades.



Secuenciación de Actividades General.

- Utilizar el método de diagramación por precedencia.
- Determinación de dependencias.
- Aplicación de adelantos y retrasos.
- Utilización de plantillas de red del cronograma.

Se obtiene:

- Modelo de cronograma (diagramas de red cronograma).
- Lista de hitos y de actividades.



Estimación de Recursos General.

- Calendario de recursos.
- Estructura de desglose de recursos.
- Análisis de alternativas.
- Estimación ascendente.

Se obtiene:

- Estructura de desglose de recursos.



Estimación de tiempo de actividades.

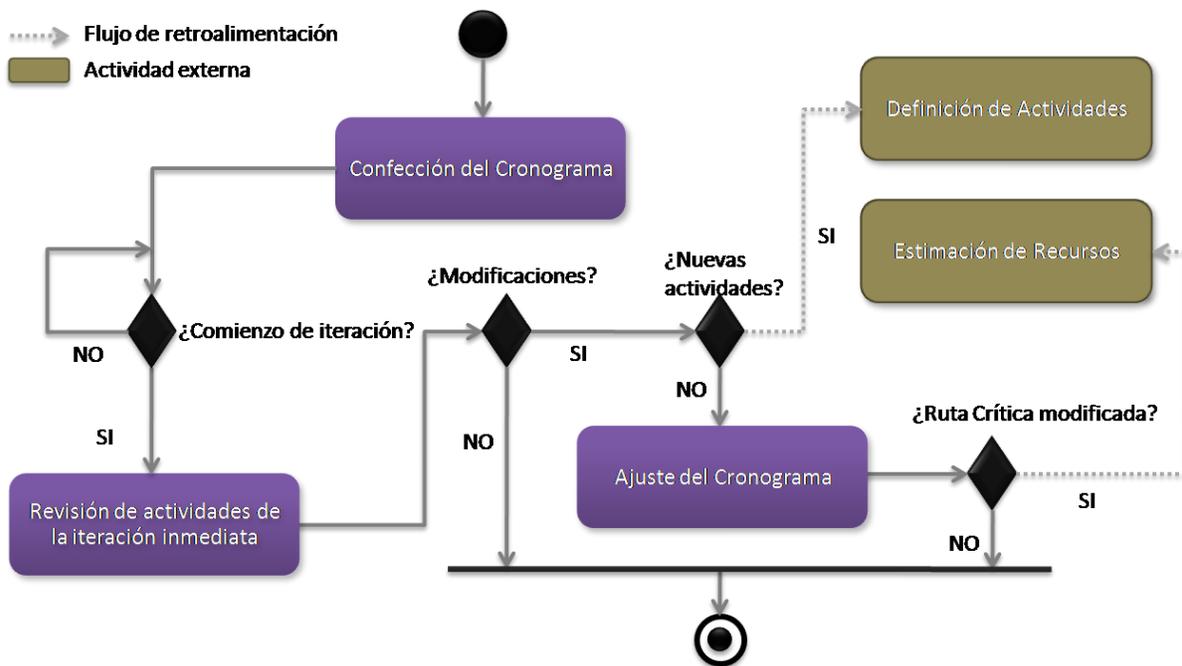
- Estimación basada en casos de usos.
- Análisis de reserva.

Se obtiene:

- Lista de hitos y actividades.



Desarrollo del cronograma.

