

UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

Facultad 5. Laboratorio de Investigaciones en Gestión de Proyectos

Facultad 2. Centro Informatización de la Seguridad Ciudadana



Método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos de los proyectos sobre los compromisos de alcance con el cliente

Trabajo final presentado en opción al título de

Máster en Gestión de Proyectos Informáticos

Autor:

Ing. Yanay Viera Lorenzo

Tutores:

MSc Surayne Torres López

Dr.C Pedro Y. Piñero Pérez

La Habana, junio de 2013

Agradecimientos

A mi familia, quienes me han dado tanto apoyo y han sido las personas más constantes en mi vida.

A mi tutor, por orientarme y guiarme hacia el fin de la investigación y por enseñarme que siempre hay mejores formas de hacer las cosas.

A mis amigos, que me dieron tanto ánimo y estuvieron siempre a mi lado en todos los momentos difíciles que me tocaron vivir.

Y a todas aquellas personas que pusieron su granito de arena en la elaboración de esta tesis.

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA

Declaro por este medio que yo Yanay Viera Lorenzo, con carné de identidad 84111614017, soy el autor principal del trabajo final de maestría *Método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos de los proyectos sobre los compromisos de alcance con el cliente*, desarrollada como parte de la Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos y que autorizo a la Universidad de las Ciencias Informáticas a hacer uso de la misma en su beneficio, así como los derechos patrimoniales con carácter exclusivo.

Y para que así conste, firmo la presente declaración jurada de autoría en La Habana a los ____ días del mes de _____ del año 2013.

Yanay Viera Lorenzo

RESUMEN

Los requisitos delimitan el alcance de los proyectos e influyen en su éxito o fracaso. Durante su ciclo de vida, los requisitos están sujetos a cambios que afectan, además del alcance, los costos, el tiempo y productos de trabajo del proyecto. Mediante entrevistas, estudios de trabajos de otros autores y análisis de documentos realizados por la propia autora de la tesis, se identificaron problemas en la gestión de los cambios en los proyectos, tanto en los procesos como en las herramientas informáticas que soportan su gestión. Es por ello, que en la presente investigación se elaboró un método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos que afectan los compromisos de alcance de los proyectos. En la determinación del impacto se utilizó un modelo computacional que permitió gestionar la incertidumbre en las relaciones entre los requisitos. La elaboración del método conllevó a desarrollar un paquete en PL/R, a fin de mejorar la capacidad de ayuda a la toma de decisiones con respecto a los cambios en los requisitos del Paquete para la Gestión de Proyectos GESPRO. Para determinar la validez del método, se realizaron comparaciones con otros métodos encontrados en la bibliografía y se realizó un análisis de la mejora en la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de GESPRO con respecto a los cambios en los requisitos. Se demostró, además, que el método es económicamente viable para ser utilizado en Cuba.

Palabras claves: análisis de impacto, cambios, herramientas, incertidumbre, requisitos, toma de decisiones

ABSTRACT

In the management of projects, requirements generally restrict the scope and influence the success or failure of them. They may undergo changes which affect not only such scope but also the costs, the time and the outcomes of the project work throughout the whole process of development. By means of interviews, the study of papers published by different authors, and the analysis of documents performed by the author of this thesis herself, it was possible to identify some problems in the management of changes within the projects, either in the process or the informatics tools which support the management itself. That is the reason why this research aimed at elaborating a method for the analysis of the impact of the changes on the requirements which affect the commitment of scope in the projects. In order to determine the impact, a computational model was put into practice which allowed to manage the uncertainty of the relations among the requirements. The development of this method also involved the creation of a package in PL/R so as to improve the capacity to help decision making in reference to the requirements of the Package for Project Management GESPRO. For determining the validity of the method, they were realized comparisons with others methods found in the bibliography and it was realized an analysis of the improvement in the capacity to help the decision making of GESPRO related with requirements changes. Finally, it was also established the economic feasibility of the method to be used in Cuba.

Keywords: *changes, decision making, impact analysis, requirements, tools, uncertainty*

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: LA GESTIÓN DE CAMBIOS EN LOS REQUISITOS DE LOS PROYECTOS.....	11
1. Introducción.....	11
2. Análisis bibliométrico	11
3. La gestión de los compromisos de alcance con el cliente en proyectos.....	12
4. La gestión de cambios en los proyectos	13
4.1. La gestión de cambios en los proyectos informáticos	14
4.1.1. Técnicas de análisis de impacto de los cambios.....	17
4.1.2. Indicadores de análisis de impacto de los cambios	21
4.1.3. Herramientas para análisis de impacto de los cambios	22
4.2. La gestión de alcance y de los cambios en las herramientas de gestión de proyecto	24
4.3. Valoración de la gestión de cambios en los requisitos	25
5. La incertidumbre en la gestión de los cambios en requisitos	26
6. Conclusiones parciales.....	28
CAPÍTULO 2: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN LOS REQUISITOS.....	30
1. Introducción.....	30
2. Etapas del método.....	30
3. Caracterización del cambio.....	31
4. Las relaciones entre requisitos	32
4.1. La percepción en las relaciones entre requisitos	35
4.1.1. Selección del conjunto de términos lingüísticos y su semántica	36
5. Algoritmo para determinar la propagación del impacto	37
6. Estimación del impacto de los cambios en los requisitos.....	39
6.1. Otros indicadores de apoyo a la toma de decisiones.....	42
7. Conclusiones parciales.....	43
CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MÉTODO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	45
1. Introducción.....	45
2. Descripción del estado actual de la gestión de alcance en GESPRO	45
3. Síntesis de la aplicación del método en GESPRO.....	46

4.	Análisis de los algoritmos propuestos	49
4.1.	Complejidad temporal.....	49
4.2.	Comparación con otros algoritmos	50
5.	Análisis de la competitividad en el mercado del método propuesto	50
5.1.	Comparación del método con otras técnicas de análisis de impacto de los cambios en proyectos	51
5.2.	Análisis de impacto económico.....	60
6.	Análisis de la incidencia del método propuesto en la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente.....	61
6.1.	Nivel de operatividad	61
7.	Conclusiones parciales.....	62
	CONCLUSIONES GENERALES	64
	RECOMENDACIONES	65
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
	ANEXOS	71
	Anexo 1: Entrevista para determinar estado actual de la gestión de cambios de los requisitos en los centros de la UCI	71
	Anexo 2: Listado de proyectos donde ha participado la autora	71
	Anexo 3: Corrección de los algoritmos.....	72
	Anexo 4: Cálculo de los costos de la integración de la solución informática a GESPRO	74

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos continúa su auge en la sociedad y sus organizaciones aunque la mayoría de los proyectos que fallan lo hacen por las pobres prácticas de gestión que se aplican (Austin Community College District, 2012).

Hoy en día existen problemas que provocan que el producto final de un número considerable de proyectos no cumpla las expectativas del cliente en el tiempo y costo establecidos. Si alguna de estas variables no se cumple según lo pactado, el producto final puede carecer de calidad, provocando pérdidas y descontento tanto del cliente como del personal que lo desarrolla.

Estrechamente relacionado con las expectativas del cliente, se encuentra la gestión de alcance del proyecto. El alcance define los objetivos del proyecto, sus fronteras, los requisitos que debe incluir y puede delimitar las características que no debe incluir el producto. Por lo tanto, el alcance de un proyecto concreta compromisos con el cliente en cuanto a las características y servicios que debe brindar un producto.

La gestión de alcance incluye los procesos de recopilación de requisitos, definición del alcance, creación de una estructura de entregables y trabajos del proyecto desglosados así como la verificación y control del mismo (PMI, 2008). Los dos últimos procesos permiten controlar las desviaciones en el alcance inicial de un proyecto que vienen dadas por (Haughey, 2011):

- Pobre análisis de los requisitos.
- No involucramiento de los usuarios desde etapas tempranas.
- Subestimar la complejidad del proyecto.
- Falta de control de cambios.
- Construir productos “chapado en oro” (agregar al producto elementos que están fuera de su alcance).

Algunos autores respaldan los problemas dados en los proyectos en el ámbito del análisis pobre de los requisitos y la falta de control de cambios:

Wieggers (2003) afirma que muchos de los problemas en los proyectos “proviene de defectos en las formas en que las personas capturan, documentan, llegan a un acuerdo, y modifican los requisitos del producto (...) Las áreas de problemas pueden incluir captura informal de información, funcionalidades implícitas, erróneas o asunciones no comunicadas, inadecuada definición de los requisitos, y un proceso de cambios no planeado.”

En una encuesta realizada por la empresa multinacional *International Business Machines* (IBM) a organizaciones en el ámbito del software, arrojó que las mismas tenían un gasto de hasta un 60% referido a tiempo y presupuesto por el pobre empleo de funciones de análisis de requisitos. Si los requisitos se definen y se gestionan correctamente, el número de requisitos omitidos, incompletos o poco precisos en los proyectos se pueden reducir hasta un 20% (IBM, 2011).

El *Standish Group* colecciona información de proyectos en la industria de las Tecnologías de la Información (TI). A partir de un estudio concluyó que, algunas de las razones de por qué muchos proyectos de TI fallan en alcanzar las funcionalidades planificadas en el cronograma y dentro del presupuesto, se deben a la falta de entradas de usuarios, requisitos incompletos, y cambios en los requisitos (The Standish Group, 1995).

Desde 1994 el *Standish Group* ha publicado los Reportes CHAOS que entre sus resultados arrojan el número de proyectos exitosos, en riesgo y fracasados. Estudios realizados por Domínguez (2009) y Schwaber y otros (2012) permitieron resumir los resultados publicados en los Reportes CHAOS (Ver Tabla 1).

Tabla 1 Proyectos exitosos, en riesgo y fracasados (elaboración propia)

	1994	1996	1998	2000	2002	2004	2006	2009	2010
Exitosos	16%	27%	26%	28%	34%	29%	35%	32%	37%
En riesgo	53%	33%	46%	49%	51%	53%	46%	44%	42%
Fracasados	31%	40%	28%	23%	15%	18%	19%	24%	21%

Este reporte muestra que el número de proyectos fracasados y en riesgo aún es considerable hoy en día. Entre las causas por las que fracasan estos proyectos, asociadas a los requisitos, están (The Standish Group, 1995):

- Requisitos incompletos, 13.1%
- Falta de involucramiento de los usuarios, 12.4%
- Expectativas no realistas, 9.9%
- Cambios de requisitos, 8.7%

La tabla 1 demuestra que a partir de los años '90, en el ámbito de las TI, se sufre una crisis. A esto se debe que los proyectos fallen, el presupuesto se exceda y no se cumplan las expectativas de los clientes.

Un estudio realizado por André Ampuero (2009), en Cuba y a nivel internacional, arrojó que entre los problemas de los productos de software están la pobre determinación de los requisitos que deben satisfacer y los cambios en los requisitos, unido a un proceso con inadecuado control de los cambios.

En un diagnóstico realizado en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) (Calisoft, 2008) en el 2008, se concluyó que entre los indicadores que más influyen en el éxito de los proyectos está la definición de los requisitos con un 12.69%. Este es uno de los tres primeros indicadores que deben mejorarse, superado solamente por Planificación y Trabajo en equipo. Dicho diagnóstico arrojó, además, que en la tendencia al empleo de herramientas informáticas había un pobre uso de herramientas de gestión de requisitos.

Los análisis realizados muestran elementos comunes que afectan los proyectos a nivel internacional y nacional: la definición de los requisitos y la gestión de los mismos, dentro de la cual tiene un peso importante la gestión de los cambios. Para mantener el control de los cambios en los requisitos se emplean técnicas y herramientas que ayudan a tomar una decisión con respecto a la ejecución de un cambio dado.

Los cambios en los requisitos son inevitables y pueden afectar otros elementos involucrados en el desarrollo de un producto, pero es importante valorar el impacto que puedan causar los cambios sobre ellos. Muchos proyectos no se preocupan por el análisis de impacto de los cambios en los requisitos y esta puede ser una causa de fracaso.

