

IR-SIXSIGMA: Mejora de Calidad en Ingeniería de Requisitos Mediante la Aplicación de Metodología Six-Sigma.

Nahur Meléndez Araya¹, Vianca Vega Zepeda¹, José Gallardo Arancibia¹, Claudio Meneses Villegas¹.

¹ Universidad Católica del Norte, Departamento Ingeniería de Sistemas y Computación; Av. Angamos 0610, Antofagasta, Chile

nmelende@gmail.com, vvega@ucn.cl, jgallardo@ucn.cl, cmeneses@ucn.cl

Resumen. Disponer de un documento que considere requisitos de calidad, es fundamental para asegurar que el producto de software que se planifica construir, satisfaga eficazmente las necesidades del cliente. Si se considera que un requisito de calidad, debe ajustarse a lo que establece el estándar IEEE 830, su valor de adecuación a las necesidades del usuario dependerá del grado de cumplimiento de dicho estándar. Six-Sigma reconoce que existe una correlación directa entre el número de productos defectuosos, las pérdidas operacionales y el nivel de satisfacción de los clientes. En este artículo, se propone la aplicación de Six-Sigma al proceso de Ingeniería de Requisitos (IR), centrado en el mejoramiento de la calidad mediante la comprensión y la reducción de la variación del proceso de educación de requisitos, con lo cual se espera alcanzar un proceso de IR, con un nivel de calidad que se aproxime al ideal de cero-defectos. Para la aplicación de Six-Sigma al proceso de Ingeniería de Requisitos, sus agentes de cambio, deberán adaptarse y dimensionarse de acuerdo a los perfiles de los participantes que intervienen en el desarrollo de productos de software. Además, se requerirá del uso intensivo de herramientas estadísticas para eliminar la variabilidad de los requisitos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente aplicando técnicas de IR en conjunto con las de calidad tradicional y Gestión de Calidad Total (TQM).

Palabras claves: Ingeniería de Requisitos (IR), Six-Sigma (6σ), Calidad del software, Repertory Grid. IR-SIXSIGMA.

1. Introducción

Las actividades del proceso de ingeniería de requisitos, (IR) son las más importantes en el proceso de desarrollo de software, debido a que una validación y corrección temprana de los requisitos de usuario, evita muchos de los problemas asociados al desarrollo de software (proyectos fuera de plazo, fuera de presupuesto, inconclusos, con clientes insatisfechos, altos costos de mantenimiento) [1].

The Standish Group [2], informa que el tiempo extra que toman los proyectos de adquisición, que el año 1995 llegaba a 222%, en el 2000 disminuyó a 63%. Por otro lado, el costo extra en presupuesto, se redujo de 189%

en 1995 a 45% en el 2000, sin embargo estas cifras aun siguen siendo significativas y preocupantes.

En un primer estudio The Standish Group [3], identificó, tres factores que más influyen en el éxito de los proyectos: el involucramiento de los usuarios, el soporte de gestión ejecutiva, y una declaración clara de los requisitos. Con el tiempo, estos factores se han modificado, y es así como en el año 2000 definieron, en orden de relevancia, los siguientes: Soporte Ejecutivo; Involucramiento del usuario; y la Experiencia en la Gestión de Proyectos; entre otros [2].

Una estrategia primordial para evitar los problemas anteriores y desarrollar productos de calidad, es tener en cuenta que la calidad de los productos está íntimamente

ligada con la calidad de los procesos utilizados para desarrollarlos. Entonces se hace evidente que para incrementar la calidad de los productos, las empresas de desarrollo de software deben implementar proyectos para la mejora de sus procesos de software.

Las empresas de software tienen serios problemas de madurez en sus procesos de desarrollo [4], incluso algunas llegan a considerar como aceptables ideas como: *“un proyecto de mejora supone gran inversión en dinero, tiempo y recursos, además de la alta complejidad de las recomendaciones y que el retorno de la inversión se produce a largo plazo”* [5,6].

La calidad es un tema complejo como lo señalan Kitchenham y Pfleeger [7] y existen diversas formas de abordarlo. Un enfoque interesante y muy influyente, presentado por Garvín, es la visión de la calidad desde cinco perspectivas [8]:

- a) La visión trascendental que puede ser reconocida pero no definida.
- b) La visión del usuario como la adecuación al propósito del usuario.
- c) La visión del productor como conformidad con la especificación.
- d) La visión del producto, basada en las características observables del producto.
- e) La visión basada en el valor que el cliente está dispuesto a pagar.

La propuesta que se presenta en este artículo, trata de incorporar todas estas visiones, con mayor énfasis en la visión del usuario.

La calidad del producto se ha venido tratando desde hace varios años, siendo los primeros modelos desarrollados por McCall [9] y Boehm [10]. Lamentablemente, para cada proyecto se adoptaban como base modelos de calidad diferentes, haciendo difícil la comparación de los resultados. Con la publicación de la primera edición del estándar internacional ISO/IEC 9126 en 1991 [11] se pudo aspirar a tener un modelo base para ser utilizado como referencia en los trabajos a realizar.