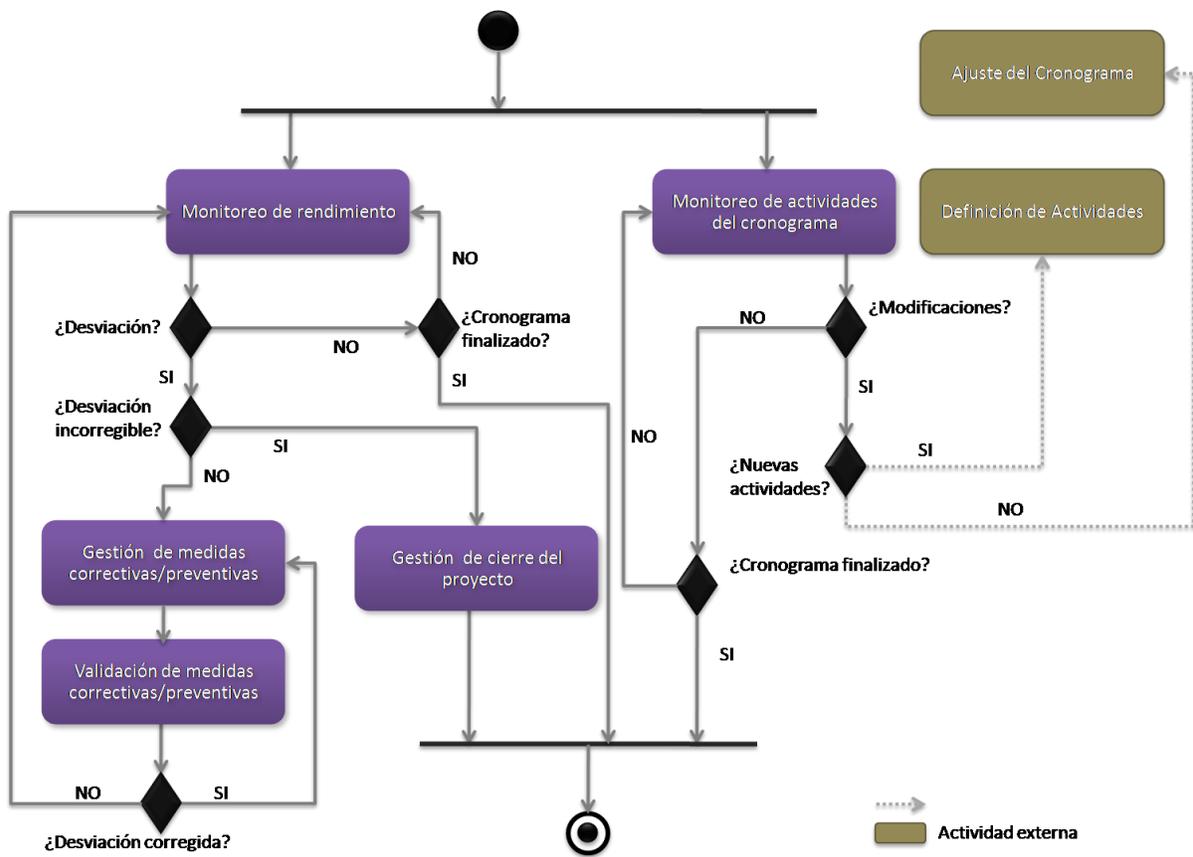


- Análisis de red del cronograma.
- Método PERT.
- Comprensión del cronograma.
- Ajuste de adelantos y retrasos.
- Análisis ¿qué pasa si?
- Método de Burgess- Killebrew.

Se obtiene:

- Modelo de cronograma.
- Lista de hitos y actividades.
- Calendario de recursos.

Control del cronograma.



- Sistema de control de cambios.
- Métricas de rendimiento.
- Análisis de variación.
- Diagrama de barras comparativos.
- Técnicas y herramientas para el desarrollo del cronograma.

Se obtiene:

- Modelo de cronograma.
- Medidas correctivas preventivas.

El equipo de desarrollo del proyecto SGF decidió que de ahora en adelante se continuará con la aplicación de este Modelo para Gestión de Tiempo y se aplicarán las métricas propuestas a lo largo de todo el desarrollo del proyecto con el objetivo de medir la calidad del cronograma y lograr la entrega del proyecto en el tiempo establecido.

3.2.2. Validación del paquete de Métricas en el proyecto PATDSI.

El proyecto PATDSI surge con el objetivo de proporcionar a los Ministerios Cubanos: Sistema Cubano de Planificación de Recursos en la Empresa (ERP), Oficina Nacional de Estadísticas (ONE) y Sistema de Gestión Penitenciario (SIGEP), un paquete de herramientas para la ayuda a la toma de decisiones que agrupa:

1. Herramienta para captura de información de la ONE.
 1. Registros y Clasificadores de la ONE.
 2. Captura de Datos de Modelos Estadísticos.
2. Generador de Reportes Dinámicos.
3. Herramientas para Análisis de Datos.

La métrica número tres propuesta se desarrolló con el objetivo de ser aplicada específicamente a el cronograma de este proyecto, o sea se hizo una adaptación de la métrica número dos a la metodología de desarrollo de software OpenUP, que es la utilizada en este proyecto. Es necesario destacar que para cumplir con la práctica clave número ocho planteada por el enfoque GQM, que consiste en dejar que los datos sean interpretados por las personas involucradas, se analizaron los datos de las medidas conjuntamente con el jefe de línea del proyecto PATDSI. A continuación se explica todo el proceso de validación.

3.2.2.1. Estabilidad en las actividades del cronograma: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. El jefe de línea proporcionó un registro de logs que contenían todos los cambios que se efectuaron en las actividades y que facilitó la validación de esta métrica. Se contó la cantidad de actividades que habían sufrido cambios, ya sea modificaciones, inserciones y eliminaciones. Es importante destacar que se detectaron modificaciones referidas al adelanto en algunos casos y retraso en otros de la fecha de culminación de algunas actividades, este último aspecto afecta en gran medida la culminación del proyecto en tiempo. Luego se procedió a darle los valores a las variables que forman parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan los valores:

$$A = 3$$

$$B = 1$$

$$C = 2$$

Donde para los valores antes expuestos:

$$Y = 3 + 1 + 2 = 6.$$

El jefe de línea del proyecto PATDSI estuvo de acuerdo con los rangos de inestabilidad establecidos ya que se corresponden con las características de su proyecto. Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido indica que el valor arrojado está comprendido en el rango de inestabilidad medio y se considera que las actividades planificadas en el cronograma SGF no son estables.

3.2.2.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología OpenUP: validación

Para la validación de esta métrica se analizó la EDT y el cronograma del proyecto, siguiendo su método de medición. Con la interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método se comprobó que en la EDT del proyecto PATDSI están plasmadas todas las fases que define la metodología OpenUP, organizadas jerárquicas, exhaustiva y descendientemente. (Ver Anexo 2). Además se contempla una correspondencia con las

fases definidas en la EDT del proyecto y los flujos de trabajo definidos en el cronograma. Por lo tanto se considera que existe una buena planificación del cronograma en lo que se refiere a la estructuración del mismo, por las fases que define la metodología de desarrollo OpenUP.

3.2.2.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. Luego se procedió a darle valor a la variable que forma parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan el valor:

$$X = 0$$

Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido indica que hay una correspondencia total entre los flujos de trabajo visualizados en el cronograma y las actividades implícitas en estos. La interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método indica que la estructuración de la EDT del proyecto es satisfactoria.

3.2.2.4. Visualización de dependencias entre las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. Se comprobó que en el cronograma del proyecto PATDSI se visualizan correctamente todas las dependencias entre las actividades en correspondencia con las características del proyecto. La interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método indica que el cronograma es completo en cuanto a este aspecto medido.

3.2.2.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se examinó el cronograma siguiendo su método de medición. O sea, se analizó el cronograma y se verificó si existían actividades que presentaran problemas en cuanto a la asignación de recursos y/o tiempo de duración. Se detectó que en la planificación del cronograma de este proyecto no se visualiza la

asignación de recursos materiales para desarrollar cada una de las actividades, solo los recursos humanos y el tiempo de duración de las mismas. Luego se procedió a darle los valores a las variables que forman parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan los valores:

$$X = 0$$

$$Y = 2188$$

$$W = 0$$

En este caso el valor arrojado por Y es el número total de actividades del cronograma, pues en ninguna de ellas se realiza la asignación de recursos materiales, solo de recursos humanos.

