

Artículo de Contribución

Mejora del proceso de desarrollo de software en instituciones públicas del Perú incorporando el método COSMIC: caso de estudio en el OSINFOR

Improving software development process in public institutions in Peru applying COSMIC method: case study in the OSINFOR

Raul Marca Quispe ^{1,a}, Efraín R. Bautista Ubillús ^{2,b}

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática. Lima, Perú

² Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática, Lima, Perú

^a Autor de correspondencia: raul.marca@unmsm.edu.pe, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3740-9921>

^b E-mail: ebautistau@unmsm.edu.pe, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8188-4690>

Resumen

Uno de los principales retos cuando se administra proyectos de software es determinar el esfuerzo que se necesita para la entrega del producto, y en el Perú, las entidades públicas están enmarcadas en el cumplimiento normativo por lo que se ha incrementado el uso de enfoques ágiles debido a la incertidumbre en la medición del tamaño del software. En ese sentido, a través de la presente investigación se realizó la mejora al proceso de desarrollo para el OSINFOR incorporando el método COSMIC para medir el tamaño del software y determinar el esfuerzo para los desarrollos. El proceso mejorado ha sido analizado en dos casos de estudio para corroborar la medición estándar y el uso del enfoque de aproximación del método COSMIC. Finalmente, como resultado se ha demostrado que la incorporación de actividades de medición considerando el estándar COSMIC mejora el proceso para la construcción de software logrando un 75% en cumplimiento de las actividades, 75% en la eficiencia de la medición y 76% en la satisfacción del uso del proceso mejorado.

Palabras clave: Método COSMIC, Medición, Software, Tamaño funcional.

Abstract

One of the main challenges when managing software projects is determining the effort needed to deliver the product, and in Peru, public entities are aligned in regulatory compliance, which is why the use of agile approaches has increased due to the uncertainty in measuring the size of the software. In that sense, through this research, the development process for OSINFOR was improved by incorporating the COSMIC method to measure the software size and determine the effort for developments. The improved process has been analyzed in two case studies to corroborate the standard measurement and approximation approach from COSMIC method. Finally, as a result, it has been shown that the incorporation of measurement activities considering the COSMIC standard improves the process for building software, achieving 75% in compliance with the activities, 75% in the measurement efficiency and 76% in the satisfaction with the use of the improved process.

Keywords: COSMIC Method, Measurement, Software, Functional Size.

Recibido: 11/10/2023 - Aceptado: 19/12/2023 - Publicado: 20/12/2023

Citar como:

Marca Quispe, Raúl, Bautista Ubillús, Efraín R. (2023). Mejora del proceso de desarrollo de software en instituciones públicas del Perú incorporando el método COSMIC: caso de estudio en el OSINFOR. *Revista Peruana de Computación y Sistemas*, 5(2):53-64. <https://doi.org/10.15381/rpcs.v5i2.27139>

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Peruana de Computación y Sistemas de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional (CC BY 4.0) [<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>] que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada de su fuente original.

1. Introducción

Es difícil estimar el esfuerzo para desarrollar un software cuando inicia un proyecto, sin embargo, conforme se avanza en la ejecución se puede tener mayor claridad y las mediciones son más asertivas de manera que se reduce la incertidumbre en la gestión del software [1].

Esta problemática ampliamente difundida a nivel internacional está vinculada a varios aspectos tales como el desconocimiento del tamaño del software que se requiere construir [2], la incertidumbre y los riesgos en el desarrollo [3], las características del producto y las personas quienes necesitan el producto software [4], entre otros.

Todo esto también se extiende en las entidades públicas del Perú, tal es así que según el instrumento de medición sobre el nivel de madurez [5] precisa que el 73% de las entidades públicas no utilizan guías o estándares internacionales para el desarrollo de software y el 59% de las entidades públicas no cuentan con un documento formal interno que establezca la pauta de manera ordenada para la construcción de software.

Así mismo, según en el reporte indicado más del 50% de los productos software son desarrollados en las mismas entidades públicas y cerca del 50% de las entidades reutilizan componentes software como “servicios digitales”.

Tal es la preocupación del estado peruano para entregar sus “servicios digitales” con los recursos (tiempo, costo) adecuados que, viene impulsando el uso de enfoques ágiles desde la Secretaría de Gobierno y Transformación Digital (SGTD) para el desarrollo de aplicaciones en las entidades públicas, sin embargo, no es suficiente adoptar la agilidad para conocer con certeza los recursos que se requerirán.

Por lo que, es necesario estimar los esfuerzos partiendo de la medición del tamaño del software no solo según el juicio de expertos de un equipo de desarrollo sino apoyados en datos históricos y reales de proyectos implementados [6], y qué a través de un estándar de medición permite calcular la medición y determinar el esfuerzo que se necesitará para la construcción del software, aspecto que según la última encuesta tecnológica aún no se evidencia sobre aplicación o intención de uso en el Perú [7].

En ese sentido, a través de la presente investigación sentamos las bases para que se pueda aplicar el método COSMIC para el desarrollo de software en las entidades públicas del Perú incorporando el estándar de medición en el proceso integral para desarrollar software. COSMIC, es un método de estimación del tamaño funcional de segunda generación y de acuerdo con [8], [9] y [10] mejora la determinación del tamaño del desarrollo, así mismo, la tendencia a la fecha es la aplicación de modelos [11], [12], [13], [14], entre otros.

Para tal fin, seleccionamos a OSINFOR para la aplicación de los casos de estudio porque esta entidad pública se encuentra dentro del grupo de entidades que vienen aplicando el enfoque ágil para desarrollar software y tiene a la fecha un proceso de construcción formalizado donde la medición del esfuerzo se basa en juicio de expertos, estas condiciones determinaron realizar la propuesta de mejora a su proceso desarrollo incorporando el método COSMIC.

El proceso para desarrollar software vigente del OSINFOR recoge prácticas de la NTP 12207 para la gestión y ejecución del desarrollo, pero no cubre el proceso de medición del software y la estimación de los desarrollos se basa en la aplicación de la técnica de juicio de expertos por el equipo de especialistas en software [15].

Uno de los principales desafíos para la construcción de software en OSINFOR es determinar el costo y tiempo en el menor tiempo posible considerando la normativa vigente de la entidad.

Este artículo que busca mejorar un proceso de desarrollo está conformado por las siguientes secciones: la segunda sección se presenta las bases teóricas de este trabajo; en la tercera sección se detalla el estado del arte sobre la medición y estimación del software; en la cuarta sección se detalla la metodología propuesta; en la quinta sección los casos de estudio; en la sexta sección se muestra los resultados y conclusiones, el trabajo a futuro y finalmente los agradecimientos y las referencias bibliográficas.

2. Bases Teóricas

Entre las principales bases teóricas que se han tomado en consideración para el desarrollo de la investigación se tiene los siguientes:

2.1. Método COSMIC

Es una metodología de medición de segunda generación promovida por el Consorcio Internacional de Medición Común del Software (COSMIC) que permite determinar la dimensión de las características funcionales de un software. Esta metodología está orientado a la medición de aquellas aplicaciones que dan apoyo al negocio, las que se caracterizan por capturar información en tiempo real y aquellas donde operan las diferentes aplicaciones [16].