El análisis de impacto de los cambios en los requisitos es una técnica para predecir los efectos potenciales de los cambios antes de que sean hechos o medir los efectos potenciales de los cambios después que sean hechos (Lee, y otros, 1996). Al analizar el impacto de un cambio se determina su alcance, “el porcentaje que cambiará el proyecto y la complejidad técnica que presentará dicho cambio” (Quintana Torres, y otros, 2008). Según Bohner y otros (1996) el análisis de impacto de los cambios es un aspecto clave de una responsable gestión de requisitos. Este análisis provee un acertado entendimiento de las implicaciones de un cambio propuesto, lo cual ayuda a los gestores de proyecto a tomar decisiones sobre las solicitudes de cambio a aprobar. Para lograr mayor precisión en la evaluación del impacto, se requiere identificar las relaciones entre los requisitos del proyecto. Estas relaciones pueden estar sujetas a cierto nivel de incertidumbre al precisarse el grado de dependencia entre sí. Tanto las relaciones como la fortaleza que asocia dos requisitos, son aspectos que posibilitan realizar evaluaciones de impacto más certeras al influir en la propagación del impacto de los cambios. Por otro lado, realizar el análisis de impacto antes de hacer un cambio “reduce los riesgos de embarcarse en un costoso cambio porque el costo de los

problemas inesperados generalmente incrementa con el retraso de su descubrimiento” (Lee, 1998).

Un estudio realizado a 48 proyectos de la UCI entre 2005 y 2008 por Ril Valentin (2012), arrojó los siguientes problemas que afectan la gestión de alcance en los proyectos:

- No existía relación directa en la redacción del alcance de la ficha y la solución planteada.
- Se ejecutaron alcances sin respaldo legal.
- No se definió un sistema de control de cambios.
- Surgieron cambios del cliente una vez que fueron capacitados.
- Se realizó levantamientos de requisitos en serie lo que provocó que los últimos módulos generaran cambios.

Los tres últimos problemas identificados en este estudio demuestran que existen deficiencias en la gestión de cambios en los proyectos. En este marco se encontraron algunos problemas a partir de una entrevista (Ver Anexo 1: Entrevista para determinar estado actual de la gestión de cambios de los requisitos en los centros de la UCI) realizada a directivos, líderes de proyectos y analistas principales de los distintos centros de desarrollo de la UCI, lo que representó un 57,69% del total de centros. Los problemas encontrados respecto a la gestión de cambios en los proyectos se centran en:

- Atrasos en los tiempos de ejecución de los proyectos debido a la ejecución de cambios surgidos, desde su documentación hasta su implementación.
- No se aplican directrices de trazabilidad. A ello se debe que existan elementos sobre los que influye un cambio que quedan fuera del alcance de su ejecución incluyendo otros requisitos.
- Existen proyectos donde no está conformado un comité de gestión de cambios que avale la aprobación de las peticiones de cambios propuestas. De ahí que la responsabilidad de la ejecución de los cambios muchas veces recaiga sobre una única persona.
- No existen formas de medir cuantitativa y cualitativamente el impacto que pueda tener un cambio sobre el alcance de los proyectos. Esto provoca predicciones inexactas del impacto del cambio.

A partir de los problemas encontrados en los centros de desarrollo de la UCI se pudo identificar que actualmente no se cuenta con un conjunto de técnicas que permitan minimizar los problemas dados a partir de la gestión de los cambios en los requisitos.

Otros problemas asociados a la gestión de los cambios en los requisitos fueron detectados a partir de la observación participativa de la autora con el rol de líder de subproyecto en el proyecto Prisiones Venezuela y el rol de analista en los proyectos Prisiones Cuba y Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas (CICPC) (Ver Anexo 2: Listado de proyectos donde ha participado la autora). La aplicación de este método arrojó que:

- Durante todo el ciclo de vida de un proyecto surgen continuamente nuevos requisitos que pueden afectar requisitos capturados con anterioridad y que se encontraban estables en el proyecto.
- Cuando existe un cambio en los requisitos no se actualizan los requisitos con los que se relaciona. Esto se debe a que no se documentan correctamente las relaciones entre los requisitos teniendo implicaciones en la calidad del producto final.
- No se conocen con exactitud las relaciones entre los requisitos lo que dificulta el análisis de impacto de los cambios sobre todos los requisitos que afecta.
- No existe correlación entre las herramientas informáticas de gestión de requisitos y de gestión de proyectos. Por tanto la información es duplicada en ambas herramientas o no se tiene un registro de toda la información necesaria para hacer análisis de impacto de los cambios en los requisitos.

Las herramientas informáticas de gestión de proyectos han sido creadas para apoyar los procesos de gestión en los proyectos. Un estudio comparativo de estas herramientas, en cuanto a las propiedades orientadas a la gestión automática de los datos relacionados con los procesos de la gestión de proyectos, fue realizado por Lugo García (2012). El estudio arrojó que las herramientas de gestión de proyectos no cubren las expectativas de todos los involucrados porque presentan insuficiencias en el manejo de ciertos datos relacionados con procesos de la gestión de proyectos.

Utilizando el método analítico sintético, la autora concluye que en cuanto a la gestión de alcance de los proyectos, las herramientas de gestión de proyectos presentan los siguientes problemas:

- No almacenan suficiente información del alcance de los proyectos principalmente de los requisitos.

- No facilitan la toma de decisiones con respecto a la ejecución de los cambios en los requisitos.
- La gestión de los cambios no está orientada a controlar las desviaciones en el alcance de los proyectos. En el caso de herramientas que gestionan los cambios, controlan las desviaciones sobre el cronograma.

Estos elementos impiden realizar análisis de impacto de los cambios en los requisitos sobre el alcance de los proyectos a través de las herramientas de gestión de proyectos.

Tomando en consideración las situaciones descritas anteriormente, se define como **problema** de investigación: Las insuficiencias en la gestión de los cambios en las herramientas de gestión de proyectos afecta la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente.

En consecuencia el **objeto de estudio** es: la gestión de los cambios en las herramientas de gestión de proyectos.

Se define como **objetivo general** de la investigación: Elaborar un método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos que apoye la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente, teniendo en cuenta las relaciones entre requisitos y la incertidumbre de la información en las mismas.

Para dar cumplimiento al objetivo general se definen los siguientes **objetivos específicos**:

1. Elaborar el marco teórico acerca de procesos de gestión de cambios en proyectos, técnicas para el análisis de impacto de los cambios, herramientas informáticas para gestionar los cambios y modelos computacionales para gestionar la incertidumbre.
2. Construir algoritmos, basados en las relaciones explícitas entre requisitos, para determinar relaciones implícitas.
3. Definir indicadores para determinar el impacto de los cambios en los requisitos, teniendo en cuenta las relaciones entre requisitos y la incertidumbre de la información en las mismas.
4. Validar el método propuesto a partir de su aplicación en el caso de estudio del Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO 13.05.

Como **campo de acción** se tiene: las técnicas de análisis de impacto de los cambios en los requisitos.

La investigación sigue la estrategia **explicativa** porque se inicia identificando las causas que afectan la gestión de los cambios en los proyectos. Durante la investigación se evalúan aspectos del fenómeno a investigar que se relacionan para brindar una solución al problema planteado de manera que ayude a la toma de decisiones respecto a los cambios en los proyectos. Finalmente se realiza un análisis de los resultados obtenidos de la aplicación del método que se propone. “La investigación explicativa es la que logra un conocimiento más completo sobre el fenómeno que se estudia” (Hernández León, y otros, 2011).

Se plantea como **hipótesis de investigación** lo siguiente: La elaboración de un método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos, que tenga en cuenta las relaciones entre requisitos y la incertidumbre de la información en las mismas, mejorará la ayuda a la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente.

Las **variables de la investigación** son:

- Variable Independiente: método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos teniendo en cuenta las relaciones entre requisitos y la incertidumbre de la información en las mismas.
- Variable Dependiente: la ayuda a la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente.

La Tabla 2 muestra la operacionalización de las variables de la investigación.

Tabla 2 Operacionalización de las variables (elaboración propia)

Variable	Dimensión	Indicadores	Índice
Método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos teniendo en cuenta las relaciones entre requisitos y la incertidumbre de la información en las mismas	Algoritmos para el análisis de impacto de los cambios	Corrección	Es correcto No es correcto
		Complejidad temporal	Complejidad temporal en el peor caso (O)
		Comparación con otros algoritmos	Cubrimiento de los elementos a considerar para análisis de impacto de los cambios
	Competitividad en el mercado	Comparación con otros métodos de análisis de impacto de los cambios	Cubrimiento de los elementos a considerar para análisis de impacto de los cambios
Ahorro económico respecto a la adquisición de otras herramientas informáticas		Costo de adquisición de herramientas informáticas	

La ayuda a la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente	Nivel de operatividad del paquete desarrollado	Funcionalidades incorporadas	Cantidad de funcionalidades (Unidades)
		Subjetividad en la estimación del impacto	Cantidad de elementos considerados (Unidades)

El **diseño de la investigación** es pre-experimental y se tomará la variante concreta Preexperimento 2. Pre y Post prueba con un solo grupo:

$$G \quad O_1 X \quad O_2$$

Se analiza el comportamiento de la variable dependiente de la investigación a partir de la aplicación del método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos en GESPRO 13.05. Se establecen comparaciones de acuerdo al escenario anterior y posterior a la aplicación del método en la herramienta.

Durante la investigación se utilizaron los siguientes **métodos científicos**:

Métodos teóricos

- Analítico-Sintético: se utilizó este método en el estudio de las herramientas para la gestión de cambios en los proyectos. Este método permitió arribar a conclusiones con respecto a las técnicas estudiadas para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos sobre el alcance de los proyectos.
- Hipotético-Deductivo: se utilizó para corroborar la hipótesis planteada en la validación de los resultados del método elaborado.

Métodos empíricos

- Análisis documental: permitió realizar un estudio de la bibliografía referente a la temática abordada.
- Entrevista: se realizó una entrevista estructurada con el objetivo de identificar problemas relacionados con la gestión de los cambios en los requisitos en los proyectos y que provocan desviaciones en su alcance.
- Observación participativa: se aplicó a partir del desempeño de la autora en proyectos y con el fin de identificar problemas que presentan los proyectos en el marco de la gestión de cambios en los requisitos.

La **novedad científica** de la investigación es la elaboración de un método de análisis de impacto de los cambios en los requisitos sobre los compromisos de alcance con el cliente que tenga en cuenta la incertidumbre en las relaciones entre requisitos.

El **aporte práctico** de la investigación está determinado por:

- Paquete desarrollado en PL/R con algoritmos para determinar el impacto de los cambios en los requisitos.
- Implantación de los algoritmos propuestos en la plataforma GESPRO 13.05 posibilitando la mejora en la capacidad para la ayuda a la toma de decisiones en la gestión de los compromisos de alcance con el cliente.

El autor de la tesis presenta las siguientes publicaciones, eventos y avales para demostrar su contribución intelectual personal:

1. Viera Lorenzo, Yanay; Mustelier Sanchidrian, Daimara. (2009) *Rol documentador en el proceso de desarrollo del software*. Serie Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas
2. Viera Lorenzo, Yanay; Figueredo, Ernesto M. (2008) *Propuesta de un procedimiento de trabajo para el desarrollo de portales Web basados en el CMS Drupal*. III Taller de Diseño Informacional para la industria del Software sobre Aplicaciones Web para la gestión de información. UCIENCIA 2008
3. Viera Lorenzo, Yanay. (2009) *Aval de conclusión satisfactoria de producto de software Portal Web de la Dirección Nacional de Servicios Penitenciarios (DNSP) de Venezuela*.
4. Viera Lorenzo, Yanay; Figueredo Fuentes, Ernesto M. (2011) *Proceso de Capacitación que propone RUP según normas de calidad*. V Taller de Calidad en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Informática 2011
5. Viera Lorenzo, Yanay; Figueredo Fuentes, Ernesto M. (2011) *Proceso de Capacitación que propone RUP según normas de calidad*. Revista Cubana de Ciencias Informáticas Volumen 3, No 3-4
6. Viera Lorenzo, Yanay; Figueredo Fuentes, Ernesto M. (2011) *Proceso de Entrenamiento en proyectos de desarrollo de software*. 10ma Semana Tecnológica de FORDES Las TIC: Presente y Futuro
7. Viera Lorenzo, Yanay; Soria, Liannis. (2011) *Indicadores para evaluar el rendimiento de sistemas*. II Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos
8. Viera Lorenzo, Yanay; Arias Arias, Michel. (2012) *Sistema de Gestión del conocimiento para el centro Informatización de la Seguridad Ciudadana*. II Taller de Sistemas de Gestión de la Información y el Conocimiento. UCIENCIA 2012
9. Viera Lorenzo, Yanay; Moreira Gamboa, Yannia (2013) *Técnicas de análisis de impacto de los cambios en los requisitos*. VI Taller de Calidad en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. Informática 2013

10. Moreira Gamboa, Yannia; Viera Lorenzo, Yanay; Fernández Paneque, Laritza (2013) *Sistema para la Atención a Emergencias Médicas*. IX Congreso Internacional de Informática en Salud. Informática 2013

El presente trabajo está compuesto por introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

En el *CAPÍTULO 1: LA GESTIÓN DE CAMBIOS EN LOS REQUISITOS DE LOS PROYECTOS* se conceptualiza la gestión de alcance como área del conocimiento clave dentro de la gestión de proyectos para establecer compromisos con el cliente. Se realiza un estudio de la manera en que algunos autores trabajan la gestión de los cambios sobre el alcance de los proyectos así como las técnicas y herramientas que proponen para realizar análisis de impacto de dichos cambios. Como existen herramientas informáticas que soportan las áreas de la gestión de proyectos, se realiza un análisis de cómo manejan el alcance de los proyectos, los requisitos y la gestión de los cambios. Por último se mencionan algunos modelos computacionales, seleccionando uno para gestionar la incertidumbre en las relaciones entre requisitos.

