

Tipo de artículo: Artículo original

Ingeniería de procesos para el desarrollo de software de calidad

Process engineering for the development of quality software

Karina Virginia Mero Suarez^{1*} , <https://orcid.org/0000-0002-5930-6296>

Edwin Joao Merchan Carreño² , <https://orcid.org/0000-0001-7859-9349>

Carlos Renan Mero³ , <https://orcid.org/0000-0002-9154-1245>

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. E-Mail: karina.mero@unesum.edu.ec

² Facultad de Ingeniería, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. E-Mail: edwin.merchan@unesum.edu.ec

³ Facultad de Ingeniería, Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador. E-Mail: carlos.mero@unesum.edu.ec

* Autor para correspondencia: karina.mero@unesum.edu.ec

Resumen

La calidad es el factor más importante para el desarrollo de software, ya que define principalmente la satisfacción del cliente y está directamente relacionada con el éxito de un proyecto de software. Sin embargo, existe una predisposición en las pequeñas y medianas empresas para implementar modelos de calidad de referencia. En este escenario se pueden identificar factores tanto organizacionales, políticos, culturales y económicos que obstaculizan alcanzar los niveles de calidad deseados; sumado a estos se identificaron factores propios de las PyMEs, como el presupuesto, la calidad de los procesos, las herramientas y las tecnologías. En esta investigación se propone una solución al problema planteado, con la implementación de un flujo de trabajo para las prácticas específicas de aseguramiento de la calidad en las PyMEs ecuatorianas.

Palabras clave: pequeñas y medianas empresas, desarrollo de software, CMMI, Ingeniería de procesos.

Abstract

Quality is the most important factor for software development, as it primarily defines customer satisfaction and is directly related to the success of a software project. However, there is a predisposition in small and medium-sized companies to implement benchmark quality models. In this scenario, organizational, political, cultural and economic factors can be identified that hinder reaching the desired quality levels; In addition to these, factors typical of SMEs were identified, such as budget, quality of processes, tools and technologies. This research proposes a solution to the problem raised, with the implementation of a workflow for specific quality assurance practices in Ecuadorian SMEs.

Keywords: small and medium enterprises, software development, CMMI, Process engineering.

Recibido: 18/11/2020

Aceptado: 26/02/2021

Introducción

Los sistemas de software se han vuelto indispensables en el mundo actual, debido a su uso generalizado en casi todos los campos de la vida, especialmente en el comercio, la industria, la medicina, la educación, la ingeniería y la



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

agricultura. La calidad es el factor más importante para el desarrollo de software, ya que define principalmente la satisfacción del cliente y está directamente relacionada con el éxito de un proyecto de software (Akbar et al., 2018). En desarrollo de software requiere de evaluaciones y mejoras continuas durante todo el proceso de desarrollo, para cumplir con las expectativas de las partes interesadas.

La calidad total, es una filosofía de gestión de procesos que supone el involucramiento de todos los miembros de la organización en la búsqueda constante de autosuperación y perfeccionamiento continuo (Chiavenato, 2002). Constituye un nuevo paradigma de gestión, que persigue centrar la estrategia de las organizaciones en dar al cliente productos y servicios de excelencia en el momento que lo necesita, con un precio competitivo, y de la manera más eficiente posible.

Para obtener indicadores elevados de calidad total en el desarrollo de software, es importante contar con una ingeniería de procesos armónica que involucre a todos los recursos. La ingeniería de procesos es la que se encarga de planificar todos los procesos del negocio de software, y de posteriormente llevarlos a cabo para que se puedan ejecutar de la forma correcta. Realizar correctamente los procesos involucrados en el desarrollo, dará como resultado la producción de productos de alta calidad. De acuerdo con (Sommerville, 2021), la mejora de procesos significa comprender los procesos existentes y cambiar estos procesos para aumentar calidad del producto y / o reducir costos y tiempo de desarrollo. Basado en este principio, se puede afirmar que el objetivo final de la ingeniería de procesos es aumentar la calidad de los procesos y del producto final, a la vez que se reduce el tiempo de producción y comercialización, y se disminuyen los costos de producción.

La calidad de los productos de software está fuertemente influenciada por la calidad de los procesos de software que la organización utiliza para el desarrollo y soporte, por lo tanto, uno de los principales desafíos que enfrentan las organizaciones de desarrollo de software es producir la calidad deseada de productos de software (Kitchenham & Pfleeger, 1996). Los procesos, las personas y la tecnología empleada, es una tríada que constituye el núcleo fundamental del desarrollo de software, ya que influyen de manera determinante en el costo, el cronograma y la calidad del producto final.

Dados los excelentes resultados de una planificación y ejecución adecuada de la ingeniería de procesos, las organizaciones de software dedican cada vez más tiempo a su implementación y, por lo tanto, el software es cada vez más robusto y de mejor calidad; por lo tanto, la importancia de la ingeniería de procesos se promueve (Ashrafi, 2003). En las Pequeñas y Medianas empresas (PyME) de Ecuador, se le presta especial atención al área de proceso de aseguramiento de la calidad del producto y del proceso (*Process and Product Quality Assurance*, PPQA) del Nivel 2



de integración del Modelo de Madurez de Capacidad (CMMI), para alcanzar niveles de madurez internacionales en el mercado (Trávez Corrales, 2019).

El objetivo de esta investigación es hacer un análisis sobre la implementación del área de proceso PPQA en las PyME de desarrollo de software ecuatorianas. Los datos fueron recopilados mediante la exploración de artículos de investigación publicados y descripciones de procesos de software de alto nivel. Además, fueron revisados los trabajos de investigación relacionados con la implementación de las áreas de proceso CMMI Nivel 2. Como parte del estudio, se propone un modelo para cada práctica específica en el área de proceso de PPQA. El principal objetivo del modelo propuesto es que sea claro, fácil de usar y aprender, con un costo de implementación adecuado para las PyMEs de desarrollo de software de calidad. Al finalizar la investigación, se muestran los resultados de la aplicación del método de experto sobre la pertinencia del modelo propuesto en el área de proceso de PPQA, para apoyar a las PyMEs ecuatorianas a cumplir con los requisitos de madurez de nivel 2 de CMMI.