Esta metodología madura y estable se encuentra alineada a los principios del software y su aplicabilidad e independencia a la tecnología permite realizar la medición del tamaño del desarrollo superando las deficiencias de otros métodos de estimación. Para lograr determinar la dimensión el método tiene sus fundamentos en los siguientes patrones:

2.1.1 Modelo contextual del software

Se define el objetivo que delimita el alcance, las características, los requisitos funcionales, el nivel de detalle de los requisitos que serán medidos y los usuarios que se puedan identificar en los requisitos.

2.1.2 Modelo genérico del software

Tiene por objeto la representación de los requisitos funcionales para que sean medidos. Esta representación se define como eventos, procesos, subprocesos y grupos de datos que serán considerados durante la medición de la dimensión funcional de la aplicación a la que se aplica el método COSMIC.

2.1.3 Proceso de medición

COSMIC permite realizar la medición de la dimensión funcional del software en tres fases articuladas. Como se muestra en la Fig. 1 la primera fase está orientada a establecer los parámetros de la estrategia para medir tomando en consideración los requisitos establecidos en el modelo contextual y la segunda fase se encarga de transformar todos los requisitos de la primera fase representados según el modelo genérico del software para que finalmente en la fase de medición se determine el tamaño de la dimensión funcional de la aplicación que se mide en unidades de Puntos de Función COSMIC (CFP).

Figura 1. Fases de medición según método COSMIC



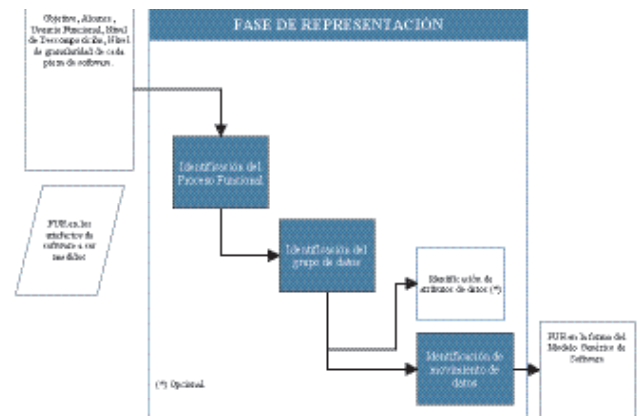
El principal insumo de la fase de estrategia es solicitud de medición que permite determinar el objetivo buscando durante la medición de la dimensión funcional, luego se define el alcance considerando el grado de descomposición del software, a continuación, hay que identificar los usuarios que interactúan con los requisitos funcionales y definir cuál es el nivel de detalle de dichos requisitos dando como resultado los parámetros de la estrategia que se aplicará en la medición (Ver Fig. 2).

Figura 2. Fase de estrategia según método COSMIC



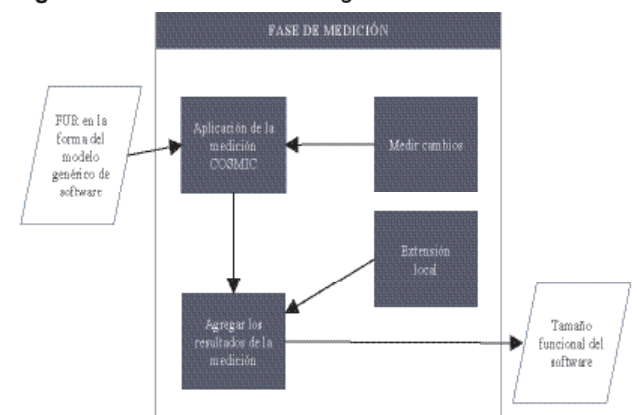
Dichos parámetros en la fase de representación permiten transformar los requisitos funcionales en uno o más procesos "funcionales" los cuales están conformados por uno o más grupos de datos de un objeto que se encuentra dentro del alcance y según el objetivo de la medición. Debido a que los procesos "funcionales" responden a los requisitos funcionales, se vinculan al menos a un suceso que hace posible el inicio de dicho proceso "funcional". Los grupos de datos deben ser identificados como entradas, salidas, lecturas y escrituras; y pueden tener uno o más atributos que opcionalmente podrían ser identificadas para la medición (Ver Fig. 3).

Figura 3. Fase de representación según método COSMIC



Como podemos ver en la Fig. 4 en la última fase se aplica la medición de los requisitos para el desarrollo del producto o las mejoras considerando los cambios que se puedan dar en un software ya existente. Algo que no se debe dejar de lado son las extensiones locales durante la medición que podría ser una práctica misma de la organización donde se está realizando la medición, y todo esto finalmente permite determinar la dimensión total del software en CFP.

Figura 4. Fase de medición según método COSMIC

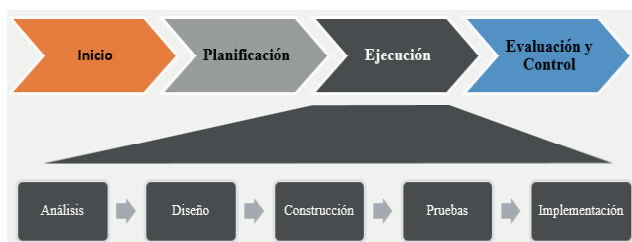


2.2. Procedimiento de desarrollo del OSINFOR

Para desarrollar y actualizar sus servicios digitales el OSINFOR aplica un procedimiento que está alineado a la NTP 12207 en cumplimiento al documento normativo establecido por el estado peruano [17]. El procedimiento se caracteriza por incorporar un enfoque ágil para el desarrollo o mantenimiento de las aplicaciones, y solo para la parte de administración se

alinea a las buenas prácticas tradicionales de gestión de proyectos siendo este un método híbrido (Ver Fig. 5) que adicionalmente se riga sobre aspectos de calidad y seguridad de la información [18].

Figura 5. Fase de estrategia según método COSMIC



El procedimiento para desarrollo y actualizar aplicaciones está compuesto por:

2.2.1 Roles

Se han definido 6 roles que realizan actividades específicas en el procedimiento que va desde el jefe de proyectos hasta el que implementa los cambios en los ambientes de producción, sin embargo, entre las funciones ninguno de los roles aborda las actividades o acciones asociadas a la medición del software.

2.2.2 Fases

Principalmente existen dos fases: en la fase de gestión, se asegura de conducir el proyecto desde el inicio, pasando por la planificación y con la constatación de la evaluación y control hasta que se implementa la solución. La medición del esfuerzo de todos los proyectos gestionados en OSINFOR a la fecha se realiza a través del juicio o conocimiento del equipo de desarrollo. Para determinar el esfuerzo (tiempo, costo) el equipo usualmente considera aspectos como proyectos similares, tecnología, cantidad de los requerimientos, recursos disponibles, así como la evaluación del impacto en otros desarrollos en curso o por iniciar.