La obtención de una especificación de requisitos de alta calidad es fundamental para asegurar que el software se corresponde con las necesidades del cliente [12, 13, 14]. Sin embargo, obtener una especificación de requisitos de calidad es difícil. Se considera que un requisito es de calidad si se ajusta a lo que establece el estándar IEEE

830 [15]: correcto, no ambiguo, completo, consistente, se indica su grado de importancia y/o estabilidad, verificable, modificable, trazable.

El presente trabajo plantea una propuesta para la aplicación de Six-Sigma al proceso de Ingeniería de Requisitos (IR). El objetivo final es incorporar aspectos cuantitativos que permitan determinar la calidad de los productos intermedios generados en la etapa de requisitos, en especial la calidad de la Especificación de Requisitos de Software (SRS), de manera tal de asegurar la calidad del producto final que será liberado al cliente. En esta primera etapa, se analiza la adecuación y adaptación del Six-Sigma al proceso de IR, y la identificación de los roles participantes en esta aplicación.

2. Costo de la Calidad

En general y de manera ideal, el costo de la calidad puede ser definido en cuatro categorías: fallas internas, fallas externas, aseguramiento y prevención [16].

- a) **Fallas Internas: desperdicios (scrap)**, Se puede apreciar su efecto en menores niveles de adecuación de los requisitos a las necesidades de los usuarios y largos tiempos dedicados a las tareas de educación de los mismos.
- b) **Fallas Externas:** Costo para el cliente (debido a los defectos), costos de garantía y servicio, ajustes por inadecuación y Documentos de Requisitos no Validados por los stakeholders.
- c) **Aseguramiento:** Inspección. Pruebas y ensayos, auditorías de calidad a las tareas de educación, análisis y modelado de requisitos de usuario.
- d) **Prevención:** Planeación de calidad. Planeación y control del proceso de ingeniería de requisitos y entrenamiento.

Se deben considerar también los costos asociados a los esfuerzos y programas de mejoramiento de calidad, así como los costos de oportunidad de producir más, con los mismos activos y menos recursos (dedicados a corregir defectos y apagar incendios). Siendo lo más difícil de estimar el costo por pérdida de la lealtad de los clientes y pérdida de ventas, por mala calidad.

En muchas organizaciones promedio el costo de entregar productos y servicios puede alcanzar hasta el 40% de los ingresos [16]. Habitualmente, las organizaciones sólo miden y toman en consideración

para sus costos de calidad los siguientes elementos: Desperdicios (scrap), Gastos de garantía, Costos de inspección, Sobretiempo.

Lo anterior excluye aspectos de suma importancia que no se toman en cuenta o que los sistemas tradicionales no son capaces de manejar, como los siguientes: Incremento en los costos de mantenimiento, Pérdida de ventas, Insatisfacción de los clientes, Pérdida de tiempo, Errores en ingeniería y elicitación de requisitos, Errores en Documentos de Requisitos, Documentos de Requisitos no Validados por los stakeholders.

3. El Enfoque Six - Sigma.

Six-Sigma es una estrategia de mejora de procesos, que puede ser visto como una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, introducida por Motorola en los años 80's, que ha sido ampliamente difundida y adoptada por otras empresas de clase mundial [16]. Se basa en el enfoque hacia el cliente, en un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos, que permite eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 defectos por millón [16]. Adicionalmente, otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y más importante aún, efectos dramáticos en el desempeño financiero de la organización.

La misión del Six-Sigma es proporcionar la información adecuada para ayudar a la implementación de la máxima calidad del producto o servicio en cualquier actividad, así como crear la confianza y comunicación entre todos los participantes.

Un estudio elaborado en 1997 [17] demostró que las mejores compañías en su clase tienen los niveles de calidad seis sigma (6σ). Una compañía que no utiliza Six-Sigma, gasta en promedio 10% de sus ganancias en reparaciones (externas e internas), en cambio una compañía que la aplica gasta en promedio solo un 1% [16]. Para alcanzar seis sigma (6σ), se deben utilizar ciertos modelos y estándares (Control de Calidad Total, cero defectos, ISO-9000, entre otros). La metodología Six-Sigma permite hacer comparaciones entre negocios, productos, procesos y servicios similares o distintos. Proporciona herramientas para conocer el nivel de calidad de la empresa y al mismo tiempo provee dirección con respecto a los objetivos de crecimiento de la empresa [16].

La Tabla 1, muestra las principales diferencias entre el enfoque de calidad tradicional y Six-Sigma.

Tabla 1. Calidad Tradicional v/s Six- Sigma [16].

Calidad Tradicional	Six - Sigma
Centralizada	Descentralizada
Estructura rígida y enfoque reactivo	Estructura para la detección y solución de los problemas y enfoque proactivo
No hay una aplicación estructurada de las herramientas, uso localizado y aislado	Uso estructurado de las herramientas de mejora
Se toman decisiones con poca información y mucha intuición	Toma de decisiones sobre datos precisos y objetivos
Sólo se corrige en vez de prevenir	Se observa la causa raíz del problema para llegar a soluciones sólidas y prevenir repetición

En general, los procesos estándares tienden a comportarse dentro del rango de tres sigma (3σ), lo que equivale a un número de defectos de casi 67.000 por millón de oportunidades (DPMO), esto significa un nivel de calidad de apenas 93,32%, en contraposición con un nivel de 99,9997% para un proceso de seis sigma (6σ). Comparativamente, un proceso de tres sigma (3σ) es 19.645 veces más malo (produce más defectos) que uno de seis sigma (6σ) [16].