Materiales y métodos

La ingeniería de procesos para el desarrollo de software con calidad ha sido abordada por varios autores (Conradi & Fuggetta, 2002; Florac & Carleton, 1999; Pino et al., 2008). Implementar modelos de mejoras de procesos es una forma para que las organizaciones desarrolladoras de software mejoren la calidad de sus productos, aumenten la productividad de desarrollo, optimicen los procesos de producción y reduzcan el costo y el tiempo necesarios para su liberación. Realizar una adecuada ingeniería de procesos es especialmente para las PyMEs de desarrollo de software en Ecuador.

Para aumentar la calidad de los procesos y consecuentemente del producto de software se han introducido diferentes *framework*, estándares y modelos de mejoras de procesos: ISO 9000, Proceso de software personal (PSP), Modelo de madurez de capacidad (CMM) e Integración de los Modelos de Madurez de Capacidades (CMMI), figuran entre los más conocidos y establecidos que pueden ser utilizados por empresas de desarrollo de software.

CMMI es uno de los modelos presentados por el Instituto de Ingeniería de Software (SEI). Constituye una colección estructurada de las mejores prácticas utilizadas por las organizaciones para evaluar la madurez de sus procesos de software. La aplicación de una evaluación CMMI ayudará a muchos tipos de organizaciones de software a mejorar sus procesos y la calidad del producto de software (Team, 2002).

La madurez de los procesos de software y la calidad de los productos de software están altamente interrelacionados. En consecuencia, tanto los procesos como los productos de software necesitan una revisión sistemática. CMMI tiene cinco niveles de madurez y 22 áreas de proceso que están asociadas con los niveles, excepto con el Nivel 1.



Cada área de proceso tiene un grupo de prácticas relacionadas que deben llevarse a cabo para lograr un conjunto específico de metas factibles. El éxito en alcanzar un nivel particular de madurez para una organización de desarrollo de software se basa en el cumplimiento de todas las metas de las áreas de proceso en ese nivel particular y en todos los niveles inferiores (O'Regan, 2011).

Aunque CMMI ayuda a mejorar la calidad del desarrollo de software, es muy difícil su implementación en las organizaciones de pequeño tamaño como las PyMEs. Esto se debe al tiempo prolongado necesario para adoptar CMMI y el alto costo de los servicios. Dentro de las razones más significativas por las que las organizaciones de pequeño formato no adoptan este modelo, se encuentran:

- Requiere una cantidad significativa de tiempo para implementar completamente CMMI en sus entornos.
- Requiere una importante inversión para su implementación.
- Las PyMEs asumen desde el principio que están muy lejos de implementar un modelo como el CMMI.

Las PyMEs no tienen la capacidad de gastar cientos de miles de dólares para adoptar CMMI, esta necesidad significativa, ha motivado la presente investigación a diseñar un modelo para el área de procesos PPQA del Nivel 2 de CMMI como una opción para que las PyMEs ecuatorianas puedan adoptar las buenas prácticas que propone el nivel 2 de este modelo de madurez.

PPQA es una de las áreas de procesos que definen el éxito de un proyecto de software. Implementar cada una de las actividades que se proponen en esta área, podría significar un motor impulsor para elevar los niveles de calidad en las PyMEs de desarrollo de software. El área de proceso de PPQA involucra cuatro prácticas específicas, y lograrlas facilita enormemente la entrega de productos de software de alta calidad:

Revisión de cumplimiento

- **SG 1** La adherencia de los procesos realizados, y de los productos de trabajo asociados a las descripciones de proceso estándares y procedimientos aplicables es evaluada objetivamente.
 - **SP 1.1** Evaluar objetivamente los procesos realizados seleccionados respecto a las descripciones de procesos, estándares y procedimientos aplicables.
 - **SP 1.2** Evaluar objetivamente los productos de trabajo seleccionados respecto a las descripciones de proceso, estándares y procedimientos aplicables.

Comunicación y seguimiento

- **SG 2** Las no conformidades son seguidas y comunicadas objetivamente, y su resolución es asegurada.



- **SP 2.1** Comunicar problemas de calidad y asegurar la resolución de las no conformidades con el personal y con los gerentes.
- **SP 2.2** Establecer y mantener registros de las actividades de aseguramiento de la calidad.

La figura 1a) muestra la importancia que las empresas de desarrollo de software de pequeño formato le otorgan a las prácticas específicas de PPQA, según los resultados obtenidos en (Wilkie et al., 2005) y en 1b) se muestra estos resultados, según la investigación desarrollada en (Lester et al., 2010).

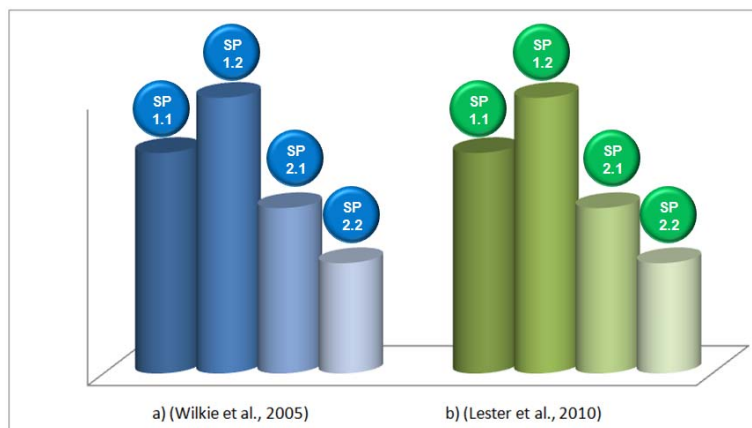


Figura 1. Prioridad que otorgan las pequeñas empresas a las prácticas de PPQA.

