



Análisis del impacto de cambios en los requerimientos mediante el modelo 2-tuplas lingüísticas

Analysis of the impact of changing requirements using the 2-tuple linguistic model

Rosa María Renté Labrada¹

Anié Bermúdez Peña²

Roberto Delgado Victore²

¹ Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.

² Centro de Consultoría y Desarrollo de Arquitecturas Empresariales. La Habana. Cuba.

Resumen

Para la gestión de proyectos es de vital importancia analizar el impacto que tiene cambiar los requerimientos durante el ciclo de desarrollo del software. El cumplimiento de los factores de éxito y la toma de decisiones en los proyectos depende en gran medida de cuán precisos pudieran llegar a ser estos cálculos. En los proyectos analizados durante la investigación se constató que se estima el impacto del cambio a partir de métodos empíricos que son vulnerables a la ambigüedad, subjetividad e insuficiencias en el procesamiento lingüístico de los evaluadores. La presente investigación propone un procedimiento para analizar el impacto del cambio en los requerimientos utilizando el modelo de representación lingüística de 2-tuplas, pues permite realizar procesos de computación con palabras de forma sencilla y sin pérdida de información, teniendo en cuenta problemas de decisión con múltiples expertos y múltiples criterios. Los criterios empleados fueron definidos utilizando técnicas de grupos focales. La propuesta expone el procedimiento para analizar el impacto de una solicitud de cambios en los requerimientos del software.

Palabras clave: computación con palabras, gestión de proyectos, impacto del cambio, requerimientos.



Abstract

For project management, it is imperative to analyze the impact of changing the requirements during the software development cycle. The fulfillment of the success factors and the decision making in the projects depends to a great extent on how to arrive at these calculations. In the projects analyzed it was found that the impact of the change is estimated from empirical methods that are vulnerable to ambiguity, subjectivity and insufficiencies in the linguistic processing of the evaluators. The present investigation proposes a procedure for software change impact analysis in the requirements using the 2-tuple linguistic representation model, since it allows to perform computation processes with words in a simple way and without loss of information, taking into account the problems of decision with multiple experts and multiple criteria. The proposal presents the procedure to analyze the impact of changes request in the software requirements.

Keywords: *Computing with Words, Project Management, change impact, requirements.*

Introducción

La gestión de proyectos es un proceso dinámico por lo que, durante el proceso de desarrollo del software, sin importar el tamaño o la complejidad del software, usualmente existe la necesidad de hacer modificaciones. Estas propuestas de cambios constituyen una causa fundamental por la que existen afectaciones en el cumplimiento los compromisos de alcance, tiempo, costo y calidad incidiendo directamente sobre el éxito del proyecto.

De acuerdo al informe *Chaos Report 2015* del *Standish Group*, el porcentaje de proyectos de software exitosos es solo de un 16.2%, un 31.1% de proyectos cancelados y un 52.7% concluidos por encima de los costos y tiempos estimados y con niveles de funcionalidad por debajo de las especificaciones originales. Estas cifras se han mantenido con poca variación desde el 1995 y los factores que lo determinan son principalmente el incremento de la complejidad, la poca madurez de los equipos de proyectos, la debilidad de los conocimientos y habilidades de los profesionales del software, el poco involucramiento de los usuarios y ejecutivos, entre otros aspectos (The Standish Group, 2015). Para este análisis de los proyectos el *Standish Group* utilizó una nueva definición de factores de éxito que incluye: a tiempo, dentro del presupuesto con un resultado satisfactorio lo que hace imprescindible el análisis del impacto de un cambio para eludir afectaciones en el éxito del proyecto.

Los continuos cambios en los requerimientos dificultan la definición de la especificación del proyecto para establecer una línea base de requerimientos y obtener un buen control de los requerimientos de gestión. Los requerimientos indefinidos y en constante cambio son la causa del exceso de costos en los proyectos. La Universidad de Ciencias Informáticas cuenta con la Red de Centros de Desarrollo del Software, la cual está integrada por centros que gestionan diferentes proyectos productivos. Los proyectos de producción de software usualmente son sometidos a solicitudes de cambios de los requerimientos por lo que realizar cambios sin tener una visibilidad del impacto sobre el proyecto, tiene como consecuencias:

- Insuficiencias en las evaluaciones de la afectación al alcance, el tiempo y costos.
- Atrasos en la liberación de versiones.



- Degradación en el diseño del sistema.
- Productos poco confiables.