Donde para los valores antes expuestos, $Z = 0 + 2188 = 0$.

Consecuentemente $N = 2188 + 0 = 2188$.

Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido a partir del valor arrojado por N, indica que la planificación del cronograma en cuanto al aspecto medido es incorrecta, ya que es de gran importancia que se visualicen en el cronograma la asignación de recursos materiales además de los recursos humanos y el tiempo de duración que necesita cada actividad definida para ser desarrollada. Este es un aspecto en el que la dirección del proyecto debe profundizar para mejorar la planificación del cronograma.

3.2.3. Validación del paquete de Métricas en el proyecto SUA.

El proyecto SUA surge con el objetivo de garantizar la modernización de un Sistema Único de Aduanas que se corresponda con el marco normativo establecido por la Organización Mundial de Aduanas (OMA) y demás requerimientos solicitados por la Aduana General de la República de Cuba. Surge además para satisfacer el gran interés que tiene la OMA en que la UCI se convierta en desarrollador y distribuidor del sistema aduanal para América Latina y el Caribe, África, parte de Asia y el medio Oriente.

En el cronograma de este proyecto se validó el paquete de métricas propuesto y es necesario destacar que para cumplir con la práctica clave número ocho que consiste en dejar que los datos sean interpretados por las personas involucradas se analizaron los

datos de las medidas conjuntamente con el líder del proyecto SUA. A continuación se muestra todo el proceso de validación.

3.2.3.1. Estabilidad en las actividades del cronograma: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición conjuntamente con el líder del proyecto. Se contó la cantidad de actividades que habían sufrido cambios, ya sea modificaciones, inserciones y eliminaciones. Es importante destacar que se detectaron gran cantidad de modificaciones referidas al adelanto en algunos casos y retraso en otros de la fecha de culminación de algunas actividades, este último aspecto afecta en gran medida la culminación del proyecto en tiempo. Luego se procedió a darle los valores a las variables que forman parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan los valores:

$$A = 41$$

$$B = 2$$

$$C = 2$$

Donde para los valores antes expuestos:

$$Y = 41 + 2 + 2 = 45.$$

El jefe del proyecto SUA estuvo de acuerdo con los rangos de inestabilidad establecidos ya que se corresponden con las características de su proyecto. Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido indica que el valor arrojado está comprendido en el rango de inestabilidad alto y se considera que las actividades planificadas en el cronograma del proyecto no son estables por la gran cantidad de cambios que sufren las mismas, mayormente referidos a su tiempo de duración.

3.2.3.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó la EDT y el cronograma del proyecto siguiendo su método de medición. Con la interpretación del resultado obtenido de la

aplicación del método se comprobó que en la EDT del proyecto SUA están plasmadas todas las fases que define la metodología RUP, organizadas jerárquicas, exhaustiva y descendientemente. Además se contempla una correspondencia con las fases definidas en la EDT del proyecto y los flujos de trabajo definidos en el cronograma. Por lo tanto se considera que existe una buena planificación del cronograma en lo que se refiere a la estructuración del mismo, por las fases que define la metodología de desarrollo RUP.

3.2.3.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó la EDT del proyecto siguiendo su método de medición. Se comprobó que hay una correspondencia total entre los flujos de trabajo representados en la EDT del proyecto y las actividades implícitas en estos. Luego se procedió a darle valor a la variable que forma parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan el valor:

$$X = 0$$

Por lo tanto se considera que la EDT del proyecto es satisfactoria ya que existe una correspondencia total entre los flujos de trabajo y las actividades que estos contemplan y por consiguiente el cronograma del proyecto posee una buena planificación.

3.2.3.4. Visualización de dependencias entre las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se analizó el cronograma siguiendo su método de medición. Se comprobó que en el cronograma del proyecto SUA se visualizan correctamente todas las dependencias entre las actividades en correspondencia con las características del proyecto. La interpretación del resultado obtenido de la aplicación del método indica que el cronograma es completo en cuanto a este aspecto medido.

3.2.3.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades: validación.

Para la validación de esta métrica se examinó el cronograma siguiendo su método de medición. O sea, se analizó el cronograma en busca de actividades que presentaran problemas en cuanto a la asignación de recursos y/o tiempo de duración. Se detectó que en la planificación del cronograma de este proyecto existen problemas en la visualización de la asignación de recursos ya sea materiales y/o humanos para desarrollar cada una de las actividades, hay un grupo pequeño de actividades que solo tienen asignado recursos humanos, el resto no presenta asignación de ningún tipo. Hay que puntualizar que si está visualizado en el cronograma el tiempo de duración de cada actividad. Luego se procedió a darle los valores a las variables que forman parte de la fórmula de medición de la métrica. A continuación se presentan los valores:

$$X = 107$$

$$Y = 34$$

$$W = 0$$

En este caso el valor arrojado por Y es el número de actividades del cronograma que solo tienen recursos humanos asignados y el valor de X muestra las actividades que no tienen recursos de ningún tipo asignado.

Donde para los valores antes expuestos, $Z = 107 + 34 = 141$.

Consecuentemente: $N = 141 + 0 = 141$.

Por lo tanto la interpretación del resultado obtenido a partir del valor arrojado por N, indica que la planificación del cronograma, en cuanto a este aspecto, es incorrecta, ya que a ninguna actividad se le asignaron los recursos materiales necesarios, solo los recursos humanos en 34 actividades de un total de 141, el tiempo de duración para ser desarrolladas si fue asignado en todos los casos. Este es un aspecto en el que la dirección del proyecto debe profundizar para mejorar la planificación del cronograma.

3.3. Análisis de los resultados obtenidos a partir de la validación de la propuesta.

A partir de la aplicación del paquete de métricas a los cronogramas de los proyectos productivos SGF, PATDSI y SUA se obtuvieron datos del estado de los cronogramas en cuanto a los aspectos propuestos a medir, estos datos proporcionaron indicadores a los líderes y condujeron a estrategias de mejoras.