En la figura 1 se muestra como a pesar de que los estudios se realizaron con cinco años de diferencia, las pequeñas empresas de desarrollo de software, siguen otorgando la misma prioridad a las prácticas específicas de PPQA. En estas investigaciones se revela que la mayoría de las empresas involucradas en el estudio mostraron un desempeño deficiente tanto en el monitoreo como en el control del uso del proceso. En consecuencia, estas empresas tienen muy poca capacidad para identificar problemas de incumplimiento. Además, destacaron que las empresas más grandes tenían suficientes recursos para invertir con el fin de realizar el PPQA, sin embargo, esta área de proceso se considera una sobrecarga para las organizaciones de desarrollo de software pequeñas y medianas debido a sus recursos limitados.

Factores que obstaculizan alcanzar los niveles de calidad deseados

En la literatura científica revisada, así como las encuestas realizadas a gerentes de PyMEs de desarrollo de software, se identificaron elementos comunes, que son considerados barreras para implementar procesos encaminados a elevar la calidad del software. Los encuestados reconocieron como deficiencia que no se contratan consultores con



experiencia en la mejora de procesos, que se integren con el equipo de desarrollo y que guíen la implementación de un proceso de mejoras. Los consultores experimentados pueden brindar capacitación al resto del equipo y transmitir conocimientos al personal sin experiencia sobre las actividades en la ingeniería de procesos. Otros factores que obstaculizan alcanzar los niveles de madurez deseados se muestran en la siguiente figura 2.

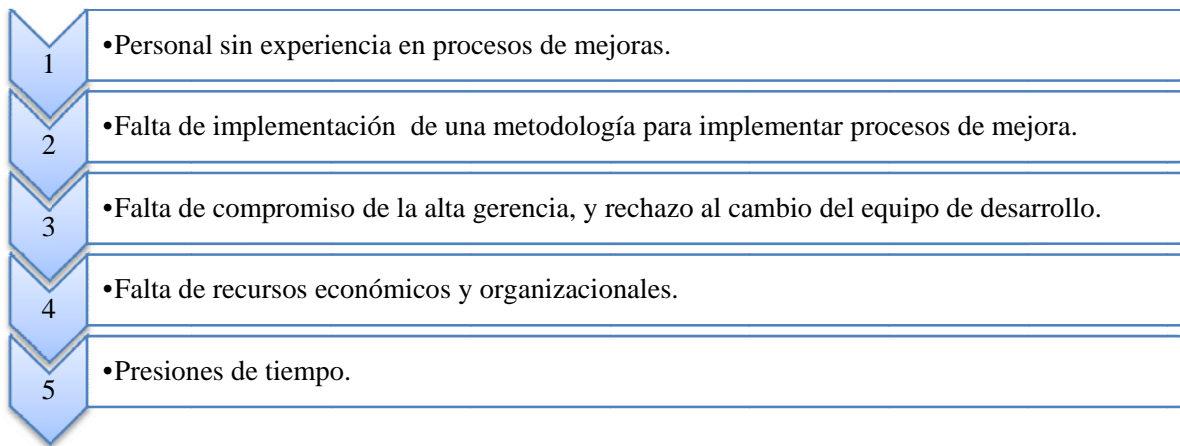


Figura 2. Factores que obstaculizan la implementación de modelos de madurez.

Fuente: Elaboración propia a partir de (Niazi, 2009).

Otra de los factores identificados es el abandono de la iniciativa de implementar un programa de mejoras robusto en las organizaciones de desarrollo de software de pequeño formato. Las investigaciones indican que esto ocurre mayormente cuando el plan de implementación se realiza de forma empírica, sin la adopción consiente de una metodología establecida que guíe el proceso de mejora, que contemple las etapas básicas de planificación, implementación, seguimiento, control y cierre.

Resultados y discusión

En esta sección se presenta un modelo para implementar PPQA de CMMI Nivel 2 en las PyMEs ecuatorianas. El proceso de planeación del modelo de mejora de procesos para cada una de las prácticas específicas del área de procesos de PPQA, está concebido a partir de un conjunto de actividades macros que serán ajustadas posteriormente según el tamaño y las características propias de cada PyME. Las actividades macros que aparecen en este modelo se muestran en la figura 2.



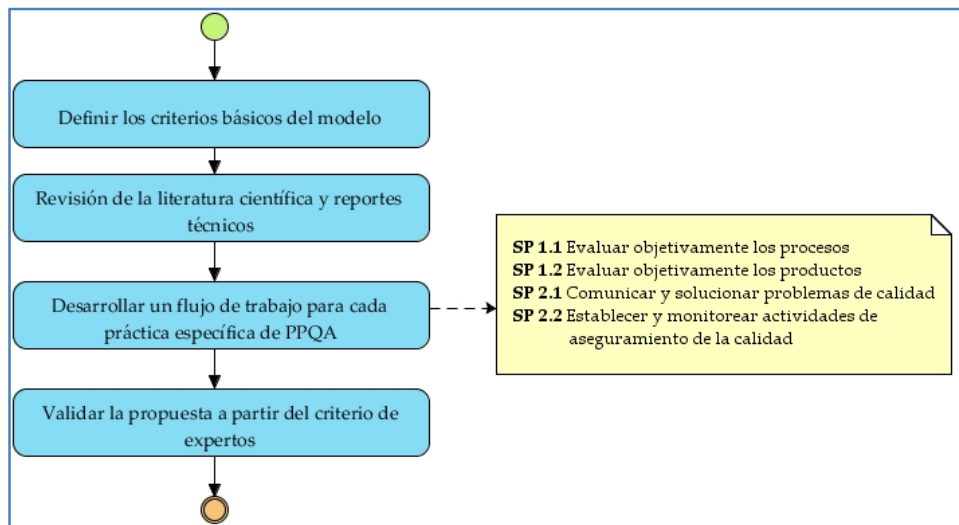


Figura 2. Actividades macros del modelo propuesto.