Además de los elementos anteriormente mencionados otras deficiencias en la evaluación del impacto del cambio es la evaluación empírica del impacto de un cambio en el proyecto. Un análisis realizado a diferentes proyectos de la Universidad de Ciencias Informáticas evidenció que:

- No existe un procedimiento claramente definido para realizar la evaluación del impacto de cambios.
- Para la evaluación del impacto y el establecimiento de aceptar o no una solicitud de cambio no se utilizan métodos científicos que permitan sustentar dichas decisiones.
- No se realiza la evaluación del impacto considerando la propagación del cambio en el resto de los artefactos.
- En los casos en que se aplica algún procedimiento no se analizan todos los factores que pudieran incidir en la complejidad de realizar el cambio.

Las dificultades antes expuestas evidencian deficiencias en el análisis del impacto de una solicitud de cambio en los proyectos, lo que repercute en la toma de decisiones respecto a aceptar o no un cambio. Estas deficiencias unidas a la necesidad de lograr la satisfacción del cliente plantean la importancia de desarrollar un procedimiento para evaluar el impacto de una solicitud de cambio y determinar con mayor exactitud si es viable o no su implementación para lograr satisfacer las expectativas del cliente.

Project Management Institute en su libro PMBOK (PMI, 2013) plantea que, cuando se inicia el proyecto el equipo se debe enfocar en definir el alcance general para el producto y el proyecto, desarrollar un plan para entregar el producto (y todos los entregables asociados), y luego pasar por fases para ejecutar el plan dentro de ese alcance.

En (Viera, 2013) se propone un método para el análisis de impacto de cambios en los requisitos de los proyectos sobre los compromisos de alcance con el cliente. Este método determina la propagación que tiene el cambio de un requisito sobre otros requisitos del proyecto y se propone un algoritmo que arroja como resultado las relaciones de un requisito afectado inicialmente. El impacto se calcula mediante la aplicación de operadores de agregación para procesar información lingüística. En este método no se analiza la propagación del cambio sobre otros artefactos del software, dejando incompleto el análisis para el resto de los productos de trabajo que influyen en el alcance, el tiempo, costo y calidad del proyecto.

En (Halimi & Kama, 2013) se analiza el impacto de cambios en los requerimientos con respecto a la fase de desarrollo y plantea que son propuestos mayor cantidad de cambios durante la fase de mantenimiento. Además, concluye que los cambios propuestos en la fase de requerimientos y diseño tienen una relación significativa, la cual indica que los aumentos de las solicitudes de cambios durante la fase de análisis de requerimientos también aumentarán las solicitudes en la fase de diseño.



Los autores (Lin, Zhang, Sun, & Leung, 2013) definen que las técnicas de análisis de impacto del cambio más utilizadas incluyen tres pasos: (1) analizar las dependencias del software y construir una representación intermedia; (2) para cada elemento cambiado en el conjunto de cambios, realizar un análisis de accesibilidad para obtener los efectos de cambio individuales; y (3) computar el conjunto de impacto basado en la unión de estos efectos del cambio.

En (Gemma & Filomena, 2018) se construye un modelo de predicción del cambio en el software con el fin mejorar los recursos en las actividades de mantenimiento preventivo, inspección del código o revisiones de mejoras. El objetivo del estudio es evaluar las capacidades del conjunto de técnicas: *Boosting*, *Random Forest* y *Bagging* comparando sus mejoras con los clasificadores de aprendizaje automático: *Logistic Regression* y *Naive Bayes*. El estudio concluye que los conjuntos de técnicas tienen algunas mejoras con respecto a las máquinas de aprendizaje automático, aunque esta diferencia es muy pequeña.

En el presente trabajo se muestra un problema de toma de decisión con múltiples expertos y múltiples criterios (GDM) (Martínez, Ruan, & Herrera, 2010), donde cada experto expresa sus valoraciones para analizar y evaluar el impacto de cambios en los requerimientos. Se describe las principales escuelas y estándares de gestión de proyectos en relación al impacto de los cambios en los requerimientos. Se define un procedimiento que describe cómo analizar y evaluar los cambios en los requerimientos durante la gestión de proyectos. El procedimiento utilizado emplea el paradigma de la computación con palabras (CWW) (Zadeh, 1996), y se emplea como modelo de representación lingüística 2-tuplas (Herrera & Martínez, 2001). Luego se presenta una síntesis de su aplicación de manera experimental en un proyecto. Finalmente se exponen las conclusiones y referencias bibliográficas.