El *CAPÍTULO 2: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN LOS REQUISITOS* establece las etapas del método propuesto. Como parte del método se define un algoritmo para determinar relaciones entre requisitos. A partir de tener identificadas estas relaciones, se emplea un modelo computacional para determinar el impacto de los cambios en los requisitos relacionados. Se proponen, además, un conjunto de indicadores que dan medidas del impacto de los cambios en los requisitos en determinados elementos de los proyectos.

El *CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MÉTODO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS* muestra los resultados obtenidos de la aplicación del método propuesto en el Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO en su versión 13.05. En este capítulo se realiza una comparación entre algoritmos encontrados en la bibliografía consultada y los algoritmos propuestos. Se realiza un estudio comparativo del método propuesto con otros métodos de la bibliografía y un análisis económico de la utilización de este método aplicado a GESPRO, en comparación con el uso de otras herramientas informáticas para el análisis de impacto. Por último, se analiza la incidencia del método en la capacidad de ayuda a la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente en GESPRO.

Finalmente se presentan las conclusiones.

CAPÍTULO 1: LA GESTIÓN DE CAMBIOS EN LOS REQUISITOS DE LOS PROYECTOS

1. Introducción

El presente capítulo comienza con un análisis bibliométrico de los materiales referenciados para realizar la investigación. A continuación se conceptualiza la gestión de proyectos y el área de la gestión del alcance estableciendo la relación existente entre esta área y los compromisos con el cliente. Durante el ciclo de vida de un proyecto el alcance varía producto a los cambios que surgen. A ello se debe, que en el presente capítulo se describa cómo se lleva a cabo la gestión de los cambios en los requisitos de los proyectos según la bibliografía consultada. Debido a la variedad de soluciones para el área de la informática encontradas en la bibliografía se analiza la gestión de cambios para proyectos informáticos. Se realiza, además, un estudio de técnicas de análisis de impacto en la gestión de los cambios en los requisitos, algunos indicadores para calcular el impacto y las herramientas informáticas que gestionan los cambios en los proyectos. Debido a que el análisis de impacto está sujeto a las relaciones que se establecen entre requisitos usando la percepción humana, se realiza un estudio de los modelos que soportan el trabajo con la incertidumbre. Finalmente se presentan las conclusiones del capítulo.

2. Análisis bibliométrico

Durante la investigación se referenciaron 82 materiales, de los cuales el 54% constituyen materiales publicados en los últimos cinco años. A continuación se cuantifican los materiales por tipo de fuente consultada:

Tabla 3 Análisis bibliométrico (elaboración propia)

	Últimos cinco años	Años anteriores
Libros y monografías	3	9
Tesis de doctorados	2	1
Tesis de maestrías	2	0
Tesis de grado	2	1
Artículos en Revistas referenciadas en Web of Science, SCOPUS	6	13
Memorias de eventos	3	6
Artículos publicados en la web	11	4
Sitios Web	12	1
Reportes técnicos y conferencias	4	2
Total	45	37

Las revisiones bibliográficas estuvieron centradas, fundamentalmente, en libros, revistas referenciadas y otras publicaciones en la Web. Entre los principales temas en que se basaron las revisiones se encuentran: procesos de gestión de cambios en proyectos, técnicas para el análisis de impacto de los cambios, herramientas informáticas para gestionar los cambios y modelos computacionales para gestionar la incertidumbre. En cuanto a la distribución por regiones geográficas se comportó de la siguiente forma: 40% de América del Norte, 18% de América Latina, 31% de Europa y 11% de Asia y Oceanía.

3. La gestión de los compromisos de alcance con el cliente en proyectos

Un proyecto “es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único” (PMI, 2008). En la definición de un proyecto no debe faltar:

- Logros y resultados específicos.
- Fechas de comienzo y de finalización definitivas.
- Recursos presupuestarios establecidos.

Estos tres elementos están estrechamente relacionados de manera que una variación en uno de ellos provoca variaciones en los otros dos.

La gestión de proyectos provee buenas prácticas para que un proyecto obtenga un producto de calidad cumpliendo con los requisitos establecidos dentro del tiempo y costos definidos. La gestión de proyectos, entonces, controla los compromisos con el cliente producto de negociaciones con las partes involucradas en un proyecto (PMI, 2008).

Entre los compromisos establecidos con el cliente en los proyectos está el cumplimiento de los requisitos del proyecto (ISO, 2000).

La gestión de proyectos ha sido abordada por tres importantes asociaciones: *Project Management Institute* (PMI, 2008) de Estados Unidos; *Projects in Controlled Environments* (PRINCE2, 2009) del Reino Unido y *The International Project Management Association* (IPMA) (IPMA, 2006) de Alemania. Estas asociaciones coinciden en la necesidad de delimitar el alcance del proyecto y de aplicar procesos para el control del mismo.

La gestión del alcance de los proyectos “incluye los procesos necesarios para asegurarse que el proyecto incluya todo el trabajo requerido, y sólo el trabajo requerido, para completar el proyecto satisfactoriamente” (PMI, 2008).

El alcance de un proyecto puede verse desde dos enfoques (PMI, 2008):

- Alcance del producto. Las características y funciones que definen un producto, servicio o resultado (viene dado por los requisitos del proyecto).
- Alcance del proyecto. El trabajo que debe realizarse para entregar un producto, servicio o resultado con las características y funciones especificadas.

La presente investigación orienta su estudio hacia la dimensión del alcance del producto, enfocándose en proveer información relativa a los requisitos que apoye la toma de decisiones respecto a los compromisos con el cliente.

4. La gestión de cambios en los proyectos

Estrechamente vinculado al alcance de los proyectos existe un fenómeno conocido como *Scope creep* (PMI, 2008) (Wieggers, 2003) o Movimiento sigiloso del alcance surgido a partir de los problemas de verificación y control del alcance de los proyectos. *Scope Creep* es el término utilizado para nombrar el proceso por el cual los clientes descubren lo que realmente quieren. Este proceso ocurre cuando se realizan cambios al alcance original que no se controlan y pueden llevar al fracaso del proyecto perdiendo el control sobre las cuatro variables fundamentales: tiempo, costo, alcance y calidad.

La evaluación de los requisitos contra los objetivos del proyecto, visión del producto y alcance del proyecto implica llevar a cabo un proceso de gestión de cambios que permita tomar decisiones sin perder ni dejar pasar por alto ningún cambio.

La Guía del PMBOK (PMI, 2008) propone el proceso *Realizar el Control Integrado de Cambios* que consiste en revisar todas las solicitudes de cambios, aprobarlas y gestionar los cambios en los elementos implicados del proyecto. Dentro de las actividades de este proceso está coordinar los cambios a través de todo el proyecto y finalmente documentar el impacto total de las solicitudes de cambio. Esta Guía propone como técnicas para realizar análisis de los cambios, el juicio de expertos y reuniones de control de cambios. Ambas están sujetas a la percepción humana exclusivamente sin el uso de técnicas o herramientas informáticas que brinden información más precisa acerca del impacto de los cambios en los elementos involucrados en el proyecto.

IPMA (IPMA, 2006) establece que los cambios sobre el alcance de un proyecto deben ser realizados mediante un proceso formal. Entre los posibles pasos que propone para este proceso está el monitoreo de los efectos del cambio contra la línea base del

proyecto. IPMA define qué competencias debe poseer un proyecto para una adecuada gestión pero no propone técnicas y herramientas informáticas que favorezcan ejecutar estos principios.

PRINCE2 (PRINCE2, 2009) contiene la gestión de cambios entre los principios que propone para la gestión de proyectos. La técnica de control de cambios que propone identifica el proceso y las responsabilidades para manejar las peticiones de cambio desde su entrada, son analizadas y si se aceptan son implementadas. PRINCE2, a pesar de reconocer el análisis de las peticiones de cambio, no propone cómo realizar estos análisis.

La Guía del PMBOK (PMI, 2008), IPMA (IPMA, 2006) y PRINCE2 (PRINCE2, 2009) coinciden en que la gestión de los cambios ayuda a controlar las desviaciones en el alcance de los proyectos, pero no proponen técnicas ni herramientas informáticas que brinden información precisa con respecto a la ejecución o no de los cambios propuestos por el cliente. Sin embargo, para el caso específico de los proyectos informáticos, se han definido algunas técnicas, indicadores y se han construido herramientas informáticas que permiten realizar análisis de impacto de los cambios en determinados elementos del software.

4.1. La gestión de cambios en los proyectos informáticos

Los requisitos en proyectos informáticos constituyen un elemento clave para que la construcción de software cumpla las expectativas del cliente. Para facilitar el tratamiento de los requisitos de un producto informático surge la gestión de los requisitos.

La gestión de los requisitos comprende un proceso de gestión de cambios que gestione las relaciones entre ellos y las dependencias entre la especificación de requisitos y otros documentos producidos. Este proceso implica un conjunto de actividades que evalúan el impacto de los cambios (Sommerville, 2005) (Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación, 2008).

The Capability Maturity Model Integration (CMMI) (SEI, 2006) establece, dentro de las prácticas para administrar requisitos, que los cambios en los requisitos deben ser evaluados para determinar el impacto en los compromisos existentes. Para analizar de manera efectiva el impacto de los cambios, propone que se documenten tanto los requisitos como los cambios y se evalúe el impacto que produce un cambio en todos los involucrados desde cada punto de vista. CMMI establece qué se debe hacer en

Capítulo 1: La gestión de cambios en los requisitos de los proyectos

organizaciones que producen software pero no establece cómo hacerlo, por lo tanto carece de técnicas que permitan realizar los análisis de impacto que recomienda hagan las organizaciones.

Ghosh y otros (2011) establecen un proceso de gestión de cambios que tiene tres puntos de decisión clave:

- Aceptar la idea del cambio.
- Aprobar para proceder. Se evalúa una petición de cambio contra los requisitos del proyecto, las especificaciones y diseños y se valora cuál es el impacto sobre el cronograma y el presupuesto del proyecto.
- Aprobar la resolución. La petición de cambio se incorpora en la planificación del proyecto.

En cualquiera de estos puntos se puede tomar la decisión de continuar, rechazar o posponer la petición de cambio. Según los autores este proceso es aplicable a los cambios potenciales dejando fuera del proceso aquellos cambios que pueden ser menos significativos. De esta forma el análisis se concentra en aquellos cambios que impliquen mayor impacto sobre el sistema.