Por otro lado, está la fase de ejecución alineada al ciclo de vida clásico para desarrollar software que va desde el análisis, diseño, construcción, pruebas e implementación [1]. Es necesario indicar que en el procedimiento existen actividades específicas asociadas a seguridad de la información y antes de culminar el proceso, se ratifica el desarrollo y si existen pendientes se realiza la priorización de requisitos hasta completarlos.

3. Revisión literaria

En la revisión literaria que realiza [19] resalta la necesidad de estimar los proyectos, por lo que indaga sobre el uso de los métodos IFPUG FPA y COSMIC, ambos métodos de medición de primera y segunda generación, respectivamente. El autor determina que COSMIC es un método más flexible y hay mayores avances en su campo de aplicación para diversos proyectos.

Tal es así, que [20] aplican la medición del tamaño funcional solo para aplicaciones móviles y experimen-

talmente la medición del código fuente de dichas aplicaciones. Como resultado los autores determinan un modelo de predicción de la medición de un conjunto de 8 aplicaciones móviles.

Los autores [21] enfatizan la necesidad de la medición del software considerando una actividad crítica, por lo que comparan los resultados de la medición entre el método IFPUG y COSMIC, encontrando que el método COSMIC es más efectivo cuando se tiene datos históricos y un modelo de estimación.

También [6] considera que la industria del software necesita de un modelo de estimación efectivo y no solo que debería estar basado en enfoques de juicio de expertos. En su investigación el autor brinda las pautas para crear una base de datos histórica utilizando un enfoque de aproximación y plantea un modelo de estimación para proyectos de desarrollo de software de una entidad financiera.

Por otro lado, [22] consideran que es necesario actualizar los procesos de estimación de software orientando a los enfoques ágiles y aplicaciones móviles apoyados en casos de uso.

En el caso de [8] analizan tres casos de estudio comparando los resultados obtenidos entre el método COSMIC vs Puntos de Función, concluyendo que el método COSMIC es más efectivo para la medición del tamaño funcional en aplicaciones desarrolladas bajo enfoque ágil.

De la misma manera [23] aplicaron COSMIC con patrones buscando la medición de los requisitos de seguridad, esto debido a que dichos requisitos son características necesarias del producto por lo que su medición incrementaría la fiabilidad de las mediciones del software.

Sin embargo, según [24] aunque se aplique los enfoques ágiles para el desarrollo de software es necesario el uso de técnicas rigurosas para la medición y estimación aplicando inteligencia artificial.

En esa línea [9] actualiza su planteamiento sobre la creación de una base de datos histórica de estimaciones para la creación de un modelo de estimaciones utilizando técnicas de aproximación de COSMIC, llegando a realizar el cálculo de los criterios de calidad necesarios y que para que el modelo funcione es necesario que los proyectos sean similares tanto a nivel funcional como a nivel técnico.

También, [10] respecto a COSMIC en su investigación concluyen que es necesario la aplicación de patrones específicamente para la medición de los requisitos de manera que se logre diferenciar entre las nuevas características y las que se van a modificar en el software.

En el caso de [25] realizaron una encuesta sobre técnicas de estimación de esfuerzo encontrando que la tendencia en el futuro es la aplicación de la inteligencia

artificial en los proyectos para las tareas específicamente de medición y estimación del software.

Tal es así que [26] aplican algoritmos de aprendizaje para la medición del tamaño del software en la búsqueda de minimizar los riesgos en la estimación de los proyectos, sin embargo, concluyen que requieren mayor investigación para el aseguramiento de calidad de los modelos generados.

De la misma manera [27] proponen una metodología para la estimación de esfuerzo aplicando inteligencia artificial para proyectos en general.

Otra interesante investigación es la de [28] quien analiza los riesgos resultantes del tamaño del proyecto y sus implicancias proponiendo un modelo de gestión de riesgos que serviría de apoyo durante la planificación de los proyectos.

También se tiene el trabajo de [29] quienes orientan su investigación en la estimación de defectos del software utilizando técnicas de inteligencia artificial, para tal fin evalúan 7 algoritmos y como resultado determina que solo 2 tienen mejor desempeño para la pronóstico de defectos mejorando el ciclo de vida de desarrollo del software.

Por otro lado [30] aplican el método de puntos de función para estimar el tamaño del software encontrando que es necesario realizar ajustes que brinden mejor resultado en la determinación del tamaño funcional dando la relevancia a la parte tecnológica.

En la revisión sistemática que realizan [31] analizan los diferentes métodos de estimación del software y criterios de calidad, sin embargo, no identifican cual es el mejor método para estimar.

En tanto [14] insisten en la necesidad de realizar la estimación para desarrollar un producto debido a que esto permite organizar la carga laboral en un equipo, y aplican un algoritmo probabilístico de clasificación y asignación de la carga laboral para optimizar el uso de recursos.

En el caso de [32] también realizaron una revisión sistemática de 120 investigaciones centradas en 6 preguntas sobre la medición del esfuerzo para desarrollar software, determinando que para lograr dicha estimación es necesario la aplicación de más de un método o enfoque.

Más adelante se puede observar que la aplicación de algoritmos para la medición del software toma fuerza debido a que brindan mejor resultado que los métodos tradicionales dependiendo del caso, afirman [33].

Pero no solo se debe medir el esfuerzo que se requiere para desarrollar el software sino también la etapa de pruebas según lo definen [34] en su investigación centrada en siete preguntas sobre estimación en las prue-

bas encontrando poco avance y que la mayoría de los equipos de desarrollo aplica juicio de expertos.

Otra perspectiva de medición es la que desarrollan [11] asociado a la confiabilidad del producto final para tal fin aplican un enfoque bayesiano para el análisis correspondiente basada en la información resultante de las pruebas del software.

En el caso de [35] analizan las dificultades para la estimación de los costos de los proyectos de software sugiriendo como resultado de la investigación el uso de enfoques automatizados para mejorar la estimación de costos.

En la misma línea [12] analizan la tasa de convergencia en la aplicación de redes neuronales para en la medición del esfuerzo obteniendo como resultado un modelo mejorado para estimar esfuerzo en un tiempo adecuado y con una arquitectura no compleja.

También está la investigación de [36] sobre el uso de puntos de función automatizados a través de un modelo de clasificación para medir el tamaño funcional del software.

Y finalmente, se ha encontrado la propuesta de un modelo para optimizar la estimación del esfuerzo para desarrollar software unificado como alternativa para diversos proyectos y con datos locales [13].

4. Metodología

A continuación, realizaremos la descripción detallada sobre el proceso de desarrollo mejorado para el OSINFOR incorporando el método COSMIC con el objeto de medir la dimensión funcional de las aplicaciones que se requerirán desarrollar o mejorar para satisfacer las necesidades de los usuarios y/o clientes.

4.1. Esquema general del proceso de desarrollo de software

El proceso de desarrollo mejorado (Ver Fig. 6) está alineado a la NTP 12207 [17]. La norma técnica define grupos de procesos para el desarrollo de software tales como el contexto del sistema y específicos del software.