Materiales y métodos

PMBOK define la solicitud de cambios como una propuesta formal para modificar cualquier documento, entregable o línea base, que no sólo tratan los requerimientos nuevos o modificados, sino también los fallos y los defectos en los productos de trabajo (PMI, 2013). Por otra parte, el Modelo de Capacidad de Madurez Integrada (CMMI) expone que las solicitudes de cambios se analizan para determinar el impacto que tendrá el cambio en el producto de trabajo, en los productos de trabajo relacionados, en el presupuesto y en el calendario (CMMI, 2010). La norma ISO 21500: 2012, establece una guía para la dirección y gestión de proyectos, describe conceptos y procesos que forman parte de las buenas prácticas en dirección y gestión (ISO, 2012). Esta norma define varios procesos, entre los cuales se encuentra el grupo de materia Integración, en el cual se establece el control de cambios como un proceso necesario, controlando los cambios tanto en los requerimientos como en los productos de trabajo (Stellingwerf & Zandhuis, 2013). PMBOK e ISO: 21500 sugieren como metodologías y herramientas para el control de cambios el juicio de expertos, reuniones y herramientas de control de cambios. Las matrices de trazabilidad se utilizan en ISO 21500: 2012, CMMI y PMBOK como herramientas para controlar los cambios. Sin embargo, estos estándares no describen el procedimiento para evaluar el impacto de los cambios. Este elemento motiva la necesidad de formular un procedimiento que defina con claridad el modo de realizar este análisis; el uso del paradigma de computación con palabras y el modelo de 2-tuplas para la evaluación del impacto de estos cambios, que respaldan el manejo del lenguaje natural.



La computación con palabras, denominado en inglés *Computing with Words* (CWW) es una metodología en la que los objetos de la computación son palabras o frases definidas en un lenguaje natural en lugar de números. Su utilización se extiende a diferentes áreas y disciplinas tal como ingeniería, psicología e inteligencia artificial (Herrera, Da Ruan, & Luis Martínez, 2000). Este trabajo propone la evaluación del impacto del cambio de los requerimientos del software a partir del modelo lingüístico basado en 2-tuplas. Este modelo permite realizar un proceso sencillo y sin pérdida de información (Pérez, 2017).

Procedimiento para el análisis del impacto del cambio utilizando computación con palabras

El procedimiento para el análisis del impacto de cambios describe varias actividades que se integran para ofrecer como salida la evaluación del efecto de una solicitud de cambio durante la gestión de un proyecto, ver Figura 1.

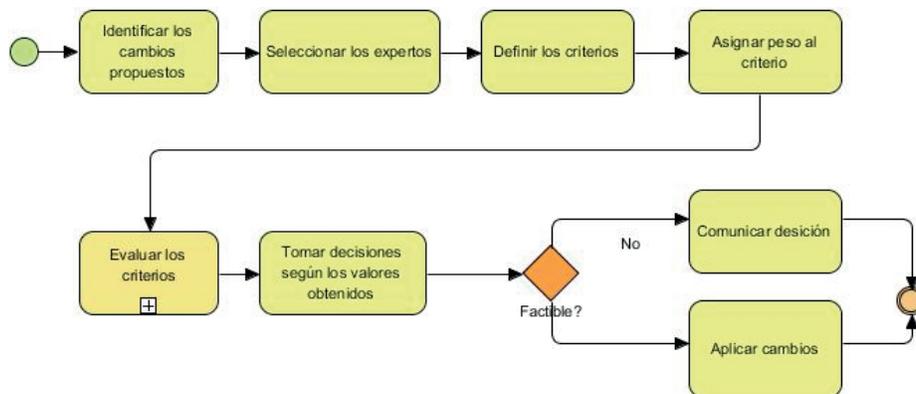


Figura 1. Procedimiento para el análisis del impacto de cambios

A continuación, se describen cada uno de los pasos del procedimiento para una mayor comprensión de la propuesta.

- Seleccionar los cambios propuestos en los requerimientos para los cuales se les analizará el impacto que tendrán sobre el proyecto.
- Seleccionar del grupo de proyecto los expertos que asignarán el nivel de impacto de cambios tomando en cuenta los criterios.
- Definir por el equipo de expertos, los criterios que se tendrán en cuenta para el análisis del impacto de los cambios.
- Determinar el orden de prioridad por criterios asignando un peso a cada criterio.
- Evaluar por el equipo de expertos, cada uno de los criterios.
- Los directores de proyectos toman decisiones según los valores obtenidos.