Lock y otros (1999) proponen un proceso de gestión de cambios donde determinar el impacto exacto del cambio es crucial para un efectivo análisis. La Figura 1 muestra las diferentes etapas del proceso de análisis de impacto que proponen los autores:

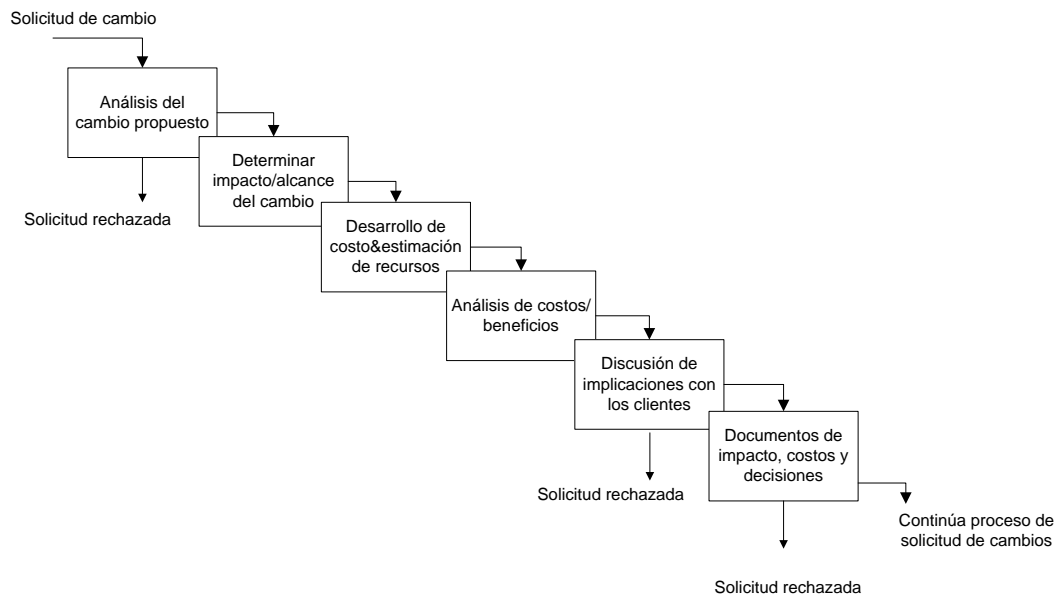


Figura 1 Proceso de análisis de impacto (Lock, y otros, 1999)

Para determinar el impacto de un cambio en este proceso, primeramente, se debe extraer la información de trazabilidad del modelo de sistema propuesto. Este enfoque de análisis de impacto tiene como premisa tener un histórico de los cambios realizados y el impacto que provocaron sobre los demás elementos del sistema. A partir del histórico se utiliza la probabilidad para ayudar a detectar rutas de propagación de impacto previstas. El proceso cuenta con tres pasos (primero, quinto y sexto) (Ver Figura 1) para tomar la decisión de rechazar la solicitud de cambio o continuar con el proceso. Un aspecto positivo del proceso es que abarca realizar análisis de varios elementos involucrados en un proyecto como costos y recursos. Sin embargo exige tener un histórico de los cambios realizados, lo que constituye un inconveniente para los análisis de impacto que se realicen que no tengan suficientes precedentes.

Un proceso de control de cambios propuesto por Álvarez Chang y otros (2006) establece determinar el impacto de un cambio en el proyecto para tomar una decisión de aprobar o rechazar una petición de cambio. Para determinar el impacto del cambio propone la aplicación de una técnica pero las autoras no definen alguna en particular. La evaluación del impacto de los cambios en este proceso debe incluir: impacto en los requisitos, en la arquitectura y en la implementación y utiliza una métrica para calcular el porcentaje de elementos afectados. Para realizar análisis de impacto no basta con conocer la cantidad de elementos afectados sino el impacto que el cambio provoca en dichos elementos. Para ello, es necesario tener en cuenta datos como el alcance del cambio así como la relación entre estos elementos. Este proceso no brinda esta información.

Otro método para la gestión de los cambios en los requisitos fue creado en la UCI por Troche Robles y otros (2010). El método consta de un proceso para el análisis de impacto de los cambios que incluye identificar la fuente del cambio, identificar los elementos relacionados con el cambio, realizar cálculos para determinar el factor de peso de cada elemento, calcular el costo y el esfuerzo de las personas implicadas y por último tomar una decisión respecto a proceder o no con el cambio. Este proceso tiene en cuenta la cantidad de requisitos a cambiar a partir de las relaciones explícitas y el esfuerzo, costo y riesgos de ejecutar el cambio. Este método restringe los elementos relacionados con el cambio en un número limitado de ellos. Por otro lado, propone indicadores que evalúan el esfuerzo y el costo, lo cual es significativo para la toma de decisiones en el proyecto.

CMMI (SEI, 2006), Ghosh y otros (2011), Lock y otros (1999), Álvarez Chang y otros (2006) y Troche Robles y otros (2010) coinciden en que la gestión de cambios incluye un análisis de los cambios y de su impacto. Los procesos de gestión de los cambios descritos por estos autores incluyen como una de sus actividades el análisis de impacto de los cambios basados en la trazabilidad fundamentalmente. En estos procesos no se maneja la incertidumbre de la información en los elementos del software para realizar el análisis de impacto de los cambios. Por otro lado, a pesar de que estos procesos tienen en cuenta varios tipos de elementos en los que puede influir un cambio, la mayoría no establecen mecanismos para detectar la propagación de impacto del cambio más allá de las relaciones explícitas que se establecen entre estos elementos.

Diversos autores han creado técnicas que permiten realizar análisis de impacto de los cambios. Debido a la variedad de técnicas de análisis de impacto de los cambios en el ámbito de los proyectos informáticos, la siguiente sección abordará algunas de las técnicas encontradas en la bibliografía.

4.1.1. Técnicas de análisis de impacto de los cambios

Bohner y otros (1996) aglomeran las técnicas de análisis de impacto de los cambios dentro de dos categorías: análisis de trazabilidad y análisis de dependencia.

Las técnicas basadas en el análisis de trazabilidad comprenden “un análisis de las relaciones de dependencia entre todos los productos de trabajo que integran el sistema, sin importar a qué nivel pertenezcan, desde los requerimientos, pasando por el diseño, hasta el código. Brinda una perspectiva más amplia que el análisis por dependencia, pudiendo relacionar por ejemplo, productos de trabajo de requerimientos con productos de trabajo del diseño del software” (de la Rosa, 2008). Este enfoque tiene como desventaja que las dependencias dentro del código es muy poco detallada pero permite analizar el impacto en todos los elementos en los que influye un cambio.

Las técnicas basadas en análisis de dependencia intentan “evaluar los efectos del cambio en dependencias semánticas entre entidades de un programa, típicamente identificando las dependencias sintácticas que pueden señalar la presencia de tales dependencias semánticas” (Law, y otros, 2003). “Provee una evaluación detallada de dependencias dentro del código, pero no brinda información acerca de los productos de trabajo en otros niveles” (de la Rosa, 2008). Estas técnicas son muy útiles para evaluar el impacto de los cambios en elementos dentro del código de un programa.

Una forma tradicional de estimar el impacto de uno o más cambios en el código es usar información estática para identificar las partes del código que pueden ser afectadas por tales cambios. Algunas técnicas de análisis de impacto estáticas pueden tener en cuenta archivos no ejecutables. Sin embargo estas técnicas no consideran la proclividad al defecto de un conjunto de archivos impactados.

“Recientemente investigadores han considerado más formas precisas para evaluar el impacto de los cambios, usando información capturada durante la ejecución” (Orso, y otros, 2003) o también “*suites de prueba con código base instrumentado*” (Ghosh, y otros, 2011). Éstas son las llamadas técnicas dinámicas de análisis de impacto.

En la siguiente sección se analizan técnicas y algoritmos para el análisis de impacto de los cambios a partir de esta agrupación: técnicas de análisis de trazabilidad y técnicas de análisis de dependencia. Como parte de estas últimas se exponen algunas técnicas dinámicas y estáticas.

Técnicas de análisis de trazabilidad

Ibrahim y otros (2005) establecen un modelo de análisis de impacto basado en la trazabilidad de los requisitos con otros requisitos, diseño, casos de prueba y código. Este modelo clasifica la trazabilidad dentro de dos categorías: trazabilidad vertical y horizontal. La trazabilidad vertical se refiere a la asociación de elementos dependientes dentro de un modelo y la trazabilidad horizontal se refiere a la asociación de elementos correspondientes entre diferentes modelos al punto de descomponer el sistema en términos de clases, métodos o variables. Este modelo permite conocer los elementos de trazabilidad con los que se relaciona un artefacto en particular pero no establece cómo medir el impacto sobre estos elementos.

Otro método de análisis de impacto es el brindado por Goknil y otros (2008) donde parte de un metamodelo de los conceptos relacionados en diferentes enfoques de la ingeniería de requisitos. El metamodelo establece cuatro tipos de relaciones entre requisitos, las cuales permiten formalizar reglas de impacto de un cambio en los requisitos:

- Relaciones de refinación: Un requisito R_1 refina un requisito R_2 si R_1 es derivado de R_2 por adición de más detalles en él.
- Relaciones requeridas: Un requisito R_1 requiere un requisito R_2 si R_1 está cumplido solo cuando R_2 está cumplido. R_2 puede ser tratado como una precondition de R_1 .

- Relaciones de contención: Un requisito R_1 contiene requisitos $R_2...R_n$ si R_1 es la conjunción de los requisitos contenidos $R_2...R_n$. Esta relación posibilita descomponer requisitos complejos en requisitos hijos.
- Relaciones de conflictos: Un requisito R_1 tiene conflictos con un requisito R_2 si el cumplimiento de R_1 excluye el cumplimiento de R_2 y viceversa.

Con estas relaciones se hace un importante aporte a la investigación debido a que identifica las cuatro relaciones dadas entre requisitos. Se establecen, además, dos tipos de cambios: cambios en las entidades de requisitos o cambios en las relaciones de requisitos. Estos cambios pueden ser por adición, eliminación o modificación. A partir de aquí los autores establecen una tabla de reglas de impacto donde incluyen todas las posibles combinaciones de relaciones. Esta técnica hace alusión a las relaciones de N-nivel entre requisitos, o sea, aquellas donde los requisitos no estén explícitamente relacionados. Este método es más aplicable en etapas tempranas de un sistema, donde los cambios de un requisito no vayan más allá de la especificación de requisitos.

Yang y otros (2007) proponen un algoritmo para evaluar cuantitativamente el efecto de los cambios en requisitos. Esta técnica, a pesar de hacer alusión a varios tipos de dependencias entre los requisitos, solamente se basa en la Dependencia Entera que significa que una parte de R_b es totalmente dependiente de R_a .

En este sentido implementan un algoritmo de *Backtracking* para resolver las dependencias entre requisitos. Este algoritmo mejora las relaciones de dependencia establecidas entre requisitos porque establece una fortaleza entre ellas pero no incluye otros tipos de relaciones presentes entre requisitos (un requisito está contenido en otro requisito, dos requisitos son excluyentes, un requisito deriva de otro requisito, entre otras).

Estas técnicas de análisis de trazabilidad no tienen en cuenta la fortaleza de las relaciones establecidas entre diferentes elementos o requisitos. Por lo que no ofrecen una información precisa de cuánto podrían afectar los cambios en los elementos que manejan en el resto de los elementos del proyecto. Goknil y otros (2008) hacen alusión a la propagación del impacto más allá de las relaciones explícitas. Este es un aspecto importante a considerar para realizar análisis de impacto de los cambios.

Técnicas de análisis de dependencia

Las técnicas de análisis de dependencias se ocupan de los análisis de cambios en el código de un programa. Para ello se han creado algunas técnicas de análisis de impacto, estáticos y dinámicos.

Sherriff (2007) propone un *framework* llamado *Software Development Artifact Analysis* (SDAA) que usa artefactos del desarrollo de software para poner al descubierto relaciones profundas dentro del sistema. Como parte del *framework* se crea una técnica de análisis de impacto estática que deriva asociaciones basándose en un conjunto de históricos de cambios. Estos grupos de asociaciones de archivos delimitan una estructura fundamental en el sistema, indicando qué archivos tienden a ser ejecutados, probados y cambiados juntos.

Esta técnica tiene como desventaja que las asociaciones se establecen sobre históricos de cambios que pueden o no ser exactos. Puede existir un cambio que en la actualidad no está asociado a un conjunto de cambios relacionados y lo que hacen es abultar la fortaleza de las relaciones entre los componentes cuando en la realidad las relaciones son más débiles. Esta técnica no es considerada segura dado que, si no se tiene el histórico almacenado de los cambios, no es fiable en determinar los efectos que pueda tener.

En términos de algoritmos de análisis de impacto dinámicos en el software, los algoritmos *PathImpact* y *CoverageImpact* juegan un papel importante porque han sido objeto de análisis de varios autores (Sherriff, 2007) (Orso, y otros, 2004) (Gupta, y otros, 2009) (Park, y otros, 2011). Otros algoritmos dinámicos de análisis de impacto de los cambios construidos son: *CallImpact* (Gupta, y otros, 2009) y *ChangeDistiller* (Gall, y otros, 2008).