El objetivo de Six-Sigma es obtener la menor cantidad de defectos, tratando de llegar a casi cero defectos. La media es el indicador que permite conocer el punto central del proceso de variación, que indica que en el punto donde la variación es igual a cero, no se presenta alguna alteración del proceso. El área bajo la curva indica los niveles y valores, con porcentajes de confiabilidad diferentes, que van desde 69,2% (nivel 1) hasta 99,9997% (nivel 6). Cabe destacar que generalmente las empresas CMMI nivel 3, tienden a comportarse dentro del rango de cuatro sigma (4σ), de la misma forma las empresas CMMI nivel 5 son cinco sigma (5σ) [18].

4. IR-SIXSIGMA: Six-Sigma en Ingeniería de Requisitos.

IR-SIXSIGMA es una propuesta para la aplicación de Six-Sigma a IR, la cual requiere del uso intensivo de

herramientas estadísticas (en su mayoría) para eliminar la variabilidad de los requisitos y producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente. Esto contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad en IR, al inspeccionar *post-mortem* y tratar de corregir los defectos una vez producidos.

Six-Sigma reconoce que existe una correlación directa entre el número de productos defectuosos, las pérdidas operacionales y el nivel de satisfacción de los clientes. En este contexto, se espera que la aplicación de IR-SIXSIGMA, traiga los siguientes beneficios al proceso de desarrollo de software [16]: Simplificar Procesos, Mejorar la Calidad, Eliminar Defectos, Eliminar Reprocesos, y Aumentar la Rentabilidad.

El enfoque IR-SIXSIGMA, se centrará principalmente en la comprensión y la reducción de la variación de los requisitos obtenidos. Si se considera, que los procesos de desarrollo de software son confusos, y su producción es menos predecible que la fabricación de piezas físicas, una mayor variación en los procesos cognitivos humanos puede dificultar la aplicación rigurosa de la metodología Six Sigma en la obtención, análisis y modelado de requisitos. Esto traería como consecuencia que los procesos de variación no puedan ser eliminados, o que incluso no puedan reducirse por debajo de un nivel moderado. Trayendo como resultado que no se puedan medir de forma clara los ahorros obtenidos. Sin embargo, aun así, se obtendrían algunos beneficios como la reducción del riesgo, mayor satisfacción del cliente, y aumento de la competitividad de las ofertas.

4.1 Variabilidad de los Requisitos

La variación en los procesos y la no adecuación de los requisitos a las necesidades reales de los clientes (internos como externos) y usuarios, constituye una de las fuentes principales de insatisfacción, si se encuentra su causa raíz y se elimina, los clientes sentirán la diferencia.

Dado que IR-SIXSIGMA aplica un enfoque cuantitativo, se debe identificar una forma de medir la variación en los requisitos, determinando el *rango* de las mediciones: es decir, la diferencia entre el *valor de adecuación* más alto y el valor más bajo de los requisitos (a mayor adecuación, mayor calidad). La mayor dificultad de esto, es definir índices que permitan representar de manera apropiada la adecuación de los requisitos, en

primera instancia se pueden ver como candidatos, los siguientes indicadores:

- ❖ La cantidad de veces que se modifica el Documento de Especificación de Requisitos (SRS).
- ❖ Número de iteraciones necesarias para estabilizar los requisitos.
- ❖ Porcentaje de cambio de la SRS en cada iteración.
- ❖ Porcentaje de requisitos correctos en relación al total de requisitos incluidos en una versión de la SRS.

Si bien el rango de estos indicadores puede ser fácil de calcular, algunas veces puede llevar a conclusiones erróneas, dado que sólo considera los valores extremos. La mejor herramienta disponible es la desviación estándar, ya que considera la variación de cada una de las mediciones alrededor de la media de la muestra.

La obtención de requisitos con un bajo nivel de adecuación a las necesidades del usuario y con una alta variación, repercuten en un catálogo de requisitos ambiguos, que no describe con precisión el sistema de información, ni se ajusta a los requisitos de usuario. Por lo que se necesitará un mayor número de iteraciones del proceso de IR, para elaborar Documentos de Requisitos Validados, que contienen las necesidades y restricciones del producto, lo suficientemente completos como para poder continuar con el proceso de desarrollo.

4.2 Estrategia para mejorar la Calidad

Uno de los primeros objetivos a trabajar, para obtener una mejora del proceso de ingeniería de requisitos, es identificar aquellos factores que inciden en la calidad del producto. Es posible, en términos generales, acometer este proceso tomando en consideración los siguientes elementos:

i) Identificación de los Costos de Mala Calidad.