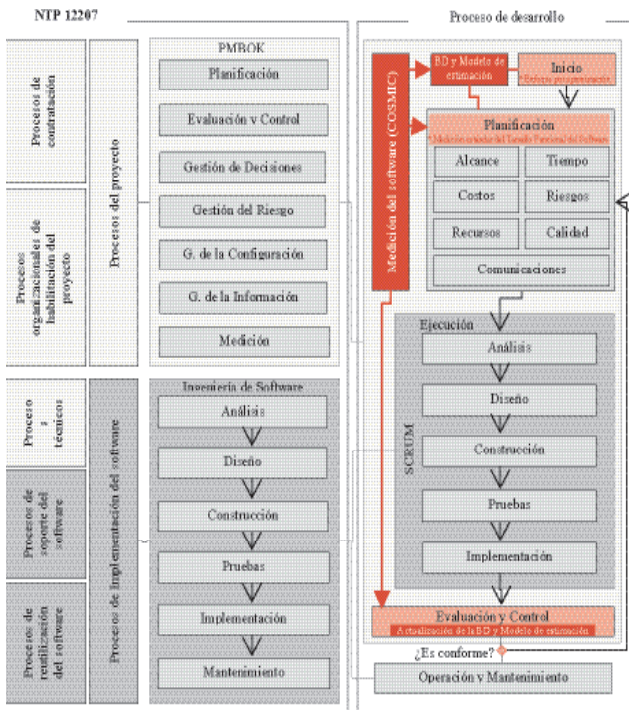
Dentro de los grupos de procesos sobre el contexto del sistema se define los procesos del proyecto las cuales están orientados a la gestión, seguimiento y evaluación de los proyectos de desarrollo, y es aquí donde se debe definir la medición.

Tomando en consideración las pautas de medición de la NTP 12207 el proceso mejorado para el desarrollo de software en el OSINFOR incorpora el método COSMIC para la medición funcional de las aplicaciones desde la etapa de inicio del proyecto.

En el proceso mejorado observamos como en la etapa de inicio se debe realizar la medición del tamaño funcional. Si bien al inicio de un proyecto no se tiene todo el detalle que permita realizar la medición. El

método COSMIC ofrece un enfoque de aproximación del tamaño funcional por casos de uso, que requiere de una calibración local y posteriormente con este insumo es posible realizar la estimación del esfuerzo en costo y tiempo para el desarrollo de software.

Figura 6. Esquema propuesto del proceso de desarrollo



En la etapa de planificación y según se tenga mayor detalle de los requisitos funcionales se realiza la medición estándar del tamaño funcional aplicando el método COSMIC en el proceso de desarrollo mejorado.

Por otro lado, al cierre del proyecto en la etapa de evaluación y control se realiza la actualización de la base de datos de estimación y el modelo de estimación del proceso de desarrollo mejorado, que servirán de insumo para la estimación de nuevos desarrollos. El software pasa a la etapa de operación y mantenimiento previa conformidad del usuario y/o cliente, y las restricciones del proyecto de desarrollo.

Finalmente, se debe precisar que el proceso mejorado en general tiene un enfoque iterativo para la entrega del producto por lo que recoge la obligatoriedad para las entidades del estado peruano en la implementación de servicios digitales [37].

4.2. Proceso de desarrollo de software incorporando el método COSMIC

El flujo del proceso de desarrollo mejorado (Ver Fig. 7) inicia con la solicitud formal del(los) requisito(s) a cargo de la unidad de organización que gestiona la lista inicial de requisitos. Esta solicitud se debe evaluar para determinar la factibilidad de los requisitos, para lograr esto, se realizará la obtención de la información del proyecto a evaluar y si cuenta con una base de datos de estimación se determina el tamaño funcional aproxima-

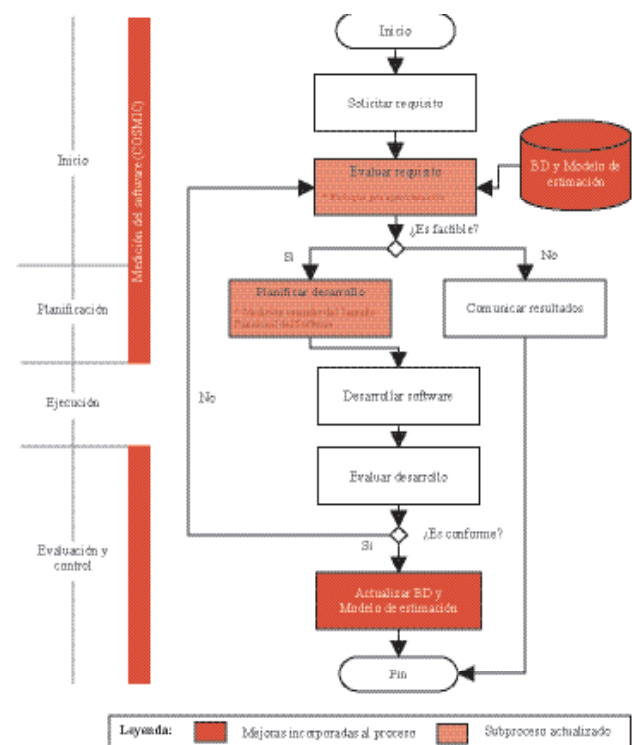
do por casos de uso, luego se realiza la estimación del esfuerzo. Los resultados obtenidos se actualizan en la base de datos de estimación solo si superan los criterios de calidad [38].

Si el proyecto no tuviera una base de datos de estimación para evaluar el requisito se debe construir la base de datos estimaciones aplicando la medición estándar y el enfoque por aproximación por casos de uso del método COSMIC, con ese insumo se procede a calibrar datos locales; esto permite determinar el tamaño funcional aproximado por casos de uso del nuevo proyecto y posteriormente realizar estimación del esfuerzo en costo y tiempo.

El nuevo esfuerzo estimado debe también superar los criterios de calidad establecidos en el proceso de desarrollo, ya en la misma etapa de evaluación de los requisitos se determina la factibilidad y se continúa con la planificación del desarrollo.

Así mismo, en el proceso de desarrollo mejorado la evaluación y control se ubica posterior al desarrollo del software para evaluar los resultados de la construcción, en la evaluación y la conformidad del producto se debe realizar la evaluación de los requisitos adicionales pendientes que se tengan sino se brinda la conformidad y finaliza actualizando la base de datos de estimación con la documentación final y actualizada del proyecto.

Figura 7. Esquema del proceso de desarrollo propuesto



También, el proceso de desarrollo mejorado considera un rol adicional a los existentes, que es el medidor del software, quién estará a cargo principalmente de definir el propósito y alcance de la medición, la medición de la dimensión funcional del

software aplicando el método estándar del método COSMIC, la estimación del esfuerzo de los proyectos de desarrollo y/o mantenimiento y documentar la medición en el reporte de medición. Los resultados de la medición y estimación sirven de insumo al jefe de proyectos en el proceso de desarrollo para evaluar la factibilidad de los requisitos en coordinación con la unidad de organización solicitante.