Las técnicas de análisis de dependencia dinámicas sólo son aplicables a proyectos de software, no pueden ser generalizadas a otros tipos de proyectos. Sin embargo las técnicas de análisis de dependencia estáticas son creadas para proyectos de software pero pueden analizar impactos en elementos fuera del código.

Análisis comparativo de ambos tipos de técnicas

Ambos tipos de técnicas, trazabilidad y dependencia, tienen sus ventajas y desventajas. A continuación se refleja una tabla comparativa de ambas:

Tabla 4 Comparación entre técnicas de análisis de impacto de los cambios (elaboración propia)

Descripción	Técnicas de análisis de trazabilidad	Técnicas de análisis de dependencias
Forma de capturar las dependencias	A partir de matrices de trazabilidad entre diferentes elementos de un sistema.	A partir de información estática o dinámica del código de un programa o rutas ejecutadas.
Mecanismo para traducir un cambio en objetos impactados y dependencias	Mediante análisis de modelos, matrices de trazabilidad, etcétera.	Mediante código de implementación.
Momento adecuado para su uso en el ciclo de vida de un proyecto	Desde los inicios del software.	En la fase de implementación y mantenimiento.
Tamaño de área a analizar	Todo el sistema.	Sólo áreas seleccionadas.
Nivel de detalle del análisis del cambio	A un nivel más superficial.	Muy detallado para el área en ejecución.

De esta comparación resulta importante destacar que el uso de un tipo de técnica u otro en los análisis de impacto de los cambios se ajusta a las necesidades de cada proyecto. Estas técnicas no tienen por qué ser excluyentes sino que pueden ser usadas indistintamente para perseguir objetivos específicos de un proyecto, teniendo en cuenta que las técnicas de análisis de dependencias son utilizadas en proyectos de software fundamentalmente, mientras que las técnicas de análisis de trazabilidad pueden extenderse a otros tipos de proyectos. Por otro lado, en ambos tipos de técnicas no se trabajan todas las relaciones que puedan existir entre requisitos o elementos o no se trabaja la fortaleza de las relaciones.

4.1.2. Indicadores de análisis de impacto de los cambios

En la bibliografía consultada existen algunos indicadores que permiten obtener resultados cuantitativos de las relaciones entre productos de trabajo. De la Rosa (de la Rosa, 2008) propone dos indicadores en este sentido:

- El *In-Degree* de un producto de trabajo indica la cantidad de productos de trabajo que dependen del mismo.
- El *Out-Degree* indica de cuántos productos de trabajo dependen del producto de trabajo en cuestión.

Estos indicadores permiten conocer la cantidad de dependencias entrantes y salientes tomando como referencia un producto de trabajo. Si es tomado un requisito como un elemento a analizar, estos indicadores pueden ser útiles para la presente investigación, pero su alcance es más amplio que el ámbito de los requisitos.

Troche Robles y otros (2010) proponen dos indicadores para medir el esfuerzo y el costo que implican un cambio. Para determinar los indicadores es necesario realizar un conjunto de consideraciones por parte de las personas encargadas de analizar el cambio desde el punto de vista técnico del sistema y de ambiente del proyecto. Estos indicadores tienen un marcado peso en las asunciones de personas asociadas al proyecto que pueden ser exactas o no y es un riesgo que asume el proyecto.

De manera general los indicadores estudiados hasta el momento no están enfocados solamente a los requisitos sino que van orientadas a otros elementos presentes en los proyectos.

Al algoritmo propuesto por Yang y otros (2007) se le agregó el cálculo del grado de impacto de un cambio mediante la fórmula:

$$DI = \sum_{i=1}^{i=n} W_s FI(R_s, R_t) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde: W_s es la carga de trabajo adicional de R_s , $FI(R_s, R_t)$ es el factor de impacto de un cambio en R_s sobre R_t y R_s y R_t son requisitos.

Para determinar el factor de impacto en este algoritmo es necesario hacer asunciones sobre el factor de impacto inicial de cada requisito al igual que la carga de trabajo o usar métodos estadísticos que no se incluyen en la solución. Además no incluye cómo analizar cualitativamente las dependencias entre requisitos para ayudar a la toma de decisiones en un proyecto.

4.1.3. Herramientas para análisis de impacto de los cambios

Las herramientas informáticas utilizadas para realizar análisis de impacto basándose en la trazabilidad son, fundamentalmente, las herramientas de gestión de requisitos.

Entre las herramientas que cumplen estas características están Rational RequisitePro (IBM, 2012), IBM Rational DOORS (IBM, 2012), IRQA (Visure Solutions, 2012), REM (Universidad de Sevilla, 2004), CaliberRM (Micro Focus, 2013), OSRMT (*Open Source Requirements Management Tool*) (SourceForge, 2012) y GatherSpace (Gatherspace.com, 2013). Estas herramientas establecen y mantienen manualmente las matrices de trazabilidad (Company, y otros, 2011) (Rosique, y otros, 2010) (Gotel, y otros, 1994).

A continuación se muestra una tabla comparativa entre las herramientas de gestión de requisitos mencionadas anteriormente en cuanto a la forma en que manejan la trazabilidad.

Tabla 5 Comparación entre las herramientas de gestión de requisitos atendiendo a la trazabilidad (elaboración propia)

Capítulo 1: La gestión de cambios en los requisitos de los proyectos

Herramienta	Forma de manejar la trazabilidad
Rational RequisitePro	Permite establecer la trazabilidad entre los requisitos gestionados y notifica de un cambio por correo electrónico a los involucrados (IBM, 2012).
IBM Rational DOORS	Permite establecer la trazabilidad entre cualquier par de objetos contenidos en cualquier módulo dentro del repositorio de DOORS. La relación entre objetos está definida por el usuario (IBM, 2012).
IRQA	Permite establecer de trazabilidad entre requisitos, elementos del dominio del problema, elementos de la especificación, clases de implementación y código fuente (Visure Solutions, 2012). A partir de tener definida la trazabilidad permite realizar análisis de impacto de los cambios en un requisito en otros requisitos y en otros elementos relacionados directamente (Visure Solutions, 2008).
REM	Permite mantener las relaciones de los requisitos con otros elementos del proceso de desarrollo del software como atributos, casos de uso, clases del modelo mediante matrices de trazabilidad (Universidad de Sevilla, 2004).
CaliberRM	Permite establecer la trazabilidad de los requisitos con otros elementos del proceso de desarrollo del software. Los análisis de impacto de los cambios se realizan a partir de la trazabilidad entre estos elementos (Micro Focus, 2013).
OSRMT	Permite establecer las dependencias entre objetos y visualizar las matrices de trazabilidad entre dichos objetos (SourceForge, 2012).
GatherSpace	Permite llevar la trazabilidad entre requisitos y casos de uso solamente (Gatherspace.com, 2013).

Estas herramientas permiten establecer las dependencias entre elementos y visualizar mediante grafos o matrices dichas dependencias, pero carecen de indicadores que midan el impacto de un cambio en uno de los elementos sobre el resto de los elementos dependientes. El impacto de los cambios se determina sobre diferentes elementos del proyecto y sólo puede ser determinado a partir de tener establecidas las relaciones en las matrices de trazabilidad.

Para la técnica basada en trazabilidad propuesta por Ibrahim y otros (2005), los autores proponen una herramienta *Configuration artifact traceability for impact analysis* (Catia) que asume que una petición de cambio ha sido traducida y expresada en términos de componentes aceptables (requisitos, clases, métodos o casos de prueba). Catia fue diseñada para gestionar el impacto de un único artefacto al mismo tiempo. A partir de un artefacto cambiado Catia puede determinar su impacto en otros artefactos revisando la trazabilidad tanto de arriba a abajo como de abajo hacia arriba. Esta herramienta se ajusta exclusivamente a la técnica analizada por Ibrahim y otros (2005) por lo que no puede emplearse asociada a otras técnicas.

Para el análisis del código fuente y las relaciones implícitas en el mismo existen herramientas de análisis de dependencia o también denominadas herramientas de referencia cruzada (de la Rosa, 2008). Estas herramientas permiten extraer las relaciones en el código y generar diferentes tipos de información: grafos, reportes, dependencias, etcétera.

Evolizer (Gall, y otros, 2008) es una plataforma que permite el análisis de evolución de un software e integra histórico de cambios. Evolizer provee un conjunto de metamodelos para representar los datos de un proyecto de software junto con adecuadas herramientas para importar y obtener datos de un repositorio. Se basa en el algoritmo *ChangeDistiller* para extraer cambios en el código fuente de las distintas versiones de un área del software.

El uso de herramientas de análisis de impacto basado en dependencias vienen asociadas a algoritmos o procesos de análisis de impacto predefinidos, por lo que dichas herramientas sólo soportan los algoritmos o procesos para los que son creadas.

4.2. La gestión de alcance y de los cambios en las herramientas de gestión de proyecto

En la década de los '80 surgieron las primeras herramientas informáticas para apoyar los procesos de gestión de proyectos.

Entre las herramientas de gestión de proyectos se encuentran: Primavera (Oracle, 2012), Microsoft Project (Microsoft, 2010), DotProject (DotProject, 2012), Planner (Gislen Software, 2003), Trac (Edgwall Software, 2012), Redmine (Lang, 2006) y OpenProj (SourceForge, 2013).

La tabla que se presenta a continuación resume las características en cuanto a la gestión del alcance y la gestión de los cambios en las herramientas de gestión de proyectos mencionadas anteriormente.

Tabla 6 Gestión de alcance y gestión de cambios en las herramientas de gestión de proyectos (elaboración propia)

Herramienta	Gestión de alcance	Gestión de cambios
Primavera	Permite configurar la Estructura de Desglose de Trabajo (Oracle, 2012), que “es una descomposición jerárquica, basada en los entregables del trabajo que debe ejecutar el equipo del proyecto para lograr los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos” (PMI, 2008).	Permite monitorear y controlar cada fase del proceso de gestión de cambios y permite realizar análisis de costos y cronograma (Oracle, 2012).
Microsoft Project	Permite construir la Estructura de Desglose de Trabajo (Microsoft, 2010).	No realiza gestión de cambios (Microsoft, 2010).
DotProject	No concibe la gestión del alcance del proyecto (DotProject, 2012).	Mantiene el histórico de los cambios en el proyecto (DotProject, 2012).
Planner	No concibe la gestión del alcance del proyecto (Gislen Software, 2003).	No realiza gestión de cambios (Gislen Software, 2003).
Trac	No concibe la gestión del alcance	Permite la gestión de los cambios en el

	del proyecto (Edgewall Software, 2012).	código almacenando información del cambio, incluyendo el tipo de cambio (Edgewall Software, 2012).
Redmine	No concibe la gestión del alcance del proyecto (Lang, 2006).	No realiza gestión de cambios (Lang, 2006).
OpenProj	Permite construir la Estructura de Desglose de Trabajo (SourceForge, 2013).	No realiza gestión de cambios (SourceForge, 2013).

Las herramientas de gestión de proyectos analizadas que permiten gestionar los cambios en un proyecto, lo realizan en función de analizar las desviaciones con respecto al cronograma y costos o para mantener un histórico de los cambios que surgen durante el ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, no conciben las desviaciones que los cambios provocan sobre el alcance del proyecto. Las herramientas que gestionan el alcance del proyecto solamente lo realizan a partir de la construcción de la Estructura de Desglose de Trabajo y no conciben el almacenamiento de los requisitos del proyecto.

Por otro lado las herramientas de gestión de proyectos son independientes a las herramientas de análisis de impacto de los cambios. Solamente algunas de las herramientas de gestión de proyectos reflejan el alcance de un proyecto desde el punto de vista de la creación de la Estructura de Desglose de Trabajo y los movimientos sobre la línea base definida. Los cambios sobre el alcance del proyecto, a su vez, se determinan a partir de los cambios en los requisitos. Las herramientas de análisis de impacto de los cambios proveen un punto de partida para gestionar el alcance del proyecto desde el punto de vista de los requisitos. No obstante, actualmente se toman como dos funcionalidades de las herramientas de análisis de impacto y de gestión de proyectos respectivamente: mostrar los elementos impactados con un cambio en un requisito y gestionar el alcance del proyecto incluyendo las desviaciones que puedan surgir a partir de los cambios en los requisitos.

4.3. Valoración de la gestión de cambios en los requisitos

La gestión de los requisitos en los proyectos comprende la gestión de los cambios lo que facilita la aplicación de técnicas o herramientas informáticas que ayudan a tomar decisiones con respecto a un cambio en particular. Para ello, se analiza el impacto que pueda tener un cambio sobre el resto de los elementos tomando como base las relaciones que se establecen entre ellos.