Se deben identificar y cuantificar todas aquellas actividades que no aportaron valor o que provocaron desperdicios (de recursos, tiempo, dinero, etc.), debido a la mala calidad de los requisitos obtenidos o a procesos de educación inadecuados. Como consecuencia, el costo de la mala calidad (**COPQ**) se debe establecer como una medida de desempeño y un agente de cambio cultural y organizacional, teniendo una dimensión financiera relativa a la calidad y al progreso de mejora del proceso de ingeniería de requisitos, cuantificando efectivamente el valor de la calidad y de la mejora.

ii) Análisis de los Elementos Responsables de los Costos (Drivers).

Se deben determinar aquellas Metodologías, Técnicas y Herramientas de IR (propias o adaptadas para cada organización), que permitan obtener en un mínimo de iteraciones, Documentos de Requisitos Validados, y así, incrementar los beneficios, reducir costos e incrementar la satisfacción de los clientes. En general, se deben identificar las causas raíz de los costos de la mala calidad, determinando el impacto financiero de las mismas y desarrollando análisis de costo-beneficio para identificar los cambios a emprender.

iii) Selección y Planificación de los Cambios.

Se deben seleccionar aquellas Metodologías, Técnicas y Herramientas de Ingeniería de Requisitos que permitan la mejora del proceso y de su calidad, estableciendo una planeación para la adecuada asignación de los recursos y de los compromisos relativos a cada una de ellas. En lo posible, se deben ordenar y utilizar las Metodologías, Técnicas y Herramientas de manera de obtener requisitos con un alto nivel de adecuación a las necesidades del usuario, en un número mínimo de iteraciones, y así incrementar la satisfacción de los clientes, la rentabilidad financiera y la competitividad de la organización, eliminando los problemas inter funcionales, pero a la vez estableciendo expectativas realistas de requisitos de recursos.

iv) Monitoreo y Seguimiento.

Se debe garantizar que se han tomado las acciones pertinentes (y correctas) para eliminar las causas raíz de la mala calidad y evaluar las mejoras resultantes en los beneficios y la competitividad de la organización. Se debe informar efectiva y oportunamente los logros financieros (y no financieros) obtenidos a la alta gerencia, evaluando el progreso y determinando el retorno (payback) derivado del progreso de mejora de los procesos y de la calidad.

v) Planificación Estratégica.

Como una manera de obtener más y mejores logros, se debe utilizar y administrar de manera inteligente los factores críticos de éxito, enlazando la visión, metas y objetivos de mejora con el éxito del negocio, identificando las oportunidades, amenazas, fortalezas y

debilidades de la organización de manera de desarrollar una estrategia de mejora efectiva, estableciendo un sistema coordinado de indicadores de la gestión de mejora de los procesos, de la calidad y del negocio.

4.3 Perspectiva de Six-Sigma

Six-Sigma es una metodología rigurosa que utiliza herramientas y métodos estadísticos, para **Definir** los problemas y situaciones a mejorar, **Medir** para obtener la información y los datos, **Analizar** la información recolectada, **Mejorar** crear ideas e implementar métodos de mejoramiento y finalmente, **Controlar** o rediseñar los procesos o productos existentes, con la finalidad de alcanzar etapas óptimas, lo que a su vez genera un ciclo de mejora continua [16] (ver Figura 1).

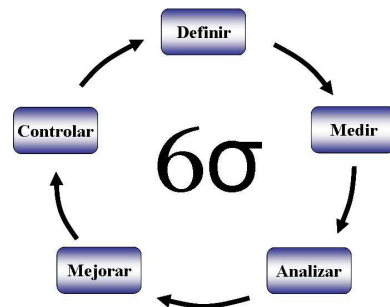


Fig 1. Esquema DMAMC [19]

IR-SIXSIGMA, en general seguirá este esquema **DMAMC**; sin embargo, en algunas situaciones será preferible incorporar otras etapas adicionales, tales como: **Reconocer** la situación o problema, **Estandarizar** los nuevos procesos en toda la organización, y finalmente, **Integrar** los cambios o soluciones a toda la organización.

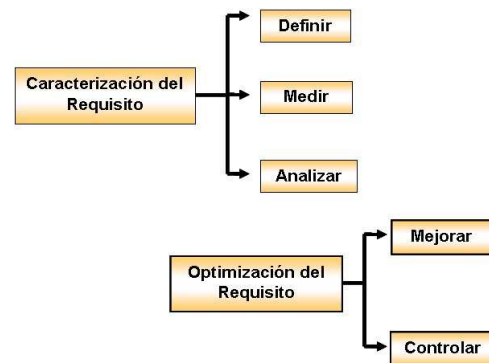


Fig 2. Aplicación del esquema DMAMC-6σ a IR.

La *Figura 2* muestra la propuesta inicial de la aplicación del esquema **DMAMC** de Six-Sigma al proceso de ingeniería de requisitos. En cada una de estas etapas, se hará uso de las diferentes herramientas de calidad así como de metodologías, técnicas y herramientas de IR, además de cualquier otra que sea de utilidad para la realización de alguna etapa en particular.

i) Herramientas Utilizadas

Dentro del conjunto de herramientas a utilizar para soportar *IR-SIXSIGMA*, se encuentran casi todas las conocidas en el mundo de la calidad tradicional y TQM. Por otro lado, también será necesaria la aplicación de técnicas de ingeniería de requisitos.