El subproceso para evaluar criterios incluye las siguientes actividades, ver Figura 2:

- Identificar el valor de preferencia de cada experto para expresar su opinión (numérico, intervalo o lingüístico).
- Acoplar las preferencias de cada experto a partir del dominio lingüístico. Dadas las diferencias de dominios lingüísticos emitidos por los expertos se hace necesario transformarlas a un único dominio.
- Determinar el valor agregado de los expertos por cada petición de cambio, que consiste en obtener un valor que resuma un conjunto de valores, en este caso el valor brindado por los expertos para cada uno de los criterios (Peña, Rodríguez, & Piñero, 2016).
- Evaluar cada solicitud cambio, unificando en una clasificación los diferentes criterios teniendo en cuenta el peso de cada criterio.
- Obtener la evaluación final del impacto que tiene cada cambio en el proyecto.

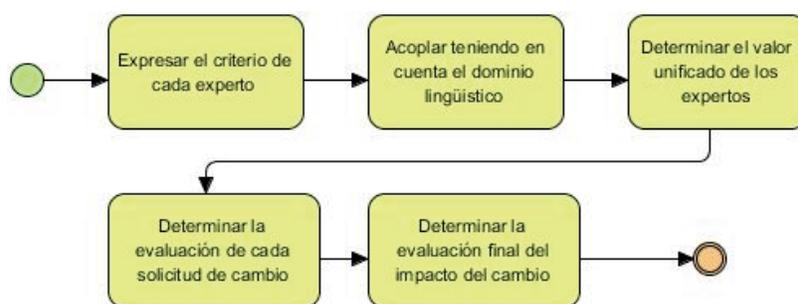


Figura 2. Subproceso Evaluar criterios

Las valoraciones brindadas por los expertos se definen con el vector de preferencias $X = (X_j^{ki}, \dots, X_n^{pm})$, en el cual X_j^{ki} indica la opinión del experto e_i sobre la solicitud de cambio SC_j en los requerimientos del proyecto de acuerdo con el criterio c_k . Los expertos podrán emitir sus preferencias a través de diferentes dominios de información. La utilización de uno u otro estará condicionada por: la naturaleza de los criterios a evaluar, su pertenencia a diferentes áreas de conocimiento y su nivel de conocimiento sobre el problema. Los criterios $c_k = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6\}$, para medir el impacto del cambio corresponden a criterios definidos previamente tales como: tipo de cambio de requerimientos, propagación del cambio, fase de desarrollo, prioridad del cambio, tiempo empleado, número de recursos empleados. Luego, los expertos a través de un juicio comparativo ordenan los criterios como se define en (Cervantes & Zulueta, 2015), lo que se convierte en el peso asociado a cada uno de los criterios, ver Tabla 1.

Tabla 1. Criterios para medir el impacto del cambio en los requerimientos del software. Fuente: Elaboración propia.

Criterios	Descripción	peso
C_1 : Tipo de cambio de requerimientos	Se refiere a las clasificaciones dadas al cambio realizado (Agregar, modificar, eliminar)	0.33

C ₂ : Propagación del cambio	Se refiere al impacto que un cambio tiene sobre el resto de los productos del proyecto según la cantidad de productos y la complejidad de los mismos.	0.27
C ₃ : fase de desarrollo	Se refiere a la fase dentro del ciclo de desarrollo (según la metodología utilizada) donde se produce el cambio.	0.13
C ₄ : Prioridad del cambio	Se refiere al orden del cambio según su importancia.	0.06
C ₅ : Tiempo empleado	Se refiere al tiempo propuesto para realizar el cambio.	0.12
C ₆ : Recursos empleados	Se refiere a los recursos humanos y materiales propuestos para realizar el cambio.	0.08

Como conjunto básico de términos lingüísticos (CBTL) se propone a $ST = \{N; MB; B; M; A; MA; MX\}$, donde $s_0 = N; s_1 = MB; s_2 = B; s_3 = M; s_4 = A; s_5 = MA; s_6 = MX$, En este conjunto $s_i < s_j$ y sólo si $i < j$, como se muestra en la figura 3.

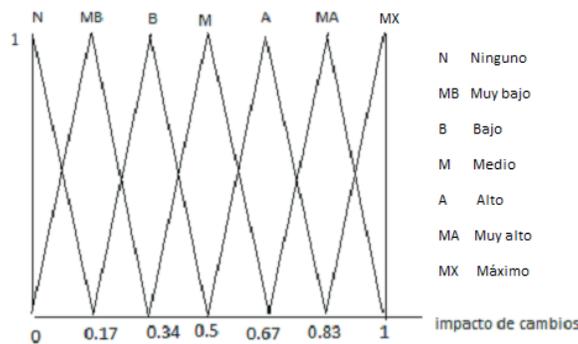


Figura 3. Términos lingüísticos utilizadas por los expertos. Fuente. Elaboración propia.