A pesar de existir diversas herramientas informáticas de gestión de proyectos, ninguna de las estudiadas permiten gestionar los requisitos de los proyectos ni gestionar los

cambios en dichos requisitos. Estos aspectos son más trabajados en las herramientas de análisis de impacto de los cambios usadas en proyectos informáticos. Estas herramientas permiten visualizar las relaciones entre los requisitos y el resto de los elementos del sistema pero no establecen mediciones del impacto que producen los cambios en los requisitos sobre los elementos del sistema, incluyendo otros requisitos. En el ámbito de la gestión de proyectos son más útiles las técnicas de análisis de impacto a nivel de proyecto o niveles superiores, por lo que la presente investigación estará enfocada a las técnicas de análisis de trazabilidad y a las técnicas de análisis de dependencia estáticas por su capacidad para realizar análisis de impacto en elementos fuera del código de un programa. Según la bibliografía referenciada en este capítulo, ninguna de las técnicas de análisis de impacto estudiadas permiten manejar la incertidumbre al establecer las relaciones entre los elementos dependientes y consecuentemente no establecen fortaleza a dichas relaciones. En este sentido han surgido algunas teorías que permiten trabajar con la incertidumbre para tomar decisiones.

5. La incertidumbre en la gestión de los cambios en requisitos

El modelado de la incertidumbre surge para representar la imprecisión en la información de determinados problemas. Esta modelación simula actividades propias del comportamiento y razonamiento humano u otras inherentes a fenómenos que por su naturaleza son imprecisos. Esta información no puede ser expresada con valores numéricos precisos sino que es necesario expresarlos con valores lingüísticos o con conjuntos de valores numéricos.

Un enfoque muy común para modelar la información lingüística es el enfoque lingüístico borroso que utiliza la lógica borrosa y la teoría de conjuntos borrosos (Zadeh, 1965) (Martínez, y otros, 2010).

“El enfoque lingüístico borroso provee una forma sistemática para representar variables lingüísticas en un procedimiento de evaluación natural. Esto no requiere proveer un valor preciso en el cual un factor no certero existe” (Martínez, y otros, 2006). Las variables lingüísticas toman valores de palabras o frases en un lenguaje natural o artificial (Zadeh, 1975).

En este sentido Zadeh (1999) introdujo el concepto de Computación con Palabras (CW), una metodología que “ha proporcionado un basamento para tratar con datos imprecisos, inciertos y parcialmente verdaderos los cuales tienen la forma de

proposiciones expresadas en un lenguaje natural” (Cao, y otros, 2006). “CW ha sido aplicado como base computacional en la toma de decisiones lingüísticas” (Martínez, y otros, 2010).

El paradigma de CW permite procesar datos lingüísticos que constituyen entradas y mostrarlos en otros datos lingüísticos que constituyen salidas (Ver Figura 2).

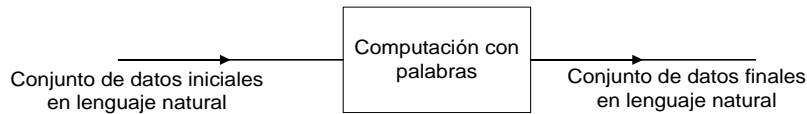


Figura 2 Transformación de datos iniciales a datos finales (Zadeh, 1999)

En los años recientes, muchos investigadores han visto CW como una metodología interesante para ser aplicada en la toma de decisiones (Herrera, y otros, 2000). Permite modelar la percepción en un estilo análogo al humano y puede proveer algunas herramientas necesarias, si no es para simular completamente la toma de decisiones humanas, es para desarrollar complejos sistemas de soporte de decisiones que ayuden a las personas que toman decisiones a llegar a una solución.

Existen algunos modelos de CW en la bibliografía. Entre los más extendidos (Rodríguez Domínguez, 2010) se encuentran los modelos clásicos Modelo Computacional Lingüístico basado en el Principio de Extensión y el Modelo Computacional Lingüístico Simbólico. Se encuentran también otros modelos más recientes como Modelo Lingüístico Computacional basado en Conjuntos Borrosos Tipo-2, Modelo Lingüístico de 2-Tuplas y Modelo Lingüístico Virtual:

- Modelo Computacional Lingüístico Basado en el Principio de Extensión o Modelo Semántico (Bonissone, y otros, 1985).
- Modelo lingüístico computacional basado en escalas ordinales (Delgado, y otros, 1993).
 - a) Modelo computacional simbólico lingüístico basado en escalas ordinales y operadores max-min.
 - b) Modelo computacional simbólico lingüístico basado en combinaciones convexas.
 - c) Modelo computacional simbólico lingüístico basado en términos lingüísticos virtuales.
- Modelo Lingüístico Computacional basado en Conjuntos Borrosos Tipo-2 (Mendel, 2002) (Türksen, 2007).
- Modelo Lingüístico de 2-Tuplas (Martínez López, 1999) (Herrera, y otros, 2000).

- Modelo Lingüístico Virtual (Xu, 2010).

Martínez y otros (2010) realizan un estudio de los modelos computacionales presentes en la bibliografía y Rodríguez Domínguez (2010) realiza una comparación de algunos de los modelos computacionales más recientes.

En los dos modelos clásicos –al igual que el Modelo Lingüístico Computacional basado en Conjuntos Borrosos Tipo-2-, los resultados usualmente no corresponden con ninguno de los términos lingüísticos iniciales. Debe ser desarrollado, entonces, un proceso de aproximación para expresar el resultado en el dominio de expresión inicial. Según Herrera y Martínez (2000) en estos modelos se produce la consecuente pérdida de información y por tanto la falta de precisión. Esta limitación fue resuelta en los modelos lingüísticos de 2-Tuplas y Virtual.

El Modelo Lingüístico de 2-Tuplas puede obtener valores dentro del universo del discurso de la variable y garantiza precisión cuando las etiquetas son uniformemente distribuidas.

El Modelo Lingüístico Virtual introduce un número virtual que es resultado de las operaciones que presenta el propio modelo y está fuera del universo de discurso, por lo que no puede ser representado lingüísticamente.

Para determinar el impacto de los cambios en los requisitos es necesario partir del establecimiento de las relaciones entre dichos requisitos. Para ellos en la presente investigación se hará uso del Modelo Lingüístico de 2-Tuplas porque:

- Asigna una sintaxis y una semántica a los resultados de las operaciones, por lo que los resultados tienen un significado claro y preciso de la fortaleza de la relación.
- La fortaleza de la relación entre requisitos toma un valor del propio universo de términos lingüísticos inicial.
- No hay pérdida de información debido a que no realiza procesos de aproximación para arrojar los resultados.

6. Conclusiones parciales

En este capítulo se hizo referencia a la gestión de los cambios en los requisitos de los proyectos haciendo énfasis en los proyectos informáticos. De lo cual se concluye que:

- A pesar de que existe unanimidad en que se debe llevar a cabo un proceso de gestión de cambios como parte de la gestión de proyectos, no se trabaja

claramente los análisis de impacto que producen los cambios en los elementos de un proyecto.

- Para el análisis de impacto de los cambios en los proyectos informáticos se pueden aplicar dos tipos de técnicas: de trazabilidad y de dependencia. Dentro de esta última están las técnicas estáticas y dinámicas.
- Solamente las técnicas basadas en trazabilidad y las técnicas basadas en dependencia estáticas pueden ser usadas en la gestión de proyectos. Estas técnicas permiten realizar análisis de impacto de los cambios a niveles superiores y no en áreas específicas de los proyectos.
- No se encontraron técnicas en la bibliografía consultada que aplique modelos para trabajar con la incertidumbre de la información.
- No hay unificación entre la información de las herramientas para análisis de impacto de los cambios y las herramientas de gestión de proyectos. Estas últimas no facilitan la gestión de los cambios en los requisitos producto de que carecen de elementos para gestionar el alcance de los proyectos.
- El Modelo Lingüístico de 2-Tuplas es el más adecuado para modelar la incertidumbre en las relaciones entre requisitos.

CAPÍTULO 2: MÉTODO PARA EL ANÁLISIS DE IMPACTO DE LOS CAMBIOS EN LOS REQUISITOS

1. Introducción

El presente capítulo inicia con la organización del método propuesto en etapas para su aplicabilidad. Estas etapas abarcan los elementos que se detallan a lo largo del capítulo. A continuación se establecen las relaciones entre requisitos agregando la fortaleza a dichas relaciones, para lo cual se hace uso de un modelo computacional. Se definen, además, técnicas para identificar relaciones en los requisitos que sirven de base para determinar el impacto de los cambios. Con esta información es posible entonces definir un conjunto de indicadores que muestran datos significativos de las relaciones entre requisitos y del impacto de los cambios en determinadas variables del proyecto, favoreciendo la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance asumidos con el cliente. Por último se presentan las conclusiones del capítulo.

2. Etapas del método

El método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos que se propone en el presente capítulo tiene tres etapas fundamentales para su aplicabilidad (Ver Figura 3).

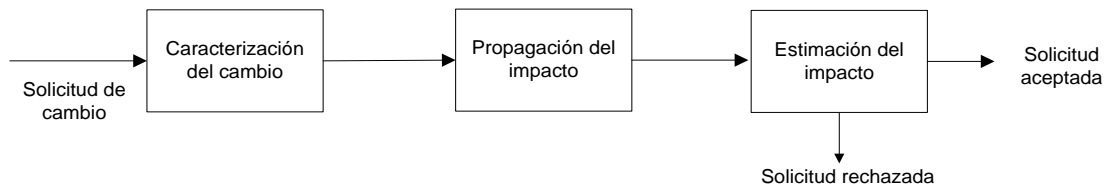


Figura 3 Etapas del método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos (elaboración propia)

Los elementos que se exponen en las próximas secciones del capítulo están organizados en cada una de estas etapas:

Etapa 1: Caracterización del cambio: La caracterización del cambio implica definir los requisitos que son afectados por el cambio perceptiblemente. El cambio se caracteriza atendiendo a la acción que ejercer sobre los requisitos iniciales. En la sección 3. *Caracterización del cambio* se brindan más detalles de esta etapa.

Etapa 2: Propagación del impacto: La propagación del impacto consiste en determinar las relaciones de un requisito inicial con el resto de los requisitos del proyecto. La sección 4. *Las relaciones entre requisitos*, establece los elementos

asociados a las relaciones entre requisitos y su fortaleza. Para determinar la propagación del impacto se propone un algoritmo que arroja como resultado las relaciones de un requisito afectado inicialmente. La construcción del algoritmo se realiza en la sección 5. *Algoritmo para determinar la propagación del impacto.*

Etapa 3: Estimación del impacto: El cálculo del impacto de un cambio propuesto en un requisito inicial, se realiza en cada requisito del proyecto. Para ello se aplica un modelo computacional que permite el trabajo con la incertidumbre en la fortaleza de las relaciones entre requisitos. El impacto se calcula mediante la aplicación de operadores de agregación para procesar información lingüística. En esta etapa, además, se proponen un conjunto de indicadores que muestran resultados del impacto de un cambio en determinadas variables del proyecto. A partir de estos datos es posible entonces, que los gestores de proyectos tomen una decisión respecto al cambio de aceptar o rechazar la solicitud de cambio. Todo lo concerniente a esta etapa del método, se expone en la sección 6. *Estimación del impacto de los cambios en los requisitos.*

3. Caracterización del cambio

Los cambios dados en los requisitos pueden afectar directamente uno o varios requisitos del proyecto. Relacionados con estos requisitos, puede haber otros requisitos y la afectación del cambio incrementaría en la medida que se propaguen las relaciones de un requisito inicial con otros requisitos del proyecto.

Los cambios tienen como dato el tipo de cambio al que responden. Según Goknil y otros (2008) existen tres tipos de cambios fundamentales:

- Adición: implica añadir datos, validaciones o transacciones en los requisitos. Es decir, los requisitos cambian semánticamente porque cambia parte de su comportamiento (Svahnberg, y otros, 2000).
- Modificación: implica realizar cambios en los datos, las validaciones y las transacciones de los requisitos, por lo que se consideran cambios semánticos al igual que los tipos de cambios de adición. También pueden considerarse en este tipo de cambio los cambios sintácticos que implican realizar cambios en la terminología utilizada para el requisito (Svahnberg, y otros, 2000).
- Eliminación: implica sustraer datos, validaciones o transacciones en los requisitos.