Se analizaron cada uno de los datos arrojados luego de la validación de cada métrica en los tres proyectos para establecer una comparación de los resultados.

3.3.1. Estabilidad en las actividades del Cronograma. Análisis de los resultados.

A continuación se muestra un gráfico que ilustra el comportamiento de cada uno de los proyectos luego de la aplicación de la métrica: Estabilidad en las actividades del cronograma:

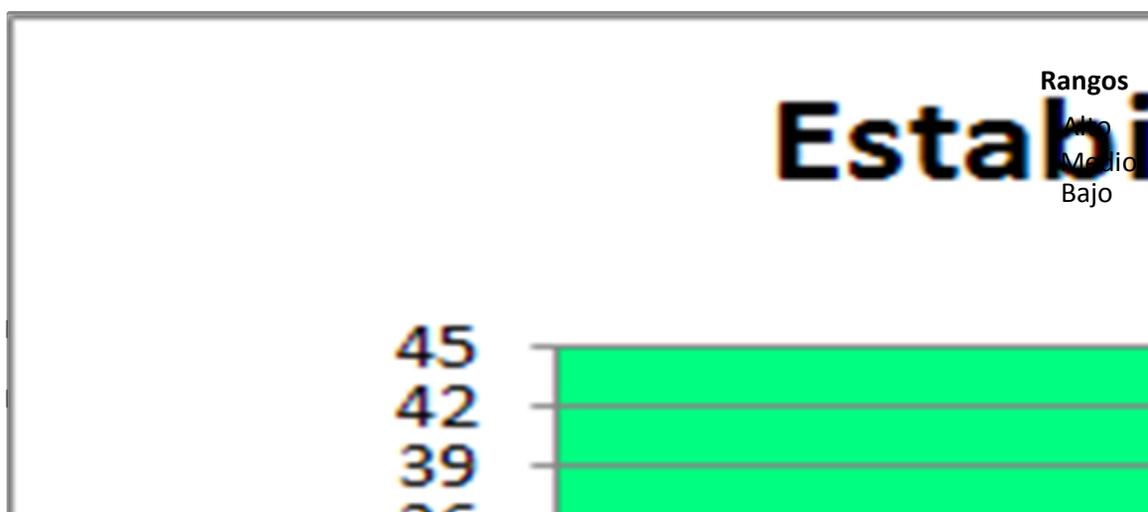


Figura 3.1. Comportamiento de los proyectos SGF, PATDSI y SUA en cuanto a la estabilidad en las actividades planificadas en el cronograma.

En la figura 3.1 se puede observar que:

- El cronograma del proyecto SGF muestra inestabilidad media en las actividades planificadas.
- El cronograma del proyecto PATDSI muestra inestabilidad media en las actividades planificadas, aunque no tiene grandes problemas en este aspecto.
- El cronograma del proyecto SUA muestra inestabilidad alta en las actividades planificadas, presenta grandes problemas de inestabilidad.

- No hay ningún proyecto que muestre que las actividades planificadas en el cronograma presenten una inestabilidad baja por tanto se considera que de manera general los cronogramas de los proyectos donde se validó esta métrica presentan inestabilidad en sus actividades.

3.3.2. EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP y EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología OpenUP. Análisis de los resultados.

Podemos llegar a la conclusión de que los cronograma de los proyectos SGF y SUA después de la aplicación de la métrica EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología RUP y el cronograma del proyecto PATDSI después de la validación de la métrica EDT basada en las fases definidas en el proyecto para Metodología OpenUP, mostraron una total correspondencia con las fases que definen cada una de las metodologías de desarrollo utilizadas por estos.

3.3.3. EDT con correspondencia entre los Flujos de Trabajo y las actividades. Análisis de los resultados.

Con la aplicación de la métrica: EDT con correspondencia entre los flujos de trabajo y las actividades, se pudo constatar que los cronogramas de los proyectos SGF, PATDSI y SUA cuentan con una adecuada correspondencia entre cada una de sus actividades y sus respectivos flujos de trabajo. Después de aplicar la fórmula de medición correspondiente a esta métrica, se obtuvo un total de cero no correspondencias entre los flujos de trabajo y las actividades implícitas en estos para los tres proyectos en los que se validó la propuesta.

3.3.4. Visualización de dependencias entre las actividades. Análisis de los resultados.

A continuación se muestra un gráfico que ilustra el comportamiento de cada uno de los proyectos luego de la aplicación de la métrica: Visualización de dependencias entre las actividades.

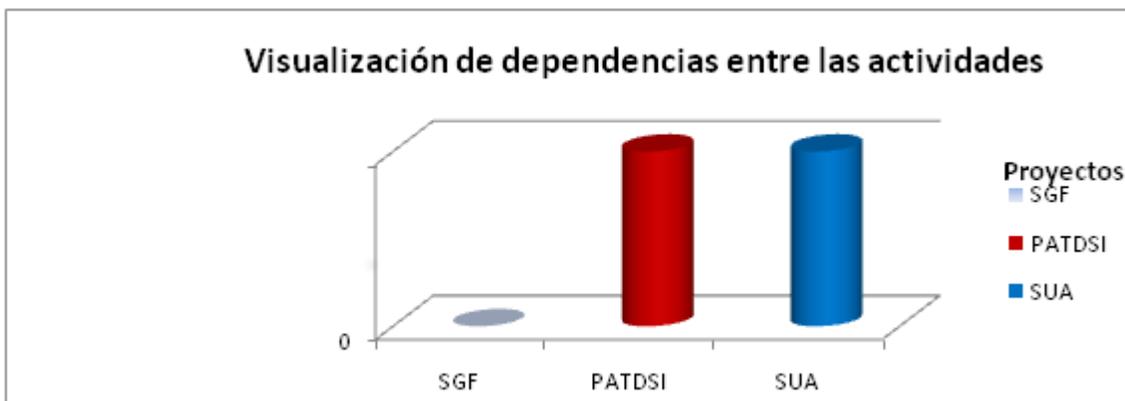


Figura 3.2. Comportamiento de los cronogramas de los proyectos SGF, PATDSI y SUA en cuanto a la visualización de las dependencias entre las actividades.