En el procedimiento documentado según los lineamientos [39] para el proceso de desarrollo mejorado establece que las actividades del 4 hasta al 10 y del 19 hasta el 33 son de responsabilidad exclusiva del rol medidor del software, sin embargo, eso no quita que el medidor del software puede coordinar con los otros roles del proceso de desarrollo tales como el jefe de proyectos, arquitecto, analista de sistemas, entre otros [40].

También, respecto al proceso de desarrollo mejorado se debe indicar que en la tesis [40] se detalla las 25 reglas que se han descrito para la medición de la dimensión del software según el método COSMIC y la estimación del esfuerzo para el proceso de desarrollo.

4.3. Base de datos (BD) de estimación del proceso de desarrollo de software mejorado

Considerando las pautas de [6] se han seleccionado 11 proyectos desde el 2021 hasta el 2023 del OSINFOR identificados con un correlativo a fin de salvaguardar la integridad y confidencialidad de dichos proyectos [41]. Dichos proyectos ya están culminados y han sido gestionados según el procedimiento vigente de desarrollo de sistemas de información del OSINFOR.

Para la creación de base de datos inicial del proceso mejorado se realizó la medición del tamaño funcional del Proyecto 1 [41], teniendo como resultado en la Tabla 1 la medición inicial del tamaño funcional utilizando el método COSMIC:

Tabla 1

Medición inicial del Proyecto 1

Nro. de casos de uso (CU)	Nro. de procesos funcionales (PF)	Total CFP
21	24	224

Con la información de la Tabla 1 se procede a realizar la calibración local del proyecto seleccionado para determinar el promedio de PF por CU (Ver Tabla 2):

Tabla 2

Calibración del Proyecto 1

Promedio PF x CU	Promedio de PF (CFP v4.0.1 x FP)	Promedio CU (CFP v4.0.1 x CU)
21	24	224

La aproximación de los siguientes proyectos se obtiene del producto del "Promedio CU" de la Tabla 2 por la cantidad de CU de cada proyecto que formarán parte de la base de datos.

Se seleccionaron proyectos de desarrollo que cumplan con los siguientes criterios: requisito inicial formalizado, proceso de desarrollo según el procedimiento de sistemas de información vigente, tipo de proyecto menor (tiempo del proyecto de hasta 90 días) o mayor (tiempo del proyecto mayor a 90 días), estado culminado, base de datos SQL Server y lenguaje de programación C# en .NET

Cada uno de estos proyectos son técnica y funcionalmente similares al Proyecto 1 y es que de esta manera el cálculo de aproximación que se realiza es más certera en cuanto al resultado en CFP.

En la siguiente Tabla 3 se muestra la base de datos conteniendo toda la información de los tamaños funcionales, esfuerzo en horas hombre y el costo de cada proyecto.

Tabla 3

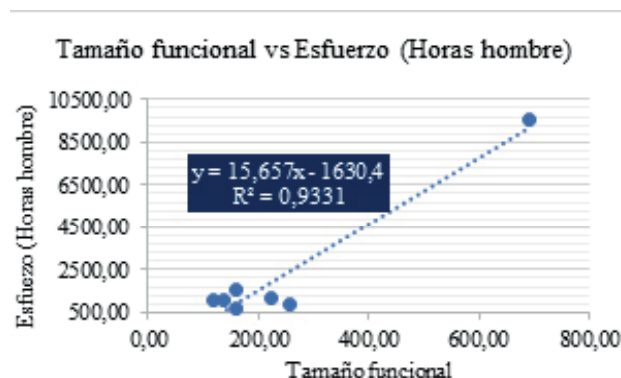
BD estimación

Proyecto	TF	Esfuerzo (Horas-Hombre)	Costo (S/.)
Proyecto 1	224.00	1,152.00	54,000.00
Proyecto 2	138.67	1,024.00	30,000.00
Proyecto 3	117.33	1,032.00	30,000.00
Proyecto 4	693.33	9,664.00	196,500.00
Proyecto 5	160.00	688.00	24,000.00
Proyecto 6	256.00	896.00	24,000.00
Proyecto 7	576.00	1,520.00	48,000.00

4.4. Modelo de estimación del proceso de desarrollo de software mejorado

Con la información de la Tabla 3 se determina el modelo de estimación [9] por lo que se procede a determinar primero la correlación entre la variable tamaño funcional en CFP y el esfuerzo en horas hombre, siendo la ecuación $Y=15.657(x) - 1630.40$, donde R^2 es 0.9331 (Ver Fig. 8).

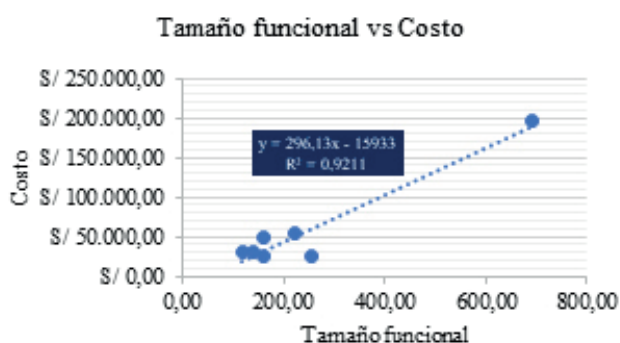
Figura 8. Tamaño funcional vs Horas hombre



De la misma manera con la información de la Tabla 3 se procede a determina la correlación entre la variable tamaño funcional en CFP y costo en soles. En este caso la ecuación correspondiente es $Y=296.13(x) - 15933$, donde R^2 es 0.09211 (Ver Fig. 9).

Según las investigaciones [6] y [9] cuando R , que es el coeficiente de la ecuación es cercano a uno se tiene un modelo de estimación adecuado debido a que existe correlación entre las variables evaluadas para este caso tamaño funcional en unidades CFP vs esfuerzo (horas hombre) y el tamaño funcional en unidades CFP vs costo (S/.).

Figura 9. *Tamaño funcional vs Costo*



5. Caso de estudio

El caso de estudio en el presente trabajo de investigación se realizó con participación de especialistas en software de la oficina de tecnologías del Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre (OSINFOR). El OSINFOR es un organismo público del estado peruano que orienta su esfuerzo en la supervisión de los recursos forestales y de fauna silvestre de la Amazonía del Perú.

El OSINFOR a través de su Oficina de Tecnologías de la Información (OTI) lidera el proceso de desarrollo e implementación de software a nivel interno y a nivel externo para poner a disposición de los ciudadanos y administrados interesados “servicios digitales” en la gestión de las supervisiones del bosque del Perú.

Entre las actividades del proceso de desarrollo mejorado se aplica los dos enfoques de medición del método COSMIC dependiendo de la etapa del proyecto que se está midiendo, por lo que a continuación se describen los siguientes casos de estudio:

5.1. Caso 1 - Enfoque por aproximación

Para la medición mediante el enfoque por aproximación según el proceso de desarrollo mejorado se realizó 4 sesiones virtuales de trabajo con el equipo de especialistas en desarrollo tales como jefes de proyecto (02), analistas programadores (05) y el analista de calidad (01); donde se abordaron temas desde la parte conceptual del método, el detalle del proceso mejorado para la medición por aproximación y el ejercicio de la medición.