Actividad # 1. Definir los criterios básicos del modelo: A partir del estado del arte de las pequeñas y medianas empresas de desarrollo de software en Ecuador; y analizados los factores críticos que impiden que estas organizaciones puedan implementar adecuadamente el área de proceso PPQA propuesta en el Nivel 2 de CMMI, se decidió proponer un modelo que se ajuste a los factores ambientales generales de estas organizaciones. Los criterios que se tuvieron en cuenta para realizar la propuesta se muestran en la figura 3.

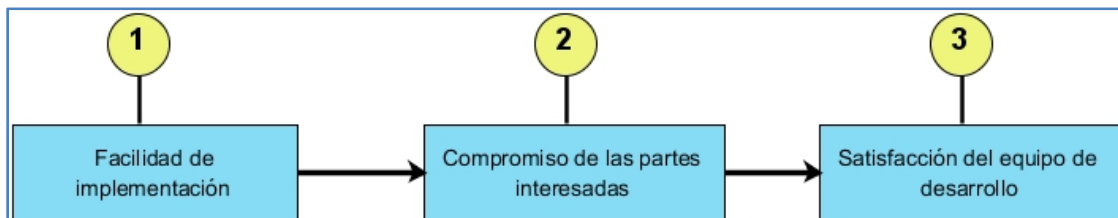


Figura 3. Criterios básicos del modelo propuesto.

El modelo propuesto debe concebir dentro de sus criterios básicos la facilidad de su implementación. Generalmente, las PyMEs no tienen la liquidez suficiente para gastar en la adopción de modelos internacionales complejos y diseñados para grandes empresas, es por esta razón que no es común que utilicen modelos y estándares complicados, ya que necesitan más recursos, mejor capacitación externa y mayor esfuerzo de implementación. Es por esta razón que la adaptación del modelo debe estructurarse de manera simple, viable, fácil de integrar y de comprender.



Desde el inicio de la planeación para implementar un modelo de mejora de procesos, se debe contar como elemento esencial, con el apoyo, compromiso y aceptación de todas las partes interesadas, dígase gerente general, inversionistas, equipo de desarrollo y demás stakeholders. La implementación de los modelos deben satisfacer las necesidades de las partes interesadas, de manera que apoyen en la consecución de los objetivos de cada proyecto de software de acuerdo con sus necesidades y expectativas.

El núcleo fundamental de una organización de producción de software lo constituye el equipo de desarrollo con todos los roles que involucra. En la implementación de un modelo de mejora de procesos para elevar la calidad del producto final debe contemplarse la satisfacción del equipo de desarrollo con los cambios estructurales que se introduzcan en cada proceso. En la medida en que el equipo de desarrollo participe en estos cambios, tendrá un mayor grado de aceptación para implementar el modelo.

Atendiendo a estos criterios es importante que la organización de desarrollo de software, aunque pequeña, debe entender la necesidad de implementar un proceso de mejora, a sabiendas que este implica un alto compromiso de la dirección, requiere tiempo, esfuerzo, actividades asignadas a cada rol, una medición y evaluación cuantitativa y como directriz, debe adoptar un modelo de referencia.

Actividad # 2. Revisión de la literatura científica y reportes técnicos: Se han realizado diferentes estudios empíricos para abordar los desafíos que enfrentan las organizaciones de desarrollo de software pequeñas y medianas al implementar CMMI. Estas investigaciones aportan información relevante para que las PyMEs adopten su propio framework de CMMI de una mejor manera. En esta actividad se realizó una investigación cualitativa en la que se revisaron, reseñaron y analizaron argumentos de libros y artículos, que permiten identificar el estado actual de las PyMEs ecuatorianas, y las experiencias organizaciones homólogas internacionales, para asumir un modelo de mejoras de procesos de referencia internacional. Un resumen de los trabajos analizados se lista en la tabla 1, con sus respectivas referencias.

Tabla 1. Implementación de CMMI en pequeñas y medianas empresas.

Autor	Título	Referencia
Trávez Corrales, Silvia Verónica	Marco de referencia de calidad basado en las normas ISO 9001 y CMMI para optimizar el tiempo de desarrollo en las PYMES de desarrollo de software	(Trávez Corrales, 2019)
Hurtado Pasquel, César Andrés	Análisis situacional del nivel de integración de modelos de madurez de capacidades en el departamento de TICS de la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede Esmeraldas	(Hurtado Pasquel, 2018)
Vásquez, Guillermo Pizarro	Maturity Level of Software Development Processes in SMEs Guayaquil	(Vásquez, 2018)
Coque, Shirley et al.	Analysis of experiences of improvement of software development	(Coque-Villegas et



	processes in SMEs	al., 2018)
Keshta, Ismail et al	Towards implementation of requirements management specific practices (SP1. 3 and SP1. 4) for Saudi Arabian small and medium sized software development organizations	(Keshta et al., 2017)
Laporte, Claude Y	Small tech firms: Seizing the benefits of software and systems engineering standards	(Laporte et al., 2013)
Filip, Cristina & Klein, Vladimir	Analysis of process and product quality assurance	(Filip & Marascu-Klein, 2013)
Lester, NG et al	Investigating the role of CMMI with expanding company size for small-to medium-sized enterprises	(Lester et al., 2010)
McCaffery, Fergal et al	AHAA –Agile, Hybrid Assessment Method for Automotive, Safety Critical SMEs	(McCaffery et al., 2008)
Wilkie, F George, et al	An evaluation of CMMI process areas for small-to medium-sized software development organisations	(Wilkie et al., 2005)

Actividad # 3. Desarrollar un flujo de trabajo para cada práctica específica de PPQA:

SP 1.1 Evaluar objetivamente los procesos y SP 1.2 Evaluar objetivamente los productos: El flujo de trabajo correspondiente a SP 1.1 y SP 1.2, consta de cuatro actividades básicas: Inicio, Panificación, Ejecución y Cierre, tal como se muestra en la figura 4.