En la figura 3.2 se observa que:

- El cronograma del proyecto SGF no muestra visualización de las dependencias existentes entre las actividades.
- El cronograma del proyecto PATDSI tiene una correcta representación de las dependencias existentes entre las actividades planificadas.
- El cronograma del proyecto SUA tiene una correcta representación de las dependencias existentes entre las actividades planificadas.

3.3.5. Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades. Análisis de los resultados.

A continuación se muestra un gráfico que ilustra el comportamiento de cada uno de los proyectos luego de la aplicación de la métrica: Asignación de recursos y tiempo de duración para el desarrollo de las actividades:

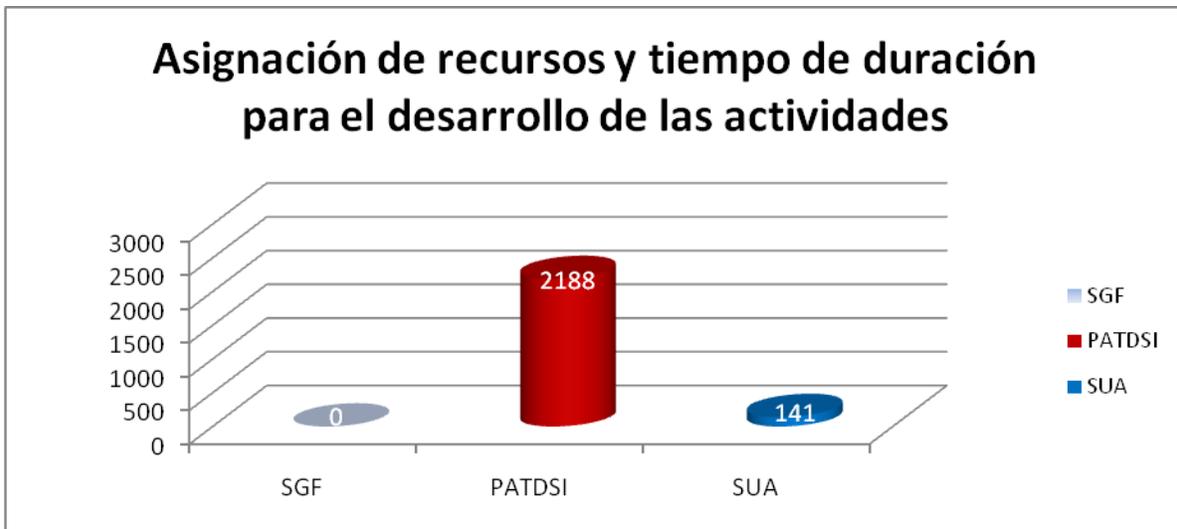


Figura 3.3. Representación de la cantidad de actividades con problemas de asignación de recursos y tiempo de duración en los cronogramas de los proyectos SGF, PATDSI y SUA.

En la figura 3.3 se observa que:

- El proyecto SGF cuenta con un cronograma que no presenta problemas con la visualización de asignación de recursos y tiempo de duración a cada una de las actividades planificadas.
- El proyecto PATDSI presenta problemas en este aspecto ya que para las actividades planificadas en el cronograma no se visualiza la asignación de recursos materiales, solo se visualiza la asignación de recursos humanos y tiempo de duración.
- El proyecto SUA presenta problemas en este aspecto medido, ya que en el cronograma no se visualiza la asignación de recursos materiales en ninguna actividad y en muy pocas actividades se visualiza la asignación de recursos humanos.

3.4. Conclusiones parciales.

En este capítulo se efectuó la validación del paquete de métricas para evaluar la calidad de los cronogramas de los proyectos productivos SGF, PATDSI y SUA, por lo que se puede concluir que:

La calidad de los cronogramas de manera general no es mala, aunque es importante destacar que los miembros del proyecto SGF y específicamente la planificadora, deben profundizar más en cuanto a establecer las dependencias entre las actividades definidas en el cronograma. Los líderes de los proyectos PATDSI y SUA deben visualizar en el cronograma la asignación a cada una de las actividades de los recursos necesarios para su desarrollo y así contarán con un cronograma de mayor calidad.

Además se detectó que existe inestabilidad en las actividades planificadas en el cronograma de los tres proyectos, principalmente en el proyecto SUA ,donde se detectaron una gran cantidad de cambios mayormente en el tiempo de culminación de las actividades, aspecto que necesitan mejorar ya que este cambio constante en las actividades provoca retrasos en el proyecto.

CONCLUSIONES.

Con el desarrollo de este trabajo se logró a través del paquete de métricas propuesto y que fue validado en los proyectos productivos SGF, PATDSI y SUA, corregir los errores encontrados en la planificación de los cronogramas de los mismos a partir del seguimiento de las siguientes estrategias:

- Se realizó un estudio del estado del arte de Gestión de Tiempo, cronogramas y métricas de software que se utilizan en la Gestión de Proyecto. Se analizaron los diferentes procesos de la Gestión de Tiempo, se incluyó un análisis del modelo de calidad de CMMI, sus niveles y áreas de procesos. Posteriormente se estudió del proceso de medición de software y los diferentes tipos de métricas de software existentes. Finalmente se analizó exhaustivamente el enfoque GQM, para la realización de métricas. Identificándose que: El presente trabajo está enfocado en el desarrollo y control del cronograma del proyecto, como parte de las actividades incluidas en la Gestión de Tiempo. También se seleccionó el enfoque escalonado del modelo CMMI y el enfoque GQM para el desarrollo de la propuesta y se estableció que las métricas propuestas son métricas del proyecto.
- Se desarrolló un paquete de cinco métricas destinadas a evaluar la calidad de los cronogramas en cuanto a la estabilidad que debe existir en las actividades planificadas en el proyecto, las dependencias que se deben visualizar, los recursos y tiempo de duración asignados para cada actividad, la calidad de la EDT, la correspondencia con las fases definidas por la metodología de desarrollo RUP y la relación de las actividades con sus flujos de trabajo.
- Durante la aplicación del paquete de métricas en el cronograma general del proyecto productivo SGF, se identificó una inestabilidad media en las actividades planificadas y se detectó que no se visualizaban cada una de las dependencias que existían entre las actividades. Estos aspectos provocan retrasos en el proyecto.
- Durante la aplicación del paquete de métricas en el cronograma del proyecto productivo PATDSI, se identificó una inestabilidad media en las actividades planificadas y se detectó que no se asignaban los recursos materiales a las

actividades. Estos aspectos provocan retrasos en el proyecto y constituyen factores de falta de calidad en el cronograma.

- Durante la aplicación del paquete de métricas en el cronograma del proyecto productivo SUA, se identificó una inestabilidad alta en las actividades planificadas y se detectó que no se asignaban los recursos materiales a las actividades y solo en unos pocos casos se asignaban recursos humanos. Estos aspectos provocan retrasos en el proyecto y constituyen factores de falta de calidad en el cronograma.
- Finalmente luego de la aplicación de las métricas en los cronogramas de los proyectos SGF, PADSÍ y SUA. Los miembros de cada uno de ellos obtuvieron indicadores que le permitieron tomar estrategias de mejoras en pos de eliminar las insuficiencias detectadas durante la etapa de validación y así ajustar el tiempo de desarrollo para alcanzar la fecha de entrega del producto final.
- Se cumplió el objetivo general trazado para este Trabajo de Diploma: Elaborar un paquete de métricas para evaluar cronogramas.

RECOMENDACIONES.

Se recomienda:

- Establecer el espacio por parte de la dirección de otros proyectos productivos de la universidad para la aplicación del paquete de métricas en los mismos.
- Incluir a esta solución otro conjunto de métricas que ayuden a evaluar la calidad de los proyectos productivos de la universidad.
- Designar en todos los proyectos de la universidad un grupo pequeño que forme parte del equipo de desarrollo con el objetivo de constituir el equipo de GQM, este grupo deberá recibir una capacitación en cuanto a este enfoque y será el encargado de desarrollar y aplicar métricas que ayuden a medir el comportamiento de sus proyectos en cualquier aspecto de calidad.

BIBLIOGRAFÍA.

Albrech. 1979. Measuring Application Development Productivity. IBM Application Development Symposium. Monterey : s.n., 1979. págs. 83-92.

Angel Nieva, Director Ejecutivo Digital Parks. Innovación en la Gestión de Proyectos. *Una historia en evolución. noticias.com.* . [En línea] <http://www.noticias.com/opinion/innovacion-gestion-proyectos-historia-evolucion-9h8.html>..

Badilla, Gustavo López. 2007. Six Sigma at Amazon.com. [En línea] 2007. [Citado el: 13 de febrero de 2009.]

Basili, Weiss. 1984. *A Methodology for Collecting Valid Software Engineering Data.* s.l. : IEEE Trans. Software Engineering, 1984. págs. 728-738. Vols. SE-10.

Berghout, R. v. (1999). *The Goal/Question/Metric Method: a practical guide for quality improvement of software development.* London: McGraw-Hill Publishing Company.

CMMI, Sinopsis de los modelos CMM y. 2006. Historia y Evolución. [En línea] 2006. <http://www.navegapolis.net/content/view/330/60>.

Corp, Bechtel Corporation: Six Sigma. Bechtel. 2008. Bechtel Corporation: Six Sigma. Bechtel Corp. [En línea] 2008.

Díaz, J. A. Vega. 2004. *Estado y tendencia de la Administración de Proyectos en México.* Puebla : Universidad de las Américas Puebla, 2004.

Durán, I. M. (10 de junio de 2009). *Calisoft.* Obtenido de <http://calidadsoft.prod.uci.cu>

Eclipse. (2009). *Ayuda de OPenUP.* Recuperado el 21 de mayo de 2009, de <http://epf.eclipse.org/wikis/openup/>

Ejioqu, Lem O. 1991. *software Engineering with Formal Metrics.* s.l. : QED, 1991.

Esterkin, Jose. 2007 . Mejores Proyectos. [En línea] 4 de Octubre de 2007 . [Citado el: 9 de junio de 2009.] <http://iaap.wordpress.com/2007/10/04/diferencias-entre-holgura-libre-y-holgura-total/>.

Fenton. 1991. *Software Metrics.* s.l. : Champan & Hall, 1991.

Fleming Q.W, J.M Kopplean. 1998. *Earned Value Project Management, Crosstalk.* 1998. pág. 19. Vol. 11. 7.

Freelang(Griego), Diccionario. *Diccionario Freelang(Griego).*

García, Félix. 2006. *El Proceso de Medición del Software.* Ciudad Real : Departamento de Tecnologías y Sistemas de Información. Escuela Superior de Informática. Universidad de Castilla-La Mancha, 2006.

Gracia, Joaquin. 2005. Ingenierossoftware. *calidad.* [En línea] 26 de noviembre de 2005.

Grady, R. (1992). *Practical Software Metrics for Project Management and Process Improvement,* . Prentice-Hall.

Humphrey. 1995. *Discipline for Software Engineering* . s.l. : Addison-Wesley, 1995.

IEEE. 1990. Software Engineering Standards, Std. 610.12. 1990. págs. 47-48.