Para agregar el criterio de varios expertos se aplica el modelo de 2-tuplas de la computación con palabras, para manejar la información heterogénea y obtener resultados lingüísticos más completos y aún más cerca del modelo cognitivo humano, donde el procesamiento de la información se realiza directamente en las etiquetas.

Tomando en consideración a (Torres, 2015), fueron calculados los valores colectivos de los criterios utilizando el operador “media aritmética para 2-tuplas” el cual se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$\bar{x}^e(x) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta^{-1}((s_i, a_i)) \right) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right) \quad (1)$$

Siendo $x = \{(s_1, a_1); \dots; (s_n, a_n)\}$, $\Delta^{-1} = i + \alpha = \beta$

Utilizando el operador “media ponderada para 2-tuplas” como se expone en (2) se calcula el impacto de cada cambio en el proyecto. Siendo $W = ((w_i, \alpha_i), \dots (w_m, \alpha_m))$ un vector numérico con los pesos asociados a cada x_i .

$$\bar{x}^w(x) = \Delta \left(\frac{\sum_{i=1}^n \Delta^{-1}((s_i, \alpha_i)) \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{i=1}^n \beta_i \times w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \right) \quad (2)$$

Una vez obtenidos los resultados se analizan los valores calculados en el proceso, con el propósito de identificar el impacto de los cambios y apoyar en la toma de decisiones a los líderes de proyecto y la gerencia.

Como todo proceso, el análisis de impacto de cambios demanda de una mejora continua, para ello requiere participación y compromiso de todos los involucrados y una planificación correcta de las actividades a realizar. Luego de aplicado el proceso es necesario evaluar nuevamente los procesos definidos, medir y evaluar cada una de las partes del proceso analizando las variables involucradas. Se deben analizar e interpretar los resultados obtenidos y si existen problemas identificar sus causas, y en caso necesario llevar a cabo las acciones necesarias para mejorar el proceso adecuándolo a nuevos objetivos si fuese preciso.

Resultados y discusión

Para el análisis del impacto del cambio en los requerimientos se seleccionó una muestra de 5 proyectos del Centro de Informatización de la Gestión Documental de la UCI. En este ejemplo se presenta un caso de estudio de un proyecto encaminado a informatizar y organizar los procesos documentales de las empresas.

El cliente durante la fase de desarrollo formaliza 3 solicitudes de cambios (SC) a los requerimientos debido a imprecisiones no encontradas en la etapa de definición de requerimientos. Para el análisis de este proyecto se consideraron como evaluadores el conjunto de expertos $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6\}$, integrantes del comité de control de cambios y dos directivos del centro. Los expertos cumplen con los siguientes requerimientos:

- El 100 % tienen más de 3 años de experiencia como miembros de equipos de desarrollo del software.
- El 66,7% tienen experiencia como desarrolladores de sistemas.
- El 50% tienen experiencia como líderes de proyectos.

Los expertos expusieron sus valores de preferencias mediante una reunión explicándole el objetivo de la evaluación, los cuales fueron unificados y expresados en el dominio lingüístico de 2-tuplas. Estos resultados fueron utilizados para computar el valor colectivo de cada criterio por cada cambio propuesto utilizando el operador “media aritmética para 2-tuplas definido en (1), ver Tabla 2, “Resultado de la agregación de la evaluación de los expertos (Lingüística y numérica)”.

Tabla 2. Agregación de la evaluación de múltiples expertos aplicando 2-tuplas de la CWW