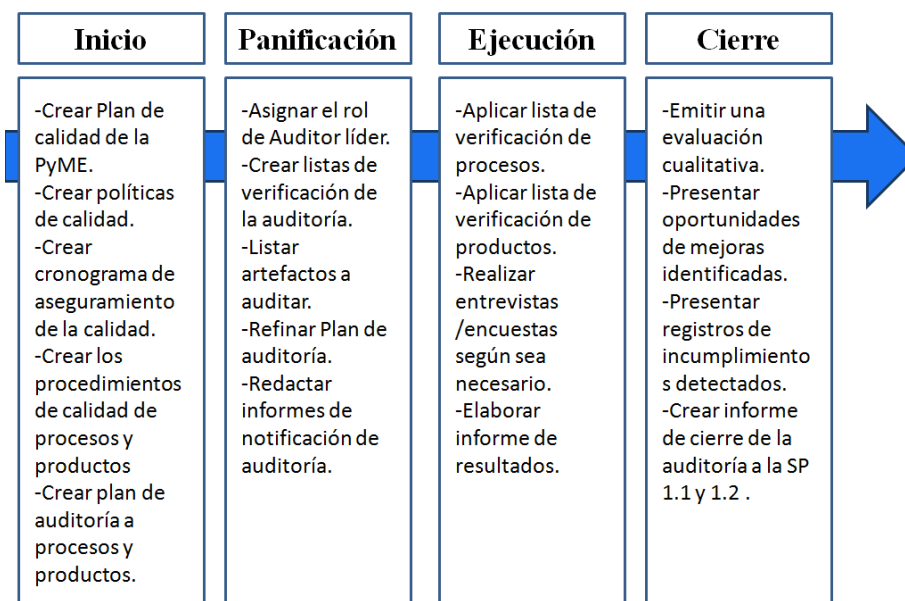


Figura 4. Actividades para SP 1.1 y SP 1.2.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0)**

Inicio: En la primera actividad son descritas de manera detallada cada una de las tareas, actividades y acciones que se deberán cumplir para ejecutar correctamente esta práctica de calidad. Incluye la creación y aprobación del Plan de calidad de la PyMe, las políticas de calidad y el cronograma de aseguramiento de la calidad de los procesos y productos, que se deriva del plan de calidad general.

Es en esta actividad donde se determinan los procedimientos de calidad a seguir en cada proceso de desarrollo de software, de manera que responda a los niveles de calidad deseados. Se describe el proceso a seguir y se especifican los criterios de calidad que se deberán cumplir en cada uno de los procesos y productos de desarrollo.

La creación de un plan sistemático de auditorías a procesos y productos describe qué proceso y/o producto de trabajo se auditará, el propósito, la frecuencia y el equipo auditor. En la creación del plan de auditoría participa el gerente de la organización y el asegurador de la calidad. El equipo auditor será interno o externo, según los intereses de la administración. En la actividad de Inicio se crean los documentos rectores para ejecutar y evaluar objetivamente el proceso / producto de desarrollo de software.

Planificación: La actividad de planificación se centra fundamentalmente en el plan de auditorías elaborado en la actividad anterior. Una vez identificado el líder de las auditorías, se preparan los artefactos a emplear durante la auditoría. El líder de auditoría debe tener experiencia y dominio de PPQA y debe dominar además los procedimientos, estándares y lineamientos de los procesos y productos de la PyME. Se crean las listas de verificación para cada proceso y productos; se listan los artefactos que serán auditados, se refina el plan de auditoría creado en la actividad anterior; se redactan los informes de notificación de la auditoría. Los informes de notificación de auditoría deben contemplar la fecha en que se realizará, los objetivos de la auditoría, los artefactos que serán revisados, los locales y horarios de trabajo, los involucrados en la auditoría, tanto del equipo auditor, como del equipo de desarrollo y de dirección. Es importante que en este informe quede evidenciado que la práctica de evaluación objetiva de procesos y productos es de interés de todos los miembros de la organización en todos los roles y niveles. Las listas de verificación creadas para la auditoría deben ser revisadas, conciliadas y aprobadas con el equipo auditor. Se recomienda la creación de listas de verificación independientes para el proceso y para el producto.

Ejecución: Como su nombre lo refiere, en esta actividad se ejecuta la auditoría previamente planificada. Como resultado de esta actividad, el equipo auditor debe ser capaz de identificar problemas de incumplimiento en los procesos y productos, oportunidades de mejoras y destacar las mejores prácticas evidenciadas. Cada uno de los procesos y productos seleccionados para la auditoría, deben evaluarse objetivamente utilizando las listas de verificación definidas para garantizar que el proceso se implemente de acuerdo con las buenas prácticas del proceso



de mejora. Es importante destacar, que en esta auditoría se pueden identificar inconsistencias en los documentos rectores del proceso de desarrollo de software en la organización. Estos hallazgos formarán parte de las propuestas de cambios y del proceso de mejora continua de la organización.

Cierre: Una vez ejecutada la auditoría, tal como se definió en las actividades precedentes, se realiza la presentación del informe de los resultados y se emite una evaluación cualitativa, en una reunión de cierre oficial. A esta actividad se le concede especial importancia ya que en ella se registran las observaciones puntuales y los resultados generales obtenidos en el proceso. En la reunión de cierre participa miembros del equipo administrativo, el asegurador de la calidad, el líder de la auditoría y opcionalmente algunos miembros del equipo de desarrollo y del equipo auditor. Los registros de incumplimiento se subrayan como uno de los productos de trabajo básicos para crear acciones de calidad de SP 1.1 y SP 1.2.