Jacobson, Booch y Rumbaugh. 2000. *“El Proceso Unificado de Desarrollo de software”.* s.l. : Addison-Wesley, 2000.

Juls., El super blogs de. 2008. El super blogs de Juls. [En línea] 13 de enero de 2008. <http://blogdejuls.blogspot.com/2008/01/areas-de-gestion-de-un-proyecto.htm>.

Kplato. (2009). *La página Web de KPlato.* Obtenido de koffice.org/kplato

M, Roche J. 1994. Software Metrics and Measurement Principles, Software Engineering Notes. 1994. págs. 76-85. Vol. 19. 1.

Méndez, C. (2006). Introducción al modelo CMMI. (2006).

NC ISO/IEC, 1.-1. (2001). *Ingeniería de Software- Calidad del producto. Parte 1: Modelo de calidad (Norma cubana).* Publicada por la ISO.

Olalde, K. Tema 5. Introducción a la Gestión del Tiempo del Proyecto. s.l. : Departamento de Expresión Gráfica y Proyectos de Ingeniería.

Park, Goethert, Florac. 1996. *Goal Driven Software Measurement-A Guidebook,*. Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University : s.n., 1996. Vols. CMU/SEI 96-BH-002
PMI. 2004. *Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos(Tercera Edición).* s.l. : Norma Nacional Americana, 2004. ANSI/PMI 99-001-2004 .s.l..

Pressman, Roger S. 2005. *Ingeniería del software, parte 1, (Un enfoque practico)*. 5ta. La Habana : Felix Varela, 2005.

Ragland, B. Marzo, 1995. Measure, Metric or Indicator: What's the difference? Crosstalk. Marzo, 1995. págs. 29-30. Vol. 8.

TenStep. 2008. TenStep. [En línea] 2008. [Citado el: 26 de febrero de 2009.] www.latam-tenstep.com.

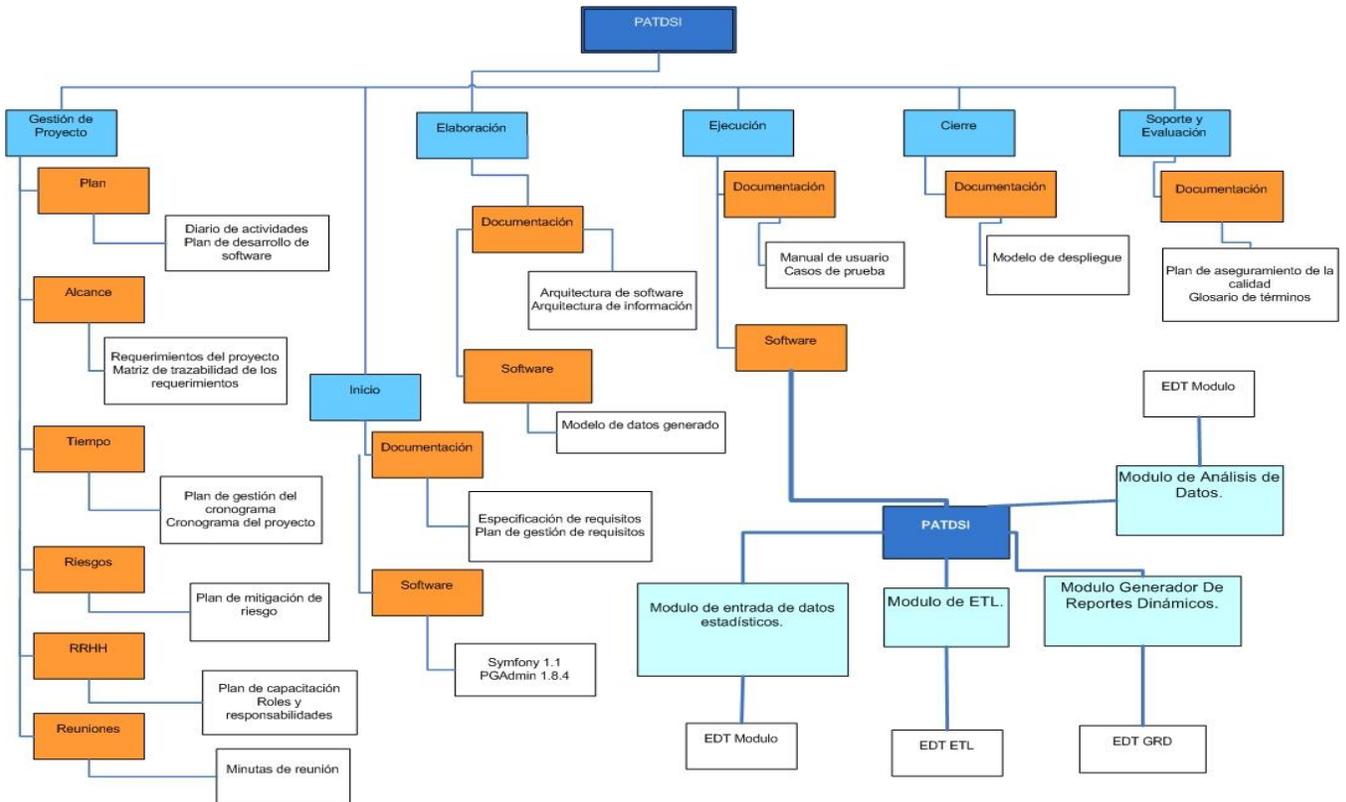
Wilkens. 1999. *Earnerd Value, Clear and Simple*. s.l. : Sitems, Primavera, 1999. pág.

ANEXOS.

Anexo1: Aspectos que deben estar asociados a una métrica propuesta por (NC ISO/IEC, 2001).

Nombre de la métrica.	La métrica se propone medir (Pregunta).	Método de Medición.	Medición (Fórmula).	Tipo de medida (Cualitativa o Cuantitativa).	Interpretación del valor obtenido.
-----------------------	-----------------------------------------	---------------------	---------------------	----------------------------------------------	------------------------------------

Anexo 2: EDT del proyecto PATDSI.