Solicitudes de cambios al proyecto	Experto/ Criterio	C1		C2		C3		C4		C5		C6	
SC ₁	Experto 1	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	MB	(S ₁ ,0)
	Experto 2	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	M	(S ₃ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)
	Experto 3	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)
	Experto 4	M	(S ₃ ,0)	MB	(S ₁ ,0)	A	(S ₄ ,0)	B	(S ₂ ,0)	MB	(S ₁ ,0)	MB	(S ₁ ,0)
	Experto 5	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)
	Experto 6	MA	(S ₅ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)
Resultado de la agregación de la evaluación de los expertos (Lingüística y numérica)		(s ₃ ,-0.03) 0.47		(s ₃ ,-0.02) 0.48		(s ₄ ,-0.07) 0.59		(s ₄ ,-0.05) 0.62		(s ₁ ,0.04) 0.39		(s ₂ ,0) 0.34	
SC ₂	Experto 1	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	B	(S ₂ ,0)	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)
	Experto 2	M	(S ₃ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	M	(S ₃ ,0)	MA	(S ₃ ,0)
	Experto 3	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	B	(S ₂ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)	M	(S ₃ ,0)
	Experto 4	MB	(S ₁ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)
	Experto 5	MA	(S ₅ ,0)	M	(S ₃ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	A	(S ₄ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	B	(S ₂ ,0)
	Experto 5	B	(S ₂ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	B	(S ₂ ,0)
Resultado de la agregación de la evaluación de los expertos (Lingüística y numérica)		(S ₃ ,0) 0.50		(S ₃ ,0.03) 0.53		(s ₄ ,-0.07) 0.59		(S ₃ ,-0.02) 0.48		(S ₃ ,-0.02) 0.48		(S ₃ ,0) 0.50	
SC ₃	Experto 1	M	(S ₃ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	B	(S ₂ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)
	Experto 2	MA	(S ₅ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₁ ,0)
	Experto 3	A	(S ₄ ,0)	MB	(S ₁ ,0)	MA	(S ₅ ,0)	M	(S ₃ ,0)	MB	(S ₁ ,0)	B	(S ₂ ,0)
	Experto 4	B	(S ₂ ,0)	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)	B	(S ₂ ,0)	MB	(S ₁ ,0)
	Experto 5	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)	A	(S ₄ ,0)	A	(S ₄ ,0)	B	(S ₂ ,0)	M	(S ₃ ,0)
	Experto 5	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	A	(S ₄ ,0)	M	(S ₃ ,0)	B	(S ₂ ,0)	B	(S ₂ ,0)
Resultado de la agregación de la evaluación de los expertos (Lingüística y numérica)		(s ₄ ,-0.07) 0.59		(S ₃ ,0) 0.50		(s ₄ ,-0.06) 0.61		(S ₃ ,0.06) 0.56		(S ₂ ,0.03) 0.37		(S ₃ ,-0.03) 0.31	

Luego de ser agregadas las evaluaciones de los expertos se procede a calcular los valores del impacto global de cada criterio sobre el proyecto. Esta información constituye el elemento principal para tomar decisiones respecto a aceptar o no un cambio solicitado en el proyecto.

Tabla 3. Resultado de la evaluación del impacto de cambios, realizada por múltiples expertos aplicando 2-tuplas de la CWW

Cambios propuestos	Criterios	Evaluación agregada de los expertos	Evaluación del impacto de los cambios en el proyecto
SC ₁	C ₁	(s ₃ , -0.03)	0.46
	C ₂	(s ₃ , -0.02)	
	C ₃	(s ₅ , -0.07)	
	C ₄	(s ₄ , -0.05)	
	C ₅	(s ₁ , 0.04)	
	C ₆	(s ₂ , 0)	
SC ₂	C ₁	(S ₃ , 0)	0.5
	C ₂	(S ₃ , 0.03)	
	C ₃	(s ₄ , -0.07)	
	C ₄	(S ₃ , -0.02)	
	C ₅	(S ₃ , -0.02)	
	C ₆	(S ₃ , 0)	
SC ₃	C ₁	(s ₄ , -0.07)	0.5
	C ₂	(S ₃ , 0)	
	C ₃	(s ₄ , -0.06)	
	C ₄	(S ₃ , 0.06)	
	C ₅	(S ₂ , 0.03)	
	C ₆	(S ₃ , -0.03)	

Como consecuencia de la aplicación de la propuesta y el resultado logrado se pudo apreciar que los cambios planteados tendrían un impacto medio en el proyecto, por lo que fue aceptada su implementación. Los equipos por su parte pueden definir sus propios criterios de manera conjunta para analizar el procedimiento planteado. Este sería un modo de contribuir con la relación del equipo y aumentar los niveles de motivación, así como aumentar los niveles de interés y compromiso de los miembros de los equipos. Se constató que los equipos de proyectos deben tener en cuenta el procedimiento para mejorar la evaluación del impacto de los proyectos debido a una mayor claridad y precisión en los resultados obtenidos.

En la validación de la propuesta se aplicó el método multicriterio basada en la evaluación cualitativa brindada por los expertos, con el objetivo de verificar la calidad del método propuesto. Por lo que se definió el objetivo de la evaluación y fueron seleccionados los expertos teniendo en cuenta su experticia,



tanto teórica como práctica, sobre el dominio tratado. Luego se elaboró un cuestionario y finalmente se procesaron los criterios recogidos en la evaluación, lo que permitió determinar el índice de aceptación de la solución, con el objetivo de evaluar el procedimiento propuesto para el análisis de impacto de cambios en los requerimientos. De una propuesta de 20 expertos se seleccionaron 10 expertos a participar. Para determinar el coeficiente de competencia de los expertos teniendo en cuenta (Estrada, 2015) se utilizó:

$$K = \frac{(K_c + K_a)}{2} \quad (3)$$

Donde:

K_c (coeficiente de conocimiento) se refiere al conocimiento que tiene el experto sobre el análisis de impacto de cambios y K_a (coeficiente de argumentación) se refiere a las fuentes de argumentación a partir de las cuales ha logrado ese conocimiento.