La Tabla 2, muestra las técnicas más conocidas de IR y TQM que pueden ser de utilidad para complementar los datos de salida, además de ser útiles para alcanzar el entendimiento del negocio y la obtención de los requisitos necesarios para el sistema.

Tabla 2. Herramientas IR-SIXSIGMA.

Ingeniería de Requisitos	Six – Sigma / TQM
❖ Entrevistas	❖ CIP, Proceso de Mejora Continúa
❖ Cuestionarios	❖ Diseño/ Rediseño de Procesos.
❖ JAD: Joint Application Design .	❖ Análisis de Varianza, ANOVA
❖ Brainstorming: Lluvia de Ideas	❖ Cuadro de Mando Integral, BSC.
❖ Prototipos	❖ La Voz del Cliente, VOC.
❖ Casos de Uso	❖ Pensamiento Creativo.
❖ AHP: Analytic Hierarchy Process	❖ Diseño de Experimentos, DoE.
❖ Sistemas Existentes	❖ Gerencia de los Procesos.
❖ Estudio de Documentación	❖ Control Estadístico de Procesos, SPC.
❖ Análisis Estructural de Textos	
❖ Análisis de Protocolos	
❖ Repertory Grids	
❖ Laddering	
❖ Card Sorting	

Al igual que en el caso de los modelos del proceso de Ingeniería de Requisitos, no existe una técnica única que se pueda aplicar en las diferentes actividades en que se divide *IR-SIXSIGMA*, ni que sea la única herramienta para ser aplicada a los diversos tipos de proyectos, naturaleza y características de los

innumerables tipos de organizaciones. Generalmente se opta por utilizar una combinación de técnicas en función del tipo de organización, costos involucrados, personal disponible, disponibilidad de tiempo, tipo de proyecto o actividad en que se divide el proceso de *IR-SIXSIGMA*.

ii) Elementos Claves

Los elementos claves que soportan la filosofía Six-Sigma y que aseguran una adecuada aplicación de las herramientas, así como el éxito de esta iniciativa como estrategia de negocios, son los siguientes.

- ❖ Identificación de los elementos Críticos para la Calidad (**CTQ**), de los **Clientes Externos**.
- ❖ Identificación de los elementos Críticos para la Calidad (**CTQ**), de los **Clientes Internos**.
- ❖ Realización de los análisis de los modos y efectos de las fallas (**FMEA**)
- ❖ Utilización del Diseño de Experimentos (**DoE**), para la identificación de las **Variables Críticas**.
- ❖ Hacer **Benchmarking** permanente y establecer los objetivos a alcanzar, sin ambigüedades.

IR-SIXSIGMA, considera como **Clientes Externos** a los **Stakeholders** del proyecto. Por otro lado, debido a que el objetivo principal de un proceso de *IR*, es elaborar Documentos de Requisitos Validados, los **Clientes Internos** serán todos los involucrados en las etapas siguientes del **proceso de desarrollo de software**. La utilización de **DoE** aportará información complementaria (especialmente restricciones) al modelamiento inicial del SW.

Del mismo modo, la información debe ser complementada mediante la realización de herramientas como *Quality Function Deployment*, *Checklist* y *Matrices de dependencias entre Requisitos*.

4.4 Determinando los Niveles de Adecuación.

Como se ha comentado anteriormente, uno de los principales desafíos de la aplicación de la estrategia six-sigma al proceso de ingeniería de requisitos es la manera de determinar el *valor de adecuación* de dichos requisitos a las necesidades del usuario (a mayor adecuación, mayor calidad). Algunos trabajos realizados como [20], nos entregan un punto de partida para encontrar una manera de determinar los niveles de adecuación de los requisitos en base a los indicadores

propuestos en las secciones anteriores. “La Teoría de Constructos Personales (TCP)” [20] es una de las teorías psicológicas más completas que tratan este tema.

Para conocer el repertorio de constructos mediante el cual las personas construyen su entorno, Kelly elaboró [20] una técnica conocida como “test de repertorios de constructos de roles” (Rep-Test, Test de la Rejilla, Repertory Grid o grilla). La cual resulta práctica, ya que permite relacionar constructos con elementos por medio de una matriz o grilla y obtener nuevo conocimiento, crear reglas entre constructos, o determinar similitud entre ellos. Aplicando la técnica del *Repertory Grid a IR-SixSigma* se obtienen niveles de similitud (adecuación) que relacionan constructos con los requisitos elicitados. Por tanto, lo primero que se debe hacer es determinar que conceptos se van a utilizar como constructos, recordando que aquello que se quiera relacionar debe ser considerado un constructo, puesto que lo que se va a obtener son relaciones entre constructos, así como el *valor de adecuación* de un requisito determinado con dicho constructo. .