Independientemente del tipo que representan, los cambios pueden tener asociado un tamaño que implique mayor o menor desviación del alcance del proyecto. En este sentido, se coincide con Ghosh y otros (2011) en que se orienten los análisis de impacto a aquellos cambios que representen riesgos potenciales por la cantidad de transacciones, datos y validaciones que se requieran adicionar, modificar o eliminar en los requisitos de un proyecto.

4. Las relaciones entre requisitos

Goknil y otros (2008) definen cuatro relaciones entre requisitos: de refinación, requeridas, de contención y de conflictos.

Extrapolando estas relaciones a las relaciones entre objetos se tiene que las relaciones de refinación constituyen relaciones de herencia, las relaciones requeridas constituyen relaciones de uso y las relaciones de conflictos constituyen relaciones excluyentes, atendiendo a que:

- La herencia: permite que un objeto herede directamente el comportamiento del objeto del que hereda (Booch, y otros, 1996).
- Las relaciones de uso: son relaciones de dependencia donde un objeto utiliza los servicios de otro objeto o puede comunicarse con otro (Booch, y otros, 1996).
- Las relaciones excluyentes: son relaciones establecidas entre dos requisitos donde el cumplimiento de uno excluye el cumplimiento del otro.

Los siguientes predicados describen las relaciones entre requisitos definidas anteriormente. Para ello se define $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ como un conjunto de requisitos.

1. Relaciones de herencia: Un requisito r_1 hereda de un requisito r_2 si r_1 es derivado de r_2 por adición de más detalles en él.

Sea $A(r_1, r_2)$: r_1 hereda de r_2

$$\exists(r_1)\exists(r_2)[A(r_1, r_2)]$$

Ecuación 2

2. Relaciones de uso: Un requisito r_1 usa un requisito r_2 si r_1 está cumplido solo cuando r_2 está cumplido.

Sea $R(r)$: se cumple r

$$\exists(r_1)\exists(r_2)[\neg R(r_2) \Rightarrow \neg R(r_1)]$$

Ecuación 3

3. Relaciones de contención: Un requisito r_1 contiene requisitos $r_2 \dots r_n$ si r_1 es la conjunción de los requisitos contenidos $r_2 \dots r_n$. Esta relación posibilita descomponer requisitos complejos en requisitos más sencillos.

Sea $C(r_i, r_j)$: r_i contiene a r_j

$$\exists(r_i)\exists(r_j)[C(r_i, r_j)] \quad \text{Ecuación 4}$$

4. Relaciones excluyentes: Un requisito r_1 excluye un requisito r_2 si el cumplimiento de r_1 excluye el cumplimiento de r_2 y viceversa.

$$\exists(r_1)\exists(r_2)[(r_1 \wedge \neg r_2) \vee (\neg r_1 \wedge r_2)] \quad \text{Ecuación 5}$$

Las relaciones de herencia, uso y contención entre los requisitos cumplen las siguientes propiedades:

- Irreflexivas: un requisito no está relacionado con él mismo.
- Asimétricas: una relación entre los requisitos r_1 y r_2 , excluye la relación de r_2 con r_1 .
- Transitivas: la relación entre los requisitos r_1 y r_2 y entre r_2 y r_3 , permite que se establezca la relación entre r_1 y r_3 .

Las relaciones excluyentes difieren en una propiedad del resto de las relaciones. En este caso no se cumple que sean relaciones asimétricas sino que constituyen relaciones:

- Simétricas: si un requisito r_1 excluye un requisito r_2 se cumple también que el requisito r_2 excluye al requisito r_1 .

La forma en que se originan las relaciones es importante para lograr realizar análisis del impacto de los cambios. Las relaciones entre requisitos pueden tener una fortaleza asociada a ellas. Esta fortaleza en las relaciones están sujetas a la percepción humana debido a que es una persona la que determina la fortaleza a partir de lo que percibe en el contexto donde están relacionados dos requisitos. A partir de aquí, hay un grupo de requisitos que se relacionan implícitamente, por lo que las relaciones según la forma en que se originan pueden clasificarse en:

- Directas: relaciones dadas por una persona donde establece manualmente los requisitos adyacentes. Están sujetas a la percepción humana.
- Indirectas: relaciones que se establecen a partir del carácter transitivo de las relaciones directas entre requisitos.

La información concerniente a las relaciones directas entre requisitos puede ser representada a través de diferentes formas. Una forma muy usual de representar los requisitos es a través de matrices de trazabilidad. Estas matrices permiten visualizar claramente elementos relacionados. La Tabla 7 muestra las relaciones directas entre requisitos basadas en el tipo de relación.

Capítulo 2: Método para el análisis de impacto de los cambios en los requisitos

Tabla 7 Matriz de trazabilidad entre requisitos de un proyecto. Relación (elaboración propia)

Requisito	R ₁	R ₂	...	R _n
R ₁				
R ₂	<tipo de relación>			
...	<tipo de relación>			
R _n		<tipo de relación>		

Asociados a los tipos de relaciones están las fortalezas de dichas relaciones. Las fortalezas representan el grado de dependencia que guardan dos requisitos relacionados directamente. La Tabla 8 muestra las relaciones directas entre requisitos basadas en la fortaleza de los tipos de relaciones.

Tabla 8 Matriz de trazabilidad entre requisitos de un proyecto. Fortaleza (elaboración propia)

Requisito	R ₁	R ₂	...	R _n
R ₁				
R ₂	<fortaleza de la relación>			
...	<fortaleza de la relación>			
R _n		<fortaleza de la relación>		

Estas matrices de trazabilidad entre requisitos muestran la información de las relaciones directas que es necesaria para determinar las relaciones indirectas y, a su vez, el impacto de los cambios en todos los requisitos del proyecto. Una vez establecidas las relaciones directas entre requisitos se construye un grafo que refleja el tipo de relación y la fortaleza.

Rodríguez Puente (2012) define un grafo, o grafo no dirigido $G = (V; E)$ como un conjunto V finito y no vacío de vértices y un multiconjunto E de aristas, donde cada arista $(v_i; v_j)$; $v_i; v_j \in V$ es un par no ordenado de vértices. La definición de grafo dirigido es similar a la anterior, con la única diferencia que las aristas son pares ordenados.

El grafo construido a partir de las relaciones entre requisitos cumple que: (i) los vértices son los requisitos y (ii) las aristas representan la relación directa entre los pares de requisitos. Estos grafos cumplen lo siguiente:

- Dirigido: a pesar de que hay un tipo de relación que es simétrico – relaciones excluyentes-, las otras tres relaciones no son simétricas por lo que el grafo que se construye es dirigido.
- No conexo: al representar relaciones asimétricas, no se cumple que para cualquier par de nodos existe un camino entre ellos, siendo el grafo dirigido.

- Con ciclos: al establecer los cuatro tipos de relaciones en un mismo grafo es posible la formación de ciclos.

La Figura 4 muestra la representación de los cuatro tipos de relaciones para la construcción del grafo.

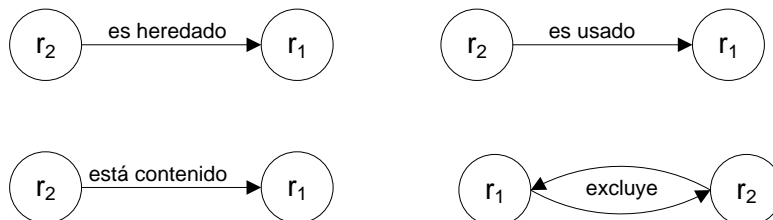


Figura 4 Relaciones entre requisitos (elaboración propia)

Para conocer el impacto de un cambio en un requisito sobre todos los requisitos con los que se relaciona directa e indirectamente, se forman caminos en el grafo que incluyen los requisitos relacionados. Las relaciones excluyentes descartan el cumplimiento de uno de los dos requisitos involucrados en la relación, por lo que otros requisitos relacionados con el requisito excluido no se ven afectados por el cambio en el requisito donde se inició el camino. De ahí que las relaciones excluyentes no deben tenerse en cuenta para el análisis de impacto de los cambios y son desechadas del grafo. Las relaciones de herencia, por las características que las distinguen, son relaciones donde un cambio en el requisito general afectará obligatoriamente al requisito que hereda. Por lo tanto las relaciones de uso y de contención son las relaciones que requieren de una persona para definir su fortaleza.

Para determinar el impacto en los requisitos relacionados indirectamente con un requisito en particular, es necesario gestionar la incertidumbre en las relaciones directas. En este sentido existen modelos que permiten gestionar la incertidumbre dada por términos lingüísticos.

4.1. La percepción en las relaciones entre requisitos

Un análisis más detallado de las relaciones entre requisitos lo brinda un modelo lingüístico computacional que ayude a determinar las fortalezas en las relaciones entre requisitos que no están relacionados directamente.

El Modelo Lingüístico de 2-Tuplas modela la información lingüística basado en el concepto de traslación simbólica y lo usa para representar la información lingüística por medio de un par de valores, llamados 2-tuplas, $(s_i; \alpha_i)$ donde s_i es un término lingüístico y α_i un valor numérico que representa la traslación simbólica (Herrera, y otros, 2000).

Para entender el modelo se presentan las definiciones 1 y 2 tomadas de (Herrera, y otros, 2000) y 3 tomada de (Torra, y otros, 2008).

Definición 1: Sea β el resultado de una agregación simbólica sobre el conjunto de etiquetas $\{s_k \in S, k=\{1, \dots, n\}\}$ evaluadas en el conjunto de términos lingüísticos $S=\{s_0, \dots, s_g\}$, por lo tanto $\beta \in [0, g]$. Sean $i = \text{round}(\beta)$ y $\alpha = \beta - i$ dos valores tales que i representa un término indexado en el intervalo de granularidad $\{0, 1, \dots, g\}$ y $\alpha \in [-0.5, 0.5)$ es la diferencia de información entre β y el índice del término lingüístico más cercano s_i en S . α es llamada traslación simbólica.

Definición 2: Sea $S = \{s_0, \dots, s_g\}$ y $\beta \in [0, g]$ un conjunto de términos lingüísticos y el resultado de una operación de traslación simbólica respectivamente. La 2-tupla asociada a β es obtenida entonces por la función $\Delta: [0, g] \rightarrow S \times [-0.5, 0.5)$ definida como:

$$\Delta(\beta) = (s_i, \alpha), \text{ con } i = \text{round}(\beta) \text{ y } \alpha = \beta - i \quad \text{Ecuación 6}$$

donde la función $\text{round}()$ asigna a β el número entero, $i \in \{0, 1, \dots, g\}$, más cercano a β .

Definición 3: Un operador de agregación es una función matemática que se emplea para la agregación de información. Un operador de agregación es una función n-aria $A: N^n \rightarrow N$, que cumple tres propiedades:

- Conmutatividad: para cualquier permutación π de $\{1, \dots, n\}$ se cumple que $A(a_1, \dots, a_n) = A(a_{\pi(1)}, \dots, a_{\pi(n)})$.
- Monotonicidad: $A(x_1, \dots, x_n) \geq A(y_1, \dots, y_n)$ si $x_n \geq y_n$.
- Idempotencia: si $a_i = a, \forall i \Rightarrow A(a_1, \dots, a_n) = a$.

4.1.1. Selección del conjunto de términos lingüísticos y su semántica

Las fortalezas entre requisitos vienen dadas por los términos lingüísticos: Nada, Muy débil, Débil, Medio, Fuerte, Muy fuerte y Perfecto; teniendo en cuenta que se recomienda usar siete términos lingüísticos (Piñero Pérez, y otros, 2013). Por lo tanto la fortaleza de las relaciones entre requisitos se delimita por un término lingüístico del conjunto $S = \{s_0=\text{Nada}, s_1=\text{Muy débil}, s_2=\text{Débil}, s_3=\text{Medio}, s_4=\text{Fuerte}, s_5=\text{Muy fuerte}, s_6=\text{Perfecto}\}$. Para representar estos términos se utiliza la función de pertenencia triangular. La Figura 5 muestra gráficamente la distribución uniforme de los siete términos lingüísticos en un intervalo de $[0, 1]$, donde el término medio (Medio) representa sintácticamente el valor de 0.5 y el resto de los términos están ubicados simétricamente con respecto a él.