Primero. - De acuerdo con el proceso mejorado se seleccionó los proyectos que se aproximaran considerando los mismos criterios de los proyectos que conforman la BD de estimación, sin embargo, adicionalmente solo por temas de ejercicio del modelo se incluyó dos proyectos funcionalmente similares a los de la BD.

Segundo. - Se identificó los casos de uso de cada desarrollo seleccionado para determinar el Tamaño funcional aproximado por cada proyecto, tal y como se puede ver en la siguiente Tabla 4:

Tabla 4
Tamaño funcional aproximado por proyecto

Proyecto	TF	Esfuerzo (Horas-Hombre)	Costo (S/.)
Proyecto 8	576.00	7,388.03	154,637.88
Proyecto 9	138.67	540.70	25,130.36
Proyecto 10	1226.67	347,319.80	17,575.52
Proyecto 11	170.67.33	34,606.52	1,041.63

Tercero. - Se determinó el costo y esfuerzo de los proyectos aplicando la información de la BD de estimación y el modelo de estimación, siendo el resultado el detallado en la Tabla 5:

Tabla 5
Estimación por proyecto

Proyecto	Total de casos de uso (CU)	TF aproximado por CU
Proyecto 8	54	576.00
Proyecto 9	13	138.67
Proyecto 10	115	1226.67
Proyecto 11	16	170.67

Cuarto. - Considerando las indicaciones de [38] se aplicaron los criterios de calidad de la dimensión del error (MMRE), la desviación (SDMRE) y el grado de predicción (PRED) para evaluar los resultados de la estimación en horas hombre y costo de los proyectos 8, 9 10 y 11. La Tabla 6 resumen los resultados para la aplicación de los criterios de calidad donde podemos observar que la magnitud del error tanto del costo y esfuerzo son de 0.264 y 0.271, y su desviación es de 0.152 y 0.088 respectivamente; y por otro lado está el nivel de predicción, que según COSMIC es del 25% por lo tanto el esfuerzo en horas hombre estimado de los proyectos es del 50% y en el caso del costo estimado si alcanza el 75% de los proyectos:

Tabla 6
Resumen de criterios de calidad

	Costo	Esfuerzo
MMRE	0.264	0.271
SDMRE	0.152	0.088
PRED (25%)	75%	50%

Entonces de la Tabla 6 podemos indicar que existe correlación entre el tamaño funcional vs costo y el tamaño funcional vs horas hombre de los proyectos 8, 9, 10 y 11, y que las estimaciones son deseables según el nivel de predicción, pero que se requiere mayor cantidad de información de proyectos para que el modelo brinde mejores resultados sobre la magnitud del error relativo.

Quinto. – Finalmente, según el proceso mejorado se actualiza la BD de estimación incorporando los proyectos 8, 9, 10 y 11 a la BD inicial y se actualiza los modelos del esfuerzo en horas hombre vs el tamaño funcional, así como el esfuerzo del tamaño funcional vs el costo en soles.

5.2. Caso 2 - Medición estándar del tamaño funcional

De la misma manera que en la medición por aproximación, para la medir el TF del software según la manera estándar del método COSMIC en el proceso de desarrollo mejorado se realizó 3 reuniones virtuales diferentes con el equipo los especialistas de desarrollo del OSINFOR. En las reuniones se trataron temas sobre la definición del método estándar, su incorporación al proceso mejorado y la aplicación de la medición del TF.

La medición estándar según el proceso mejorado se realiza a través de las actividades de determinar el objetivo, el alcance, la composición del software, los usuarios que interactúan con los requisitos, el detalle de los requisitos, la identificación de los procesos y subprocesos, los movimientos de los subprocesos y la medición en sí. Todas estas actividades se realizan a partir de la planificación, y su aplicación en adelante depende del nivel especificación de los requisitos funcionales.

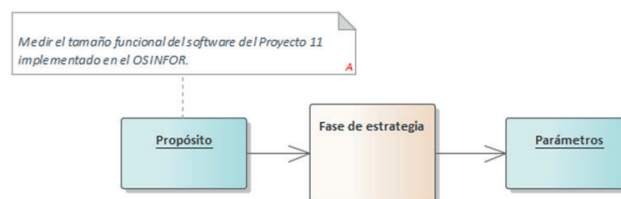
Para la medición estándar se seleccionó el Proyecto 11, en este caso cuando se realiza la medición estándar no es necesario que los proyectos sean técnica y funcionalmente similares a la base de datos o el modelo de estimación porque se está realizando la medición desde cero, sin embargo, en caso se desee incorporar a una base de datos existente el criterio debe ser similar al de los registros existentes. Es decir, los resultados serán agregados en la BD estimación solo si el proyecto es similar a los que componen la BD y el modelo de estimación.

El Proyecto 11, ya se encuentra implementado y ha sido seleccionado también de la bitácora de proyectos [41] donde se realizó el caso de estudio. Este proyecto similar a los demás proyectos seleccionados ha sido gestionado según el procedimiento vigente por lo que cuenta con toda la documentación de gestión y el desarrollo. Entonces:

Primero. – Se determinó el objetivo de la medición. Esto sirve de insumo para establecer el límite, la manera en que está compuesta la aplicación, los usuarios funcionales que interactúan con los requisitos, el detalle de los requisitos funcionales, los procesos y subprocesos,

y la identificación del conjunto de valores que están relacionados a cada subproceso (Ver Fig. 10).

Figura 10. Objetivo de medición del Proyecto 11



En la Fig. 10 podemos observar como el propósito es el insumo para continuar con la fase de estrategia y esto permite determinar los parámetros para la próxima medición.

Segundo. – Se aplicó la medición según las actividades y las 25 reglas definidas en el proceso mejorado para construir software en el OSINFOR. Las reglas han sido definidas según el estándar del método COSMIC y se ajustan al proceso mejorado.

Finalmente, como se muestra en la siguiente Tabla 7 se cuantifican los subgrupos identificados que fueron movidos y se determina el total de la dimensión funcional del software en Puntos de Función COSMIC (CFP) indicando la versión del método:

Tabla 7
Resultados medición Proyecto 11

Entrada	Salida	Lectura	Escritura	Total
34	85	62	18	199

Entonces, según la Tabla 7 el resultado de la medición del Proyecto 11 es 199 CFP versión 4.0.1

En general, ambos enfoques de medición del caso 1 y caso 2 se relacionan para lograr determinar el tamaño del software. En el caso del enfoque por aproximación permite determinar el cálculo del esfuerzo (Horas Hombre) y costo (Soles) según el proceso mejorado debiendo el resultado superar los criterios de calidad. En la investigación según el comportamiento del modelo es conveniente la inclusión de más proyectos con características técnicas y funcionales similares a los de la BD de estimación.