Si se considera que un requisito de calidad se debe ajustar a lo que establece el estándar IEEE 830 [15], y que su *valor de adecuación* a las necesidades del usuario depende directamente del grado de cumplimiento a lo establecido en dicho estándar. Los constructos corresponderán de esta forma a las características establecidas en el estándar IEEE 830, tales como *Correcto/Incorrecto, Inequívoco/Ambiguo, Consistente/Débil*, etc.

Por lo anterior el **polo nominal o de semejanza de los constructos dicotómicos** a utilizar, se estructura de la siguiente forma:

- ❖ **Correcto**, si, y sólo si, cada requisito declarado se encuentra en el producto
- ❖ **Inequívoco**, si, y sólo si, cada requisito declarado tiene sólo una interpretación. debe ser inequívoco para aquéllos que lo crean y para aquéllos que lo usan
- ❖ **Completo**, si, y sólo si, están relacionados con la funcionalidad, el desarrollo, las restricciones de diseño, los atributos y las interfaces externas
- ❖ **Consistente**, si, y sólo si, ningún subconjunto de requisitos individuales genero conflicto en él.

- ❖ **Importante**, si, y sólo si, él tiene un identificador para indicar la importancia que lo relaciona al producto (esencial o deseable).
- ❖ **Estable**, si, y sólo si, el numero de cambios realizados o que se espera realizar es mínimo.
- ❖ **Comprobable**, si, y sólo si, allí existe algún proceso rentable finito con que una persona o la máquina puede verificar que el producto reúne el requisito
- ❖ **Modificable**, si, y sólo si, su estructura y estilo son tales que puede hacerse cualquier cambio fácilmente, completamente y de forma consistente conservando la estructura y estilo
- ❖ **Identificable**, si, y sólo si su origen está claro y facilita sus referencias en el desarrollo futuro o documentación del mismo, debiendo ser tanto Identificable Dirigido Hacia Atrás, como Identificable Dirigido Hacia Adelante

Por otro lado, el **polo de contraste** estará compuesto por: Incorrecto, Ambiguo, Incompleto, Débil, Intrascendente, Inestable, No Comprobable, No Cambiable, No Reconocible

Los constructos a utilizar serán del tipo multivaluados (1-9) en donde **9** es la máxima aproximación al **polo nominal** y por su parte **1** su homologo al **polo de contraste**. De esta forma se obtendrán los niveles de adecuación que poseen cada uno de los requisitos elicitados: **Verde (7-9), Naranja (4-6) y Rojo (1-3)**. (Tabla 3).

Tabla 3. Ejemplo de aplicación a IR-SIXSIGMA.

		REQUERIMIENTOS				
		R1	R2	R3	R4	
CONSTRUCTOS	Correcto	3	8	2	9	Incorrecto
	Inequívoco	3	7	2	9	Ambiguo
	Completo	2	6	1	9	InCompleto
	Consistente	6	5	2	8	Débil
	Importante	8	9	9	9	Intrascendente
	Estable	7	9	3	8	Inestable
	Verificable	2	9	3	8	No Comprobable
	Modificable	1	7	4	9	No Cambiable
	Identificable	2	9	4	9	No Reconocible
	Trazable	1	9	4	8	No Trazable

La técnica que se aplica en este enfoque es netamente estadística, analizando principalmente como indicadores rangos y desviación estándar. Se pueden distinguir dos características de la aplicación de la grilla: la precisión y el grado de verdad (el grado de confirmación) que permiten tener una idea del nivel de adecuación de los

requisitos elicitados a las necesidades del usuario, en base a la obtención de un catálogo de requisitos (con un mínimo de iteraciones) con un nivel de calidad que se aproxime al ideal del cero-defectos

4.5. Agentes y Roles IR-SIXSIGMA

El objetivo es determinar cuáles son los *stakeholders* involucrados en el logro de metas, una vez que las metas y *stakeholders* son especificados, las metas pueden ser asignadas a su(s) agente(s) responsable(s). Múltiples *stakeholders* pueden estar asociados con una misma meta. Los agentes son los responsables del cumplimiento y/o satisfacción de las metas.

De la misma forma, en que los elementos claves de Six-Sigma deben ser asociados a IR. Para la aplicación de Six-Sigma al proceso de ingeniería de requisitos, los **Champions, Master Black Belts, Black Belts y Green Belts** de Six-Sigma, deberán adaptarse y dimensionarse de acuerdo con los perfiles de los participantes que intervienen en el desarrollo de Sistemas de Información de cada proyecto. Es por ello que se ha optado por establecer una serie de perfiles en los que se encuadran la totalidad de los participantes. Estos perfiles se adecúan de forma natural con los elegidos para el Plan de Formación y la herramienta de autoformación en MÉTRICA Versión 3 [21]. Se considera que esta es una clasificación en la que se pueden resumir las funciones y responsabilidades de los participantes, ya que en la mayoría de los casos intervienen en los mismos procesos principales definidos en MÉTRICA Versión 3¹ y en Six-Sigma (ver Tabla 4).