SP 2.1 Comunicar y solucionar problemas de calidad: para la práctica específica SP 2.1, se propone un flujo de trabajo compuesto por 3 actividades básicas, y que tiene como entrada los artefactos generados en la última actividad del flujo propuesto para SP 1.1 y SP 1.2. La figura 4 muestra las actividades propuesta y las principales acciones y artefactos que integran cada actividad.

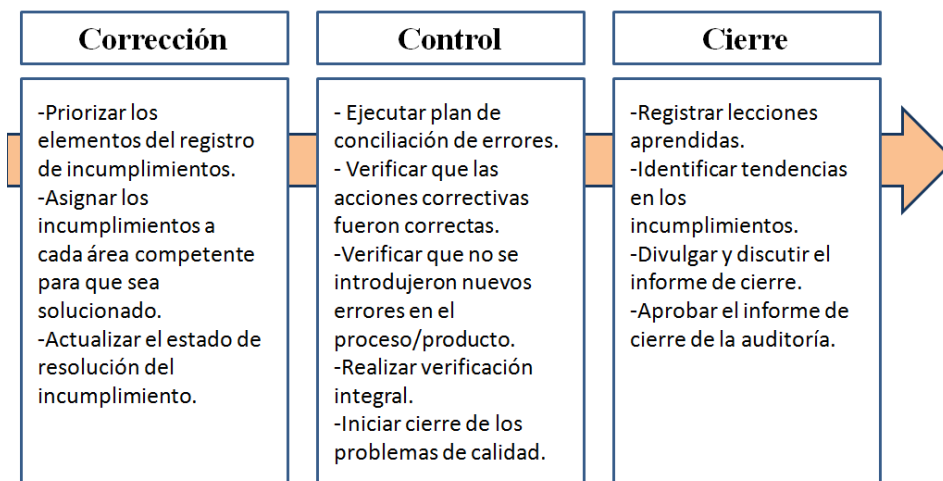


Figura 5. Actividades para SP 2.1.

Corrección: Esta actividad está destinada fundamentalmente a la solución y/o corrección de los elementos presentados en el Registro de incumplimientos, presentados en SP 1.1 y SP 1.2, estos incumplimientos, están lógicamente alineados con las especificaciones de PPQA en CMMI Nivel 2. El primer paso para comenzar a ejecutar



la actividad corrección es revisar el Informe de cierre de la auditoría y el Registro de incumplimientos. Esta actividad estará liderada en primera instancia por el asegurador de la calidad y el líder de gestión del equipo de proyecto. Se debe listar, priorizar y evaluar según el nivel de importancia, impacto y criticidad, cada uno de los incumplimientos. Los elementos ordenados y priorizados son asignados a cada área competente para que sea corregido.

Control: Es importante tener conciencia que la resolución de errores en un proceso o producto, puede insertar nuevos errores no existían en el momento de la auditoría, es por esto que resulta necesario realizar una actividad de control posterior a la corrección inicial de incumplimientos. El seguimiento y control de los problemas de incumplimiento es una de las actividades más importantes en el área PPQA y cuyos resultados demuestran objetivamente el avance en la calidad de los procesos y productos de software de la institución de desarrollo de software. En esta actividad, se ejecuta un plan de conciliación periódico entre el auditor de la PPQA y los miembros del equipo del proyecto para verificar que las acciones correctivas que se toman para resolver los problemas de incumplimiento se llevaron a cabo correctamente; así como para verificar que no se introdujeron nuevos errores en el proceso de resolución.

El seguimiento de la resolución de los incumplimientos debe estar planificado y debe tener un tiempo alineado a la capacidad de resolución del equipo de desarrollo en general, y va a depender del alcance que impliquen las modificaciones. En esta etapa el auditor líder deberá hacer una verificación integral, antes de iniciar el cierre de los problemas de calidad y proceder a certificar el proceso y/o producto según corresponda.

Cierre: En la actividad de cierre el auditor líder debe realizar un análisis en profundidad de todos los problemas de incumplimiento identificados y de las acciones de corrección que se llevaron a cabo. Se realiza un informe de patrones comunes o tendencias importantes identificadas durante la auditoría. La identificación de estas tendencias facilitará en gran medida el proceso de abordar problemas específicos con procesos / productos de trabajo / recursos para mejorar el proyecto de software y los procesos organizativos. Esto también asegura que las instancias de incumplimiento no se repetirán cuando se identifiquen en otros proyectos de la misma organización. Discutir y entregar el informe de cierre con las partes interesadas en la mejora de los procesos.

SP 2.2 Establecer y monitorear actividades de aseguramiento de la calidad: Para esta práctica específica, se proponen tres actividades fundamentales, tal como muestra la figura 6. El objetivo principal es lograr cerrar el ciclo de mejora continua para PPQA. Mejorar continuamente la eficacia de los procesos de desarrollo de software, mediante la implementación de políticas de calidad; y teniendo en cuenta los resultados de las auditorías, el análisis de los



datos, las acciones correctivas y preventivas y la evaluación sistemática de los procesos, será esencial para elevar la calidad de los productos de la organización.



Figura 6. Actividades para SP 2.2.

Registrar: Cada una de las actividades diseñadas, planificadas e implementadas para asegurar la calidad de procesos y productos de software, deben ser debidamente registradas. Estos registros detallados de PPQA ofrecen una visión objetiva a los gerentes de proyectos de software sobre los procesos, así como el trabajo relacionado productos. Los informes de cierre resultantes de las tres prácticas específicas precedentes, las recomendaciones, las acciones correctivas y preventivas que se realizaron posteriores a la auditoría. Esta actividad se realiza para garantizar que las acciones relacionadas con SP 1.1 y SP 1.2 estén documentadas a nivel de proyecto.