En el segundo caso la medición se realizó también según el proceso de desarrollo mejorado, aplicando a un proyecto culminado que tenía la información y documentación de todo el desarrollo por ende la medición estándar fue mucho más asertiva. Esta medición inicial puede servir de insumo para mediciones mediante aproximación, solo se debe considerar que las características del proyecto que se requiere aproximar deben ser similares al proyecto que se mide según la manera estándar del método COSMIC en el proceso mejorado.

6. Resultados y discusión

La obtención de resultados [40] se formuló con el objeto de determinar el porcentaje del cumplimiento de

las actividades del proceso mejorado, determinar el porcentaje de los resultados de la medición, y determinar el porcentaje de la satisfacción sobre el uso del proceso mejorado.

Para esto se realizó la validación con 8 especialistas en desarrollo de la OTI del OSINFOR como muestra no probabilística, quienes utilizan el proceso de desarrollo vigente y participan en diversos proyectos de dicha entidad. Los especialistas cumplen diferentes roles del proceso de desarrollo en los proyectos que están involucrados tales como jefe de proyectos, analista programador y analista de calidad; y cuentan con experiencia trabajando en desarrollo de software para diversas entidades públicas y privadas entre 1 hasta 10 años.

La validación se realizó aplicando una encuesta según la escala de Likert a los especialistas de la OTI que tuvo por objeto validar el proceso mejorado para el desarrollo de software (Variable dependiente - VD) y la medición del tamaño funcional resultante (Variable independiente - VI). La VD está compuesta por tres dimensiones tomando en consideración la gestión por procesos [39] y responden a los objetivos planteados en el diseño de la investigación.

En la prueba de Hipótesis de la VD y la VI se estableció un Alpha de 0.005 y se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar la distribución de las variables evaluadas. Según este resultado se ejecutó la prueba de Spearman dando como resultado que la correlación entre la VD y la VI es de 0.794, que significa que existe una correlación alta y significativa entre ambas variables. En el caso del nivel de significancia resultó en 0.019 la cual es menor al Alpha establecido, por lo que se aceptó la hipótesis alterna que precisa que “El proceso de desarrollo de sistemas de información del OSINFOR mejora cuando se realiza la medición del tamaño funcional del software incorporando el método COSMIC”.

De la misma manera se evaluó la VI con cada una de las dimensiones de la VD, encontrando que las dimensiones tienen una correlación alta, significativa y directa con la VI. Además el p valor de cada prueba es inferior al Apha de 0.05 por ende se aceptaron las siguientes 3 hipótesis específicas sobre “La medición del tamaño funcional del software permite establecer las actividades de medición en el proceso de desarrollo de sistemas de información del OSINFOR”, “La medición del tamaño funcional del software permite determinar la medición y estimación del esfuerzo de los proyectos de desarrollo en el proceso de desarrollo de sistemas de información del OSINFOR” y “Es válida la mejora del proceso de desarrollo de sistemas de información del OSINFOR que incorpora el método COSMIC para la medición del tamaño funcional del software”.

El instrumento utilizado para la validación del proceso mejorado tiene una fiabilidad de 0.998 que es excelente según el análisis de Cronbach y fue revisado con apoyo de un experto en el uso del método de medición,

quien es miembro activo del Consorcio Internacional para la Medición Común del Software (COSMIC).

Finalmente, tal y como concluyeron [21] es conveniente la incorporación de más información de proyectos históricos en el modelo del proceso mejorado considerando las recomendaciones de [6]. Entonces en el proceso mejorado si bien se continuará aplicando el enfoque ágil [24] con la inclusión del método COSMIC estaremos fortaleciendo la medición del software para esta entidad pública del Perú.

En cuanto se implemente el proceso mejorado en OSINFOR en adelante se debería automatizar la medición [25] [35], pero por el momento debido a la envergadura de la entidad y la cantidad de proyectos su automatización sería paulatina y de mejora continua.

Y, la medición del software en el proceso mejorado tanto para la medición estándar y por aproximación considera todos los requisitos de los proyectos medidos alineados a las recomendaciones que brindan [30].

7. Conclusiones

El proceso para desarrollar aplicaciones en el OSINFOR es mejorado incorporando el método COSMIC que permite medir la dimensión del software por aproximación en la etapa inicial y la medición estándar a partir de la etapa de planificación en adelante.

De acuerdo con los resultados en los casos de estudio se recomienda continuar con la implementación del proceso mejorado de manera que se pueda medir el software que será desarrollado en la entidad donde se desarrolló el caso de estudio.

También, la aplicación del estándar de medición permitió generar una base de datos y un modelo de estimación para determinar el esfuerzo en tiempo y costo para los nuevos desarrollos que sean técnica y funcionalmente similar a los evaluados en la investigación, pero es conveniente la incorporación de nuevos proyectos a fin de que el modelo brinde resultados esperados.

Así mismo, los resultados de las pruebas de las hipótesis cumplen con el objetivo general y objetivos específicos de la investigación [40] por lo que se da respuesta a todos los problemas planteados.

La incorporación del método COSMIC al proceso de desarrollo de OSINFOR se elabora cumpliendo con las pautas de gestión por procesos y fortalece el cumplimiento de la NTP 12207 debido a que es un requisito obligatorio para desarrollar software en las entidades públicas del Perú.

Además, el método COSMIC permite determinar el tamaño del desarrollo en etapas tempranas de un proyecto donde se desconoce el detalle de los requisitos funcionales, el cual es una de las problemáticas que tienen las entidades públicas del Perú cuando requieren implementar sistemas de información.

Por otro lado, como trabajos futuros es conveniente el desarrollo e implementación de una herramienta que automatice las actividades de la medición articulada al proceso de desarrollo mejorado para que se pueda aplicar a otras entidades del estado peruano.

Por último, es conveniente que desde la UNMSM se impulse la enseñanza a los alumnos de pregrado y posgrado el uso del método COSMIC de manera práctica, así como el impulso de aplicación por las organizaciones públicas y privadas en el Perú en un trabajo coordinado con la Secretaría de Gobierno y Transformación Digital (SGTD) de la Presidencia de Consejo de Ministros (PCM).

8. Agradecimientos

El autor principal agradece a la Red de Macro Universidades de América Latina (RedMACRO) por la beca de estancia de investigación en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) financiado por el Banco Santander.

A la facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática de la UNMSM y al Instituto de Investigación en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas (IIMAS) de la UNAM, por la orientación y apoyo académico durante la estancia de investigación. Raul Marca considera que la estancia ha sido una de las mejores experiencias académicas en sus estudios de posgrado.

Finalmente, al equipo de especialistas de sistemas de información de la OTI del OSINFOR, por el apoyo e involucramiento durante el desarrollo de los casos de estudio para la validación del proceso mejorado para desarrollar software.