De los diez expertos seleccionados, siete obtuvieron un índice alto y tres un índice medio, lo que demuestra confiabilidad en los criterios emitidos, teniendo en consideración la propuesta realizada por (Barroso & Cabero, 2013) donde se tuvieron en cuenta los siguientes índices de competencia:

Si $0,8 < K \leq 1$: el coeficiente de competencia es alto.

Si $0,7 \leq K \leq 0,8$: el coeficiente de competencia es medio.

Si $0,5 \leq K \leq 0,7$: el coeficiente de competencia es bajo.

Para evaluar el cuestionario se emplearon indicadores definidos utilizando escala numérica (del 1 al 5) o cualitativa (muy bajo, bajo, medio, alto, muy alto). Se determinó la concordancia entre los expertos utilizando el coeficiente de Kendall (W) según lo expuesto en (Triana, 2015). Se aplicó la prueba de significación de hipótesis para comprobar el grado de significación de Kendall, planteándose como hipótesis nula H_0 que no existe concordancia entre los expertos y H_1 que existe concordancia entre los expertos. El resultado del cálculo de Chi cuadrado demostró la concordancia entre los expertos cumpliéndose que $X^2_{real} < X^2(\alpha, C-1)$, demostrando la validez de la hipótesis alternativa H_1 .

De los indicadores analizados se muestra en la Figura 4 un resumen de los resultados obtenidos:

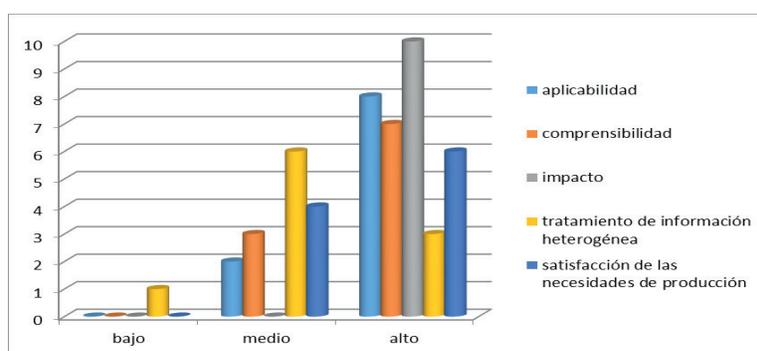


Figura 4. Evaluación de los expertos para los indicadores analizados. Fuente. Elaboración propia.

La solución propuesta tiene un impacto social al beneficiar los centros de desarrollo, donde se gestionan gran cantidad de proyectos anualmente y gran mayoría se enfrentan a solicitudes de cambios. Contribuir a la toma de decisiones para aceptar o rechazar un cambio, incidir sobre las situaciones negativas e insatisfacciones al aceptar cambios que afectan el éxito del proyecto. Favorecer a los usuarios que trabajan en los proyectos al disminuir el tiempo y esfuerzo empleados por los usuarios para la toma de decisiones. Incidir sobre el proceso de gestión de los cambios, el cual se realiza de forma ágil y cómoda, elevando la calidad de vida de los usuarios. Contribuir con el proceso de mejora de la universidad con la definición de un proceso para el análisis de impacto del cambio. Favorecer la sustitución de importación de otras herramientas para el análisis de impacto de los cambios. Favorecer el cumplimiento del tiempo de duración establecido para el proyecto al estimar el impacto de un cambio con mayor exactitud. Contribuir al éxito del proyecto de software con repercusión en más ingresos y más clientes. Garantizar el cumplimiento del presupuesto establecido para el proyecto al tener estimaciones más exactas en caso de solicitud de cambio. Garantizar un mayor uso de las matrices de trazabilidad como herramientas para la gestión proyectos al plantear su necesidad dentro del procedimiento para evaluar el impacto de cambios.