Revisar: La realización de revisiones sistemáticas para garantizar que la información esté actualizada y con los elementos cumplidos, es una actividad fundamental. Es en esta actividad en que se garantiza que la información archivada previamente, se mantenga actualizada.

Publicar: La información correspondiente a PPQA que ha sido previamente registrada y revisada, debe ser compartida para que cumpla su objetivo fundamental, servir como un mecanismo de evaluación sobre la calidad de los procesos y productos de las PyMEs desarrolladoras de software. La publicación periódica del informe de calidad es importante para que las partes interesadas puedan determinar el estado general de la organización, y pueda actuar



en consecuencia de estos resultados. Los informes publicados constituye la entrada fundamental para el proceso de mejora continua de la organización.

Mejorar: En esta actividad se realiza un análisis de los informes de calidad, para identificar las buenas prácticas que se deben reproducir; y proponer oportunidades de mejora al equipo de desarrollo y la administración. La propuesta de mejoras debe ser presentada, discutida y aprobada. Una vez que se apruebe la mejora de los procesos y los cambios sustantivos, son institucionalizados a nivel organizacional.

Actividad # 4. Validar la propuesta a partir del criterio de expertos:

El objetivo de esta actividad, es evaluar el impacto que tiene el modelo propuesto en las organizaciones de desarrollo de software de pequeño formato, y el nivel de aceptación del equipo de desarrollo. La selección de los expertos se realizará a partir de la experiencia y el conocimiento demostrado en la implementación de CMMI. El panel de expertos estará constituido por un equipo multidisciplinario de manera que esté representado por:

- Consultores externos con experiencia en la implementación de procesos de mejora.
- Representantes de la alta dirección.
- Auditores externos e internos.
- Miembros del equipo de desarrollo con rol de arquitectos, programadores, analistas y probadores.
- Líderes de proyectos, líderes de gestión de proyectos.

Al panel de experto se debe entregar un cuestionario con preguntas abiertas y cerradas, que permita a los expertos evaluar el modelo propuesto de acuerdo a los criterios: facilidad de implementación, satisfacción del equipo de desarrollo y aceptación de las partes interesadas. El objetivo fundamental de la consulta a expertos será determinar si el modelo propuesto es aplicable a las PyMEs de desarrollo de software en Ecuador. Se deben tener en cuenta variables como la usabilidad, facilidad de uso y adaptabilidad.

Es importante aprovechar este encuentro para pedir a los expertos opiniones personales de cómo enriquecer la propuesta y posibles oportunidades de mejora.

Discusiones

La investigación permitió identificar las mejoras sustanciales que implica adoptar un modelo que aplique las prácticas específicas que propone PPQA en el nivel 2 de CMMI. Es evidente que la implementación de un modelo de mejoras consume un porcentaje mayor del presupuesto y los recursos, ya que requiere dinero para contratar consultores,



auditores, evaluadores y mayor sacrificio del equipo de desarrollo, pero existen razones ampliamente aceptadas por la comunidad desarrolladora de software para adoptar el modelo propuesto en esta investigación:

- El aumento de la eficiencia de los procesos es proporcional al aumento de la calidad y productividad.
- El incremento de la calidad en los productos y servicios de software es proporcional al aumento de la satisfacción del cliente.
- La implementación de actividades preventivas de calidad disminuye el esfuerzo de resolución de no conformidades y aumenta la satisfacción del equipo de desarrollo.
- El cumplimiento de los cronogramas de entrega, disminuye los costos de implementación de desviaciones.

Algunas de las recomendaciones que realizó el panel de expertos consultados en la actividad cuatro del modelo propuesto en esta investigación, son listadas a continuación:

- El equipo de desarrollo, así como la alta gerencia de las PyMEs, deben llegar a un consenso común, espontáneo y consiente, de la necesidad de implementación de un proceso de mejora.
- La gerencia de las PyMEs debe conocer y aceptar que la implementación de un modelo de madurez de desarrollo de software robusto y de referencia internacional, es un proceso costoso y de largo plazo. LA obtención de beneficios reales necesita mucho tiempo.
- Contratar consultores con experiencia en la mejora de procesos para capacitar a los equipos de desarrollo de las pequeñas y medianas empresas.
- Las personas encargadas de gestionar la implementación de los procesos de mejoras en las PyMEs, deben desarrollar como punto de partida, una política de formación escrita, tanto para el equipo de desarrollo como para los gerentes de la organización.
- Todos los miembros del equipo de desarrollo deberán tener tareas concretas asignadas, que formen parte del plan de implementación del programa de mejora. Involucrar al equipo, es una de las mejores vías para evitar el rechazo al cambio.
- Se recomienda crear un sistema de evaluación, monitoreo y control, sobre el progreso del plan de implementación del proceso de mejora.
- Se deben recopilar las experiencias y lecciones aprendidas, de los roles involucrados directamente en el proceso de mejoras, como parte de la mejora continua de la organización.



- Se recomienda instaurar una metodología para implementar los programas de mejora, que constituya un marco de trabajo con metas concretas y cumplibles.
- No se debe pretender implementar un proceso de mejora en toda una organización, aunque sea de pequeño formato. La metodología adoptada con este fin, debería probarse primeramente en proyectos piloto, para luego ser generalizada.
- Implementar técnicas continuas para evaluar el nivel de satisfacción y de aceptación, de todos los miembros del equipo de desarrollo con respecto a la implementación del programa de mejora; tomando en cuenta estos resultados desde los proyectos pilotos.