Referencias

- [1] I. Sommerville, *Software Engineering*, México: Pearson Education, 2011.
- [2] FATTOCs, «COSMIC Sizing.» Setiembre 2015. [En línea]. Available: <https://cosmic-sizing.org/>.
- [3] A. Alami, «Why Do Information Technology Projects Fail?», ELSEVIER, pp. 62-71, 2016.
- [4] D. Ramos, R. Noriega, J. R. Laínez y A. Durango, *Curso de Ingeniería de Software*, IT Campus Academy, 2017.
- [5] PCM, «Innovación digital.» 06 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/13486-indice-de-innovacion-digital>.
- [6] F. Valdés-Souto, «Creating a Historical Database for Estimation Using the EPCU Approximation Approach for COSMIC (ISO 19761),» IEEE, pp. 159-166, 2016.
- [7] PCM, *Respuesta a solicitud de acceso a la información pública ENRIAP 2022 y ENADE 2023*, Lima, Lima, 2023.
- [8] M. Salmanoglu, T. Hacaloglu y O. Demirsors, «Effort Estimation for Agile Software Development: Comparative Case Studies Using COSMIC Functional Size Measurement and Story Points,» ACM, pp. 41-49, 2017.
- [9] F. Valdes-Souto, «Creating an Estimation Model using a COSMIC Functional Size Approximation Technique,» IEEE, pp. 69-80, 2018.
- [10] A. Hira y B. Boehm, «COSMIC function points evaluation for software maintenance,» ACM, pp. 1-11, 2018.
- [11] N. Zarzour y K. ReKab, «Sequential procedure for Software Reliability estimation,» ELSEVIER, pp. 1-11, 2021.
- [12] D. Rankovic, N. Rankovic, M. Ivanovic y L. Lazic, «Convergence rate of Artificial Neural Networks for estimation in software development projects,» ELSEVIER, pp. 1-12, 2021.
- [13] T. Xia, R. Shu, X. Shen y T. Menzies, «Sequential Model Optimization for Software Effort Estimation,» IEEE, pp. 1-16, 2021.
- [14] K. Pamanee y R. Chaisricharoen, «Automatic Workload Estimation for Software House,» ACM, pp. 41-45, 2020.
- [15] OSINFOR, «INFORME IV TRIMESTRE 2022 - TAREA NRO. 8.02 GESTIÓN DE PROYECTOS Y REQUERIMIENTOS DE DESARROLLO DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN.,» Lima, 2023.
- [16] COSMIC, «COSMIC,» 11 Junio 2014. [En línea]. Available: <https://cosmic-sizing.org/>.
- [17] PCM, «Resolución Ministerial N. 041-2017-PCM,» 27 Febrero 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/3426-041-2017-pcm>.
- [18] OSINFOR, «Plataforma digital única del Estado Peruano,» 29 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/osinfor/normas-legales/3818765-037-2022-osinfor>.
- [19] J. O. Campos Maldonado, «Revisión sistemática de estudios realizados sobre comparaciones de los métodos de estimación de tamaño funcional IFPUG FPA y COSMIC sobre proyectos SOA», PUCP, Lima, 2015.
- [20] L. D'Avanzo, F. Ferrucci, C. Gravino y P. Salza, «COSMIC Functional Measurement of Mobile Applications and Code Size Estimation,» ACM, pp. 1631-1636, 2015.
- [21] S. Di Martino, F. Ferrucci, C. Gravino y F. Sarro, «Web Effort Estimation: Function Point Analysis vs. COSMIC,» ELSEVIER, pp. 90-109, 2015.
- [22] M. Haoues, A. Sellami y H. Ben-Abdallah, «A Rapid Measurement Procedure for Sizing Web and Mobile Applications based on COSMIC FSM Method,» ACM, 2017.
- [23] E. Ugan, S. Trudel y L. Poulin, «Using FSM Patterns to Size Security Non-Functional Requirements with COSMIC,» ACM, pp. 64-76, 2017.
- [24] P. Pospieszny, «Software Estimation – towards prescriptive analytics,» ACM, pp. 221-226, 2017.
- [25] A. Saeed, W. H. Butt, F. Kazmi y M. Arif, «Survey of Software Development Effort Estimation Techniques,» ACM, pp. 82-86, 2018.
- [26] J. I. Saavedra Martinez, M. G. Ibarquengoitia Gonzalez y G. Fuentes Pineda, «Estimación del esfuerzo de proyectos de software con algoritmos de aprendizaje de máquinas,» REDALYC, pp. 1-18, 2019.
- [27] W. Amaral, L. Rivero, G. Braz Junior y D. Viana, «Using Machine Learning Technique for Effort Estimation in Software Development,» ACM, pp. 1-6, 2019.

- [28] E. Garón Talero, «ELABORACIÓN DE UN MODELO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLES EFICACES PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS EN PROYECTOS DE SOFTWARE BAJO EL MARCO DE ESTÁNDARES INTERNACIONALES EN EMPRESAS FÁBRICAS DE SOFTWARE EN BOGOTÁ,» Bogotá, D.C., 2019.
- [29] Y. Burcu y O. Merve, «Software Defect Estimation Using Machine Learning,» IEEE, pp. 487-491, 2019.
- [30] H. Vo Van, T. k. N. Ho Le y T. H. Hyunh, «A Review of Software Effort Estimation by Using Functional Points Analysis,» Springer, pp. 408-422, 2019.
- [31] Y. Mahmood, N. Kama y A. Azmi, «A systematic review of studies on use case points and expert-based estimation of software development effort,» WILEY, pp. 1-20, 2019.
- [32] C. E. Carbonera, K. Farias y V. Bischoff, «Software development effort estimation: a systematic mapping study,» IET, pp. 328-344, 2020.
- [33] A. Ali y C. Gravino, «Improving software effort estimation using bio-inspired algorithms to select relevant features: An empirical study,» ELSEVIER, pp. 1-27, 2021.
- [34] I. BLUEMKE y A. MALANOWSKA, «Software Testing Effort Estimation and Related Problems: A Systematic Literature Review,» ACM, pp. 1-38, 2021.
- [35] F. Akhbardeh y H. Reza, «A Survey of Machine Learning Approach to Software Cost Estimation,» IEEE, pp. 405-408, 2021.
- [36] K. ZHANG, X. WANG, J. REN y C. LIU, «Efficiency Improvement of Function Point-Based Software Size Estimation With Deep Learning Model,» IEEE, pp. 107124-107136, 2021.
- [37] PCM, «Directiva N.º 001-2021-PCM/SGD,» 15 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/1976362-001-2021-pcm-sgd>.
- [38] COSMIC, «COSMIC SIZING,» 2015. [En línea]. Available: <https://bit.ly/46eVfs5>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].
- [39] PCM, «Implementación de la Gestión por Procesos en la administración pública,» 03 Setiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/22194-gestion-por-procesos-en-entidades-publicas>.
- [40] R. Marca Quispe, «Mejora del proceso de desarrollo de sistemas de información del OSINFOR aplicando el método COSMIC (Tesis Posgrado),» Lima, 2023.
- [41] OSINFOR, «CARTA N° 00158-2023-OSINFOR/AIP,» Magdalena del Mar, 2023.