Conclusiones

La utilización de un procedimiento para la evaluación del impacto de cambios basada en el modelo lingüístico 2-tuplas, destinado a la resolución de problemas de toma de decisiones definidos en marcos lingüísticos contribuyó con una mayor organización y precisión de trabajo de los equipos de proyectos. La evaluación del impacto de cambios en los requisitos del software brinda utilidad y eficacia, permitiendo tomar decisiones en un marco de evaluación flexible en el que los expertos pueden expresar su evaluación de acuerdo con la naturaleza heterogénea de los criterios y de este modo tomar decisiones.

Referencias

- Barroso, J., & Cabero, J. (2013). *La utilización del juicio de experto para la evaluación de TIC: el Coeficiente de Competencia Experta*.
- Estrada, A. (2015). *Método de análisis cualitativo de riesgos con información heterogénea basado en el Modelo de Representación Lingüística 2-tuplas*. Tesis de maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.
- F. Chiclana, F. Herrera, & E. Herrera-Viedma. (1998). Integrating three representation models in fuzzy multipurpose decision making based. *Fuzzy Sets and Systems*, 33-48.
- Felix, G., Calero, C., Renier, E., & Bello, R. (2015). Aplicación de la computación con palabras en la evaluación del impacto de la capacitación. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n193.44553>
- Gemma, C., & Filomena, F. (2018).
- Ensemble Techniques for Software Change Prediction: A Preliminary Investigation. *IEEE*.
- Group., T. S. (2018). *Standish Group 2015 Chaos Report - Q&A with Jennifer Lynch*. InfoQ. Obtenido de Standish
- Group 2015 Chaos Report - Q&A with Jennifer Lynch. InfoQ: Recuperado de: <https://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015>



- Halimi, N., & Kama, N. (2013). A Change Impact Size Estimation Approach during the Software Development. *22nd Australian Conference on Software Engineering*.
- Herrera, F., & Martínez, L. (2000). An approach for combining linguistic and numerical information based on the 2 tuple fuzzy linguistic representation model in decision-making. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 539-562.
- Herrera, F., Da Ruan, & Luis Martínez. (2009). A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions On Fuzzy*, 746-752.
- ISO. (2012). *ISO 21500:2012 Guidance on Project Management*.
- Lin, B., Zhang, Q., Sun, X., & Leung, H. (2013). Using water wave propagation phenomenon to study software change impact analysis. *Advances in Engineering Software*, 45-53.
- Marcano, A., Scarlet, C., Henry, P., & Williams, M. (2012). *Estimación de pesos ponderados de variables para la generación de mapas de susceptibilidad a través de la Evaluación Espacial Multicriterio (EEM)*.
- Martínez López, L. (2009). *Un nuevo modelo de representación de información lingüística basada en 2 tuplas para la agregación de preferencias lingüísticas*. Granada.
- Martínez, L., Ruan, D., & Herrera, F. (2010). Computing with words in decision support systems: An overview on models and applications. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 382-395.
- Nurmuliani, N., D. Zowghi, & S. P. Williams. (2006). Requirements volatility and its impact on change effort: Evidence-based research. *Proceedings of the 11th Australian Workshop on Requirements Engineering*. Adelaide.
- O'Neal, J. S., & D. L. Carver. (2001). Analyzing the impact of changing requirements in Proceedings of the IEEE International Conference. Florence, Italy.
- Peña, M., Rodríguez, C., & Piñero, P. (2016). Computacion con palabras para el analisis de factibilidad de proyectos de software. *Tecnura*, 69-84. doi:10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.4.a05
- Pérez, Y. (2017). *Método para la clasificación de interesados basado en técnicas de soft computing y estilos de aprendizaje*. Tesis de Maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.
- PMI. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. Pennsylvania: Project Management Institute.
- Saaty, T. L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational*, 9-26.
- Sharif, B., Shoab, Khan, A., & Wasim Bhatti, M. (2012). Measuring the Impact of Changing Requirements on Software. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 170-174.
- Stellingwerf, A., & Zandhuis, R. (2013). *ISO21500: Guidance on project management - A Pocket Guide*. Van Haren Publishing.
- Torres, S. (2015). *Modelo de evaluación de competencias a partir de evidencias durante la gestión de proyectos*. Tesis de Doctorado, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.
- Triana, B. (2015). *Método para elaborar portafolios de proyectos determinando su factibilidad y orden de ejecución*. Tesis de maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.



Ciencias informáticas: investigación, innovación y desarrollo

Viera, Y. (2013). *Método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos de los proyectos sobre los compromisos de alcance con el cliente*. Tesis de maestría, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana.

Zadeh, L. (1996). Fuzzy logic = computing with words. . *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 103-111.



Este contenido se publica bajo licencia CC-BY 4.0