Conclusiones

La función de aseguramiento de calidad es vital para lograr el cumplimiento de las prácticas y el establecimiento de la cultura de procesos en la organización. Las actividades de aseguramiento de calidad deben ser adecuadamente planificadas y realizadas de forma sistemática. Las metas de PPQA garantizan que las desviaciones y las no conformidades, sean identificadas y comunicadas adecuadamente para garantizar su corrección, prevención y ajuste a los procesos planificados. La revisión bibliográfica permitió identificar la necesidad de implementar satisfactoriamente el área de proceso de PPQA del nivel 2 de CMMI, en las pequeñas y medianas empresas evitar que el equipo de desarrollo invierta largas jornadas en la corrección de no conformidades y se incumplan los cronogramas de entrega. Una vez implementado este el modelo propuesto en esta investigación, y que se obtengan mejoras concretas en los procesos, es recomendable optar por una evaluación SCAMPI®.

Conflictos de intereses

Los autores de la presente investigación declaran que no poseen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

1. Conceptualización: Karina Virginia Mero Suarez, Edwin Joao Merchan Carreño, Carlos Renan Mero.
2. Curación de datos: Carreño, Carlos Renan Mero.
3. Análisis formal: Karina Virginia Mero Suarez, Edwin Joao Merchan Carreño, Carlos Renan Mero.
4. Investigación: Karina Virginia Mero Suarez.
5. Metodología: Karina Virginia Mero Suarez.



Esta obra está bajo una licencia *Creative Commons* de tipo **Atribución 4.0 Internacional** (CC BY 4.0)

6. Software: Edwin Joao Merchan Carreño.
7. Supervisión: Carlos Renan Mero.
8. Validación: Karina Virginia Mero Suarez.
9. Visualización: Karina Virginia Mero Suarez, Edwin Joao Merchan Carreño.
10. Redacción – borrador original: Karina Virginia Mero Suarez, Edwin Joao Merchan Carreño, Carlos Renan Mero.
11. Redacción – revisión y edición: Karina Virginia Mero Suarez, Edwin Joao Merchan Carreño, Carlos Renan Mero.

Financiamiento

La investigación no requirió fuente de financiamiento externa, ha sido financiada por los autores.

Referencias

- Akbar, M. A., Sang, J., Khan, A. A., Fazal, E. A., Nasrullah, Shafiq, M., Hussain, S., Hu, H., Elahi, M., & Xiang, H. (2018). Improving the Quality of Software Development Process by Introducing a New Methodology–AZ-Model. *IEEE Access*, 6, 4811-4823. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2787981>
- Ashrafi, N. (2003). The impact of software process improvement on quality: in theory and practice. *Information & Management*, 40(7), 677-690.
- Conradi, H., & Fuggetta, A. (2002). Improving software process improvement. *IEEE software*, 19(4), 92-99.
- Coque-Villegas, S., Jurado-Vite, V., Avendaño-Sudario, A., & Pizarro, G. (2018). Analysis of experiences of improvement of software development processes in SMEs. *Ciencia Unemi*, 10(25), 13-24.
- Chiavenato, I. (2002). *Teoria geral da administração*. Elsevier Brasil.
- Filip, F.-C., & Marascu-Klein, V. (2013). Analysis of process and product quality assurance. In *Advances in Production, Automation and Transportation Systems*.
- Florac, W. A., & Carleton, A. D. (1999). *Measuring the software process: statistical process control for software process improvement*. Addison-Wesley Professional.
- Hurtado Pasquel, C. A. (2018). *Análisis situacional del nivel de integración de modelos de madurez de capacidades en el departamento de TICS de la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador Sede Esmeraldas Ecuador-PUCESE-Escuela de Sistemas y Computación*.



- Keshta, I., Niazi, M., & Alshayeb, M. (2017). Towards implementation of requirements management specific practices (SP1. 3 and SP1. 4) for Saudi Arabian small and medium sized software development organizations. *IEEE Access*, 5, 24162-24183.
- Kitchenham, B., & Pfleeger, S. L. (1996). Software quality: the elusive target [special issues section]. *IEEE software*, 13(1), 12-21.
- Laporte, C. Y., Séguin, N., Villas Boas, G., & Buasung, S. (2013). Small tech firms: Seizing the benefits of software and systems engineering standards. *ISO Focus+*, 4(2), 32-36.
- Lester, N., Wilkie, F. G., McFall, D., & Ware, M. (2010). Investigating the role of CMMI with expanding company size for small-to medium-sized enterprises. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 22(1), 17-31.
- McCaffery, F., Pikkarainen, M., & Richardson, I. (2008). Ahaa--agile, hybrid assessment method for automotive, safety critical smes. Proceedings of the 30th international conference on Software engineering,
- Niazi, M. (2009). Software process improvement implementation: avoiding critical barriers. *CROSSTALK. The Journal of Defense Software Engineering*, 22(1), 24-27.
- O'Regan, G. (2011). *Introduction to Software Process Improvement*. <https://doi.org/10.1007/978-0-85729-172-1>
- Pino, F. J., García, F., & Piattini, M. (2008). Software process improvement in small and medium software enterprises: a systematic review. *Software Quality Journal*, 16(2), 237-261.
- [Record #1959 is using a reference type undefined in this output style.]
- Team, C. P. (2002). Capability maturity model® integration (CMMI SM), version 1.1. *CMMI for systems engineering, software engineering, integrated product and process development, and supplier sourcing (CMMI-SE/SW/IPPD/SS, V1. 1)*, 2.
- Trávez Corrales, S. V. (2019). *Marco de referencia de calidad basado en las normas ISO 9001 y CMMI para optimizar el tiempo de desarrollo en las PYMES de desarrollo de software* Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas ...].
- Vásquez, G. P. (2018). Maturity Level of Software Development Processes in SMEs Guayaquil. Technology Trends: 4th International Conference, CITT 2018, Babahoyo, Ecuador, August 29–31, 2018, Revised Selected Papers,
- Wilkie, F. G., McFall, D., & McCaffery, F. (2005). An evaluation of CMMI process areas for small-to medium-sized software development organisations. *Software Process: Improvement and Practice*, 10(2), 189-201.