GLOSARIO DE TÉRMINOS.

Cronograma: Proviene del griego (kronos) tiempo, (gramaas) actividad (Freelang(Griego)) y que consiste en una lista de todos los elementos terminales de un proyecto con sus fechas previstas de comienzo y final.

EDT: (TenStep, 2008)La EDT es una técnica para mirar al proyecto a alto nivel y subsecuentemente descomponer el trabajo en piezas más y más pequeñas hasta que pueda tener la imagen completa del trabajo que necesita ser ejecutado. En su mayor parte, la técnica de Estructura de Descomposición del Trabajo puede siempre ser usada como punto de inicio para crear un cronograma desde cero.

Equipo: Equipo de software. Dos personas o más que trabajan para lograr una meta, objetivo o misión común, donde cada individuo tiene asignado un rol específico y donde el completamiento de la misión depende de los miembros del equipo.

Gestión de Proyectos: (PMI, 2004) Se considera la aplicación de conocimientos, habilidades, técnicas y herramientas dentro de un proyecto para definir los requerimientos del mismo. Integra los procesos de Inicio, Planificación, Ejecución, Seguimiento y Control y Cierre.

Gestión del Tiempo: (PMI, 2004) Es el área de conocimiento de la dirección de proyectos de software que incluye los procesos necesarios para lograr la conclusión del proyecto a tiempo, estos procesos interaccionan entre sí y también con los procesos de las demás áreas de conocimiento. Cada proceso puede implicar el esfuerzo de una o más personas o grupos de personas, dependiendo de las necesidades del proyecto.

Hito: (Kplato, 2009) Un hito es un evento planificado de vital importancia para la culminación de una entrega o de una serie de entregas relacionadas (que suelen marcar el final de un período). Un hito es una actividad con duración cero y sin esfuerzo es decir no hay trabajo asociado con un hito. Es una marca en el plan de trabajo para indicar que ya se ha terminado alguna parte del trabajo.

Holgura libre: Es lo que puede retrasarse una tarea sin que afecte a las fecha de comienzo de las de las tareas sucesoras. (Esterkin, 2007)

Holgura total: Es lo que puede retrasarse una tarea sin que afecte a la duración del proyecto. (Esterkin, 2007)

IEEE: (IEEE Software Engineering Standars, Std. 610.12, 1990) Asociación técnico-profesional mundial dedicada a la estandarización, entre otras cosas. Es la mayor asociación internacional sin fines de lucro formada por profesionales de las nuevas tecnologías, como ingenieros eléctricos, ingenieros en electrónica, científicos de la computación e ingenieros en telecomunicación. Se creó en 1884.

ISO: (Internacional Organización for Standardization) Es la Organización Internacional para la Normalización; responsable para la normalización a escala mundial. ISO está formado por distintos comités técnicos, cada uno de los cuales es responsable de la normalización para cada área de especialidad. El propósito de ISO es promover el desarrollo de la normalización para fomentar a nivel internacional el intercambio de bienes y servicios y para el desarrollo de la cooperación en actividades económicas, intelectuales, científicas y tecnológicas. El resultado del trabajo técnico dentro de ISO se publica en forma final como normas internacionales.

Indicador: (Pressman, 2005)(Ragland, Marzo, 1995).Es una métrica o una combinación de métricas que proporcionan una visión profunda que permite al gestor de proyectos o a

los ingenieros de software ajustar el producto, el proyecto o el proceso para que las cosas salgan mejor .

Madurez: (Maturity, ISO 9126) Subcaracterísticas de fiabilidad, que indica la frecuencia con que ocurren los fallos.

Medida: (Pressman, 2005) Proporciona una indicación cuantitativa de extensión, cantidad, dimensiones, capacidad y tamaño de algunos atributos de un proceso o producto.

Métrica: Medida o medición. La continua aplicación de técnicas basadas en la medición al proceso de desarrollo de software y a sus productos para proveer información administrativa significativa y oportuna, junto con el uso de esas técnicas para mejorar el proceso y sus productos.

Planificación: (Kplato, 2009) La planificación es el proceso de crear el calendario de un proyecto en base a los datos del proyecto como tareas, recursos y calendarios.

Producto de software: (IEEE-12207) Es el conjunto de programas de computadora, procedimientos, documentación y datos, asociados.

Proyecto: (PMI, 2004) un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. El término *temporal* se refiere a que cada proyecto define un comienzo y un final al cual se llega cuando se han cumplido todos los objetivos del proyecto o cuando queda claro que no se han alcanzado o no se alcanzarán los objetivos. Además un proyecto crea servicios productos o resultados únicos mediante una elaboración gradual, lo que significa que se va desarrollando en pasos el proyecto y este va aumentando cada vez (PMI, 2004).

Proyecto de Software: En términos estrictamente económicos, es una unidad económica que reúne una serie de factores de producción: recursos humanos, tecnológicos (o de capital) y financieros (que posibilitan la adquisición de los anteriores), y los utiliza para producir bienes y/o servicios de software, que vende a personas individuales, a otras empresas y/ o a las administraciones públicas.

Recurso: (Kplato, 2009) Un recurso es un elemento necesario para completar una tarea. Los recursos pueden ser personas, equipos, instalaciones, dinero o cualquier otra cosa necesaria para realizar el trabajo del proyecto. Los recursos pueden tener una disponibilidad temporal limitada.

RUP: (Racional Unified Process) El Proceso Unificado de Desarrollo Software o simplemente Proceso Unificado es un marco de desarrollo software iterativo e incremental. El refinamiento más conocido y documentado del Proceso Unificado es el Proceso Unificado de Rational o simplemente RUP.

Tarea: (Kplato, 2009) Una tarea es parte de un proyecto que se tiene que realizar en un período de tiempo definido. Las tareas se pueden enlazar para crear Dependencias.