Tabla 4. Perfiles Six-Sigma- MÉTRICA v3

SIX SIGMA	MÉTRICA v3
Champions	Perfil Directivo
Master Black Belts	Perfil Consultor
Black Belts	Perfil Jefe de Proyecto
Green Belts	Perfil Analista

¹ Se excluye el Perfil Programador, dado que la participación y funciones de los programadores son concretas y limitadas a los procesos de Construcción y Mantenimiento de Sistemas de Información, y debido a que el perfil de Programador no participa en los procesos de elicitación, análisis y modelado de requisitos, no es considerado en esta adecuación de Six Sigma.

Sin embargo, estos roles deben ser ajustados de acuerdo a las características propias de cada proyecto y organización particular en donde se aplicará la estrategia.

i) Perfil Directivo / Champions (Campeones o Maestros) para cada proyecto, cuya labor incluye ser responsables del éxito del proyecto, conseguir y asignar los recursos necesarios, ayudar a romper las fronteras organizacionales y generar incentivos para el equipo del proyecto. Incluye a personas con un nivel alto en la dirección de la organización, conocimiento de los objetivos estratégicos y de negocio que se persiguen y autoridad para validar y aprobar cada uno de los procesos realizados durante el desarrollo del producto. Además deben tener un conocimiento del entorno y de la organización suficiente para proporcionar, a lo largo de todo el proyecto, unos requisitos del Sistema adecuados, completos y suficientemente importantes como para considerarse en el catálogo definitivo de requisitos.

- ❖ Comité de Dirección
- ❖ Comité de Seguimiento
- ❖ Directores de usuarios
- ❖ Usuarios expertos

ii) Perfil Consultor / Master Black Belts (Maestro Cinturón Negro), son personas altamente experimentadas en la realización de proyectos de mejoramiento y que participan como asesores para los equipos de proyectos dentro de la organización. Sus funciones son: identificar y priorizar proyectos, identificar a los miembros integrantes de proyectos, dar soporte a Black Belts y a los equipos, asesorar en cuestiones sobre las que tienen un conocimiento especializado.

- ❖ Consultor
- ❖ Consultor Informático
- ❖ Consultor de las Tecnologías de la Información
- ❖ Consultor de Sistemas de Información
- ❖ Especialista en Comunicaciones
- ❖ Técnico de Sistemas
- ❖ Técnicos de Comunicaciones.

iii) Perfil Jefe de Proyecto / Black Belts (Cinturón Negro o Líder del Proyecto), son personas especializadas en metodologías de mejoramiento de procesos. Entre sus funciones están liderar los equipos de **Green Belts**, seleccionar las herramientas a aplicar en el proyecto, diagnosticar las necesidades de los equipos, gestionar los proyectos, y reportar los resultados de los proyectos. Ejercen labores de coordinación y dirección de equipos humanos especializados en la realización de actividades propias de un proceso. La figura principal es el Jefe de Proyecto, el cual recibe el apoyo de los distintos responsables durante la realización de procesos o determinadas actividades a lo largo del proyecto.

- ❖ Jefe de Proyecto
- ❖ Responsable de Implantación
- ❖ Responsable de Mantenimiento
- ❖ Responsable de Operación
- ❖ Responsable de Sistemas
- ❖ Responsable de Seguridad
- ❖ Responsable de Calidad.

iv) Perfil Analista / Green Belts (Cinturón Verde), son personas que provienen de distintos departamentos y participan activamente en los proyectos, recolectan datos e información, diseñan el proceso de trabajo a ser analizado, identifican causas de errores y plantean e implementan las soluciones, monitorean el nuevo proceso y hacen correcciones. Su responsabilidad es elaborar un catálogo detallado de requisitos que permita describir con precisión el sistema de información, para lo cual mantendrán entrevistas y sesiones de trabajo con los responsables de la organización y usuarios, actuando de interlocutor entre estos y el equipo de proyecto en lo que a requisitos se refiere.

- ❖ Analista
- ❖ Administrador de Bases de Datos
- ❖ Equipo de Arquitectura
- ❖ Equipo de Formación
- ❖ Equipo de Implantación
- ❖ Equipo de Operación
- ❖ Equipo de Seguridad
- ❖ Equipo de Soporte Técnico
- ❖ Equipo de Proyecto

- ❖ Grupo de Aseguramiento de la Calidad.

5. Conclusiones

El éxito de un proyecto de software depende directamente de su capacidad de satisfacer al usuario, y en consecuencia, si sus requisitos no son completamente definidos y documentados, ello puede afectar dicho éxito. Por tanto, es necesario contar con una estrategia que posea un enfoque cuantitativo de la calidad, impulsado por el ahorro en costos y el mejoramiento sustancial del desempeño.

Six-Sigma proporciona información adecuada para ayudar a la implementación de la máxima calidad del producto o servicio en cualquier actividad, así como crear la confianza y comunicación entre todos los participantes, en todas aquellas empresas que estén comprometidas con la satisfacción del cliente mediante la entrega oportuna de productos y servicios, libres de defectos y a costos razonables.

Dependiendo del tipo de organización y el grado de madurez de la empresa, les será más o menos difícil la aplicación de Six-Sigma a sus procesos de IR. Mismo caso de la incorporación y entrenamiento de los diferentes agentes y roles IR-SIXSIGMA.

Como desventaja, se observa que debido a que los procesos de desarrollo de software son confusos, y la producción de software es poco predecible, se puede dificultar la aplicación rigurosa de Six-Sigma en la ingeniería de requisitos.

La propuesta presentada intenta reducir el número de iteraciones necesarias (del proceso de IR), para elaborar un conjunto de documentos de requisitos validados y aprobados por los stakeholders, lo suficientemente completos (necesidades y restricciones) para ser entregados a los involucrados en las siguientes etapas del proceso de desarrollo de software.

Mediante la utilización de una Repertory Grid multivaluada en la que se consideren como constructos lo establecido en el estándar IEEE 830 en base a obtener un requisito de calidad, es posible determinar los niveles de adecuación de los mismos, a las necesidades del usuario.

Al finalizar la propuesta de aplicación, es posible concluir que se ha logrado una adecuación preliminar de Six-Sigma al proceso de ingeniería de requisitos, en base a la reducción de iteraciones de los procesos y a la

maximización de los niveles de adecuación de los requisitos. Las tareas pendientes para poder entregar una propuesta completa y final para la aplicación de Six-Sigma a IR son:

- ❖ Definición de los indicadores e índices que permitan medir la mejora del proceso.
- ❖ Entregar herramientas metodológicas que faciliten la implementación de la propuesta.
- ❖ Implementación de casos de prueba que permitan validar y ajustar la propuesta inicial.
- ❖ Generación de guías de adaptación de la propuesta para distintos tipos de organizaciones y distintos tipos de proyectos.
- ❖ Generación de planes de entrenamiento para cada uno de los perfiles de profesionales involucrados.

Agradecimientos

Al programa de Magíster en Ingeniería Informática del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Católica del Norte, que financia la presente investigación.

Referencias

- [1] A. Davis, K. Jordan, T. Nakajima. "Elements Underlying the Specification of Requirements", *Annals of Software Engineering, Spec. Issue on Software Requirements Engineering*, 3:63-100. 1997.
- [2] The Standish Group, *Extreme Chaos*. 2001.
- [3] The Standish Group. *The Standish Group Report Chaos*. 1995.
- [4] J. Batista, A. Figueiredo. "SPI in very small team: a case with CMM. *Software Process Improvement and Practice*" 5 (4), 243-250. 2000.
- [5] P. Maller, C. Ochoa, J. Silva. "Lightening the software production process in a CMM level 5 framework". *JISBD*. 2004.
- [6] L. Hareton, Y. Terence, "A Process Framework for Small Projects. *Software Process Improvement and Practice*" 6, 67-83. 2001.
- [7] B. Kitchenham, S. Pfleeger, "Software Quality: The Elusive Target", *IEEE Software* 12 (9), January, 1996.
- [8] D. Garvin, "What Does 'Product Quality' Really Mean", *Sloan Management Review* 25(18), Fall 1984.
- [9] J. McCall, "Factor in Software Quality". Vol. I , II, III: Final Technical Report, RADC-TR-77-369, Rome Air Development Center, Air Force System Command, Griffith Air Force Base, NY 1977.
- [10] B. Boehm, "Characteristics of Software Quality", Elsevier North-Holland, 1978.
- [11] ISO/IEC, ISO/IEC 9126:1991 "Information Technology – Software Product Evaluation – Quality Characteristics and Guidelines for their use", Secretaría General de ISO, Ginebra, 1991.
- [12] G. Kotonya, I. Sommerville, "Requirements Engineering. Processes and Techniques". John Wiley & Sons. 1998
- [13] S. Robertson, J. Robertson, "Mastering the Requirement Process", Ed. Addison –Wesley, 1999.
- [14] I. Sommerville, "Ingeniería de Software", 6ta. Edición, Ed. Addison Wesley, 2002.
- [15] IEEE Std 830-1998. "Guide to Software Requirements Specifications (ANSI), in Volume 4: Resource and Technique Standards". 1999, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. IEEE Software Engineering Standards Collection.
- [16] S. Brown, G. Morrinson, "The Introduction to Six-Sigma Methodology", Editorial Trillas, 1991.
- [17] G. López, "Metodología Six Sigma: Calidad Industrial", Instituto de Ingeniería-UABC, 2002.
- [18] R. Hefner, "Using Six Sigma to Improve Systems Engineering", *NDIA Systems Engineering Supportability & Interoperability Conference*, October 2003. J.Dow, J.Pérez: Título del Artículo. *Nombre de la Revista* vol n 23 pp.10-45 (2003)
- [19] R. Hefner, "Using Six Sigma to Improve Systems Engineering", *NDIA Systems Engineering Supportability & Interoperability Conference*, October 2003.
- [20] B. Gonzalez-Baixaui, M. Laguna, J Sampaio do Prado. "Aplicación de la Teoría de Constructos Personales a la Elicitación de Requisitos" 2007.
- [21] MAP. Ministerio de Administraciones Públicas español. "•MÉTRICA v.3. 2000". Disponible en <http://www.map.es/csi>