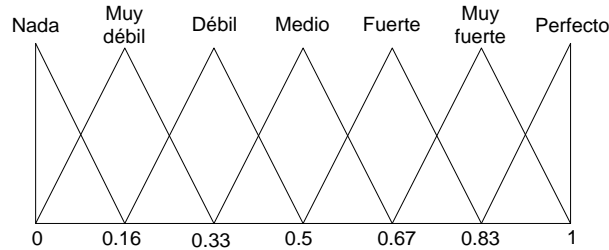


Figura 5 Sintáctica y semántica del conjunto de términos lingüísticos (elaboración propia)

El conjunto de 2-tuplas formadas a partir del conjunto de términos lingüísticos tienen las siguientes características:

1. Existe un operador de agregación: $\text{Neg}(s_i) = s_j$ tal que $j = g - i$, $g + 1$ es la cardinalidad.
2. La conversión de un término lingüístico a una 2-tupla se realiza haciendo cero la traslación simbólica: $s_i \in S \rightarrow (s_i, 0)$.
3. Comparación entre 2-tuplas: sean (s_k, α_1) y (s_l, α_2) dos 2-tuplas:
 - Si $k < l$ entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 - Si $k = l$ entonces:
 - a) Si $\alpha_1 = \alpha_2$ entonces (s_k, α_1) , (s_l, α_2) representan la misma información.
 - b) Si $\alpha_1 < \alpha_2$ entonces (s_k, α_1) es menor que (s_l, α_2) .
 - c) Si $\alpha_1 > \alpha_2$ entonces (s_k, α_1) es mayor que (s_l, α_2) .

5. Algoritmo para determinar la propagación del impacto

Muchas de las técnicas para análisis de impacto mencionadas en el capítulo 1 consisten en la construcción de algoritmos. Esta sección presenta un algoritmo que se basa en las relaciones directas entre requisitos. El objetivo del algoritmo es identificar relaciones indirectas entre los requisitos.

Partiendo del grafo construido al establecer las relaciones directas entre requisitos en la sección 4. *Las relaciones entre requisitos*, se determinan todos los requisitos relacionados indirectamente con un requisito en particular. Para ello se construye un algoritmo que determine el camino entre un requisito inicial y el resto de los requisitos del grafo. Considerando que puede haber más de un camino para llegar de un requisito inicial a otro, se tendrá en cuenta el camino que involucre menor cantidad de requisitos. Se toma este camino porque arroja una medida de la cantidad mínima de

requisitos relacionados con un requisito del grafo que se afecte por un cambio en un requisito inicial.

Entre los algoritmos escritos para resolver problemas en los grafos, se encuentra el algoritmo de búsqueda en anchura (Heileman, 2003). Este algoritmo permite resolver el problema de los caminos mínimos con origen único. Para ello se define lo siguiente:

Sean: G el grafo, V el conjunto de nodos, E el conjunto de aristas, s el nodo inicial, y $d[1...|V|]$ un arreglo que mantiene los nodos marcados y no marcados; considerando que:

- Un nodo i se considera no marcado si $d[i]$ almacena un valor designado que se denota con ∞ y marcado si almacena otro valor.

Para determinar los requisitos relacionados con un requisito en particular es necesario tener en cuenta que el peso de las aristas: (i) depende de las relaciones directas que se establezcan entre los requisitos y, (ii) se toma de valor 1 porque la longitud del camino se determinará por la cantidad de nodos que involucre el camino.

En esta sección se utiliza el algoritmo de búsqueda en anchura como base para la construcción de un algoritmo que identifique los requisitos afectados del proyecto. El resultado del algoritmo es encontrar los caminos que involucren la mínima cantidad de requisitos hasta cada uno de los requisitos del proyecto partiendo de uno inicial. Con el camino mínimo se obtiene el impacto más directo a cada requisito. Al aplicar el algoritmo de búsqueda en anchura, quedaría lo siguiente:

DeterminarCaminoRequisitos(Grafo $G=(V,E)$, nodo s)

1 para cada $v \in V$ hacer

2 $d[v] \leftarrow \infty$

3 $\text{caminos}[v] \leftarrow \{s\}$

4 $d[s] \leftarrow 0$

5 Insertar(s , S)

6 mientras S no esté vacío hacer

7 $u \leftarrow \text{ExtraerSiguiete}(S)$

8 para cada $v \in \text{adyacentes}[u]$

9 si $R(u,v)$ no es excluyente o de fortaleza *Nada* hacer

10 si $d[v] = \infty$ entonces

11 $d[v] \leftarrow d[u]+1$

12 $\text{caminos}[v] \leftarrow \text{caminos}[u] \cup \{v\}$

13 Insertar(v , S)

14 retornar caminos

El algoritmo *DeterminarCaminoRequisitos* recibe como parámetro un grafo G y un nodo s que constituye el punto de partida para determinar los requisitos relacionados. Los pasos 1-3 inicializan los arreglos d y *caminos*, que almacenan las distancias mínimas de s a cada uno de los nodos del grafo y el camino con inicio en s respectivamente. Para inicializar d , es necesario encontrar un valor lo suficientemente grande de manera que la longitud del camino al nodo adyacente siempre sea menor que dicho valor. Para ello se toma el valor n como el valor infinito debido a que el camino más largo sería de longitud $n-1$ que es el camino que involucra a todos los nodos del grafo. La inicialización de d en s se realiza asignándole el valor 0 que indica que el camino desde s a él mismo es de longitud 0. El paso 5 inserta s en S que guarda el conjunto de nodos visitados, indicando que es el primer nodo visitado.

En los pasos 6-13 se actualizan las distancias mínimas desde s a cada uno de los nodos del grafo y el camino que se forma. El paso 7 extrae el nodo siguiente del conjunto S que contiene los nodos que han sido visitados. Los pasos 8-13 actualizan los nodos adyacentes a u . Los nodos adyacentes son actualizados en caso de que la relación que los une no sea de exclusión o de fortaleza *Nada* y que tuviesen registrado longitud n para el camino. El paso 11 actualiza la longitud del camino hasta el nodo adyacente y el paso 12 concatena el nodo adyacente v con el camino registrado hasta u que es el nodo precedente a v . El paso 13 inserta a v , nodo visitado, en S .

Finalmente, el paso 14 del algoritmo devuelve el arreglo *caminos*, que contiene los caminos de s al resto de los nodos del grafo, para un grafo representativo de los requisitos de un proyecto.

6. Estimación del impacto de los cambios en los requisitos

Tomar una decisión en la gestión de los cambios en los requisitos es cuestión de ejecutar o no un cambio pero se requiere de información que ayude a los gestores de proyectos a seleccionar la mejor alternativa. El algoritmo construido en la sección anterior conduce a identificar las relaciones entre requisitos. Una vez conocidas las relaciones entre requisitos, es necesario definir si un cambio en un requisito en particular afecta a los requisitos con los que se relaciona y en qué medida lo hace. Para determinar el impacto de los cambios en los requisitos se considera el impacto como la fortaleza de las relaciones entre los requisitos. El impacto en los requisitos directos se determina por la propia fortaleza de la relación mientras que el impacto en

las relaciones indirectas se calcula usando un operador de agregación que permita procesar información lingüística.

Las relaciones indirectas entre requisitos se obtienen del grafo que se construye a partir de las relaciones directas entre requisitos definidas en la sección 4. *Las relaciones entre requisitos.*

El peso de las aristas está dado por las 2-tuplas $(s_i; \alpha_i)$, donde s_i es un término lingüístico y α la traslación simbólica. Por lo tanto, el conjunto de aristas E está compuesto por las 2-tuplas formadas a partir de establecer las relaciones directas, donde s_i es el término lingüístico asociado a la relación y el valor de α es cero (Ver Figura 6).

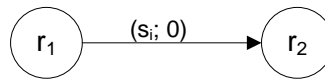


Figura 6 Peso de las aristas (elaboración propia)

Para determinar las relaciones indirectas es necesario realizar un procesamiento de información lingüística debido a los términos lingüísticos que definen la fortaleza en las relaciones entre requisitos. Para ello se propone el uso de dos operadores de agregación: Media Aritmética (Herrera, y otros, 2000) y un operador de la familia *neat* OWA (*ordered weighted averaging* –media ponderada ordenada-) (Yager, 1993) (Herrera, y otros, 2000). El cálculo del impacto mediante estos operadores arroja resultados del impacto de los cambios en los requisitos en términos lingüísticos. Los proyectos pueden utilizar estos resultados en la toma de decisiones como dos indicadores que, indistintamente, brindan información del impacto.

La Media Aritmética para 2-tuplas se define de la siguiente forma (Herrera, y otros, 2000):

Definición 4: Sea $x = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas, la 2-tupla Media Aritmética \bar{x}^e es computada como:

$$\bar{x}^e = \Delta \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{n} \Delta^{-1}(r_i, \alpha_i) \right) = \Delta \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \beta_i \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

donde $\Delta^{-1}(r_i, \alpha) = i + \alpha = \beta$

El operador OWA se define de la siguiente forma (Yager, 1993):

Definición 5: Un operador OWA de dimensión n es un mapa: $f: R^n \rightarrow R$, que está asociado con un vector de pesos $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)^T$ donde $w_i \in [0, 1]$ y $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. Además $f(a_1, \dots, a_n) = \sum_{i=1}^n w_i b_j$ donde b_j es el j -ésimo valor más grande del conjunto $\{a_1, \dots, a_n\}$.

Como el operador OWA asume que los pesos asignados a los valores del conjunto $\{a_1, \dots, a_n\}$ corresponden con la posición de estos valores en el propio conjunto; se utilizará un operador *neat* OWA que permite que los pesos no sean ordenados sino que dependan de los valores agregados. Para ello los pesos se calculan mediante la siguiente fórmula, haciendo uso del operador *Basic Defuzzification Distribution OWA* (BADD-OWA) (Yager, 1993):

$$w_i = \frac{b_i^\alpha}{\sum_{i=1}^n b_i^\alpha} \quad \text{Ecuación 8}$$

donde: $\alpha \geq 1$, $w_i \in [0, 1]$ y $\sum_{i=1}^n w_i = 1$.

Considerando que se utiliza el Modelo Lingüístico de 2-Tuplas, se empleará el operador OWA definido para este modelo (Herrera, y otros, 2000):

Definición 6: Sea $A = \{(r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)\}$ un conjunto de 2-tuplas y sea $W = (w_1, \dots, w_n)$ un vector de pesos asociados que satisface que (i) $w_i \in [0, 1]$ y (ii) $\sum_{i=1}^n w_i = 1$. La 2-tupla del operador OWA F^α para las 2-tuplas lingüísticas se calcula de la siguiente forma:

$$F^\alpha((r_1, \alpha_1), \dots, (r_n, \alpha_n)) = \Delta \left(\sum_{j=1}^n w_j \beta_j^* \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

donde: β_j^* es el j-ésimo valor más grande de los valores β_j .

El resultado de aplicar ambos operadores de agregación es una 2-tupla (r, α) donde r es uno de los términos lingüísticos establecidos en el conjunto S de la sección 4.1.1. *Selección del conjunto de términos lingüísticos y su semántica* y α la traslación simbólica.

Estos resultados indican que independientemente del tipo de cambio, el impacto que produce puede llegar a ser muy débil o muy fuerte por adición, modificación o eliminación de elementos en los requisitos.

Tanto la Media Aritmética como el operador OWA, del Modelo Lingüístico de 2-Tuplas, operan con los valores β que representan la transformación de una 2-tupla a un número real comprendido en el intervalo $[0, 6]$. Este intervalo viene dado por las posiciones que ocupan los términos lingüísticos del conjunto S . Para que el resultado esté dado en términos lingüísticos es necesario convertir el valor de β resultante de aplicar los operadores a una 2-tupla. Para ello es necesario redondear el valor de beta al número entero más cercano para determinar el término lingüístico que tiene asociado beta y calcular la diferencia entre éste y beta para hallar la traslación simbólica. El siguiente algoritmo permite realizar esta conversión:

ConvertirA2Tupla(real beta)

1 pos ← redondear(beta)

2 alfa ← beta-pos

3 retornar nueva 2Tupla(S[pos], alfa)

El paso 1 redondea *beta*, que es un número real, al número entero más cercano. El paso 2 calcula el valor de *alfa* que resulta un número comprendido en el intervalo [-0.5, 0.5). Por último el algoritmo devuelve la 2-tupla formada por el término lingüístico en la posición *pos* y el valor *alfa*.

6.1. Otros indicadores de apoyo a la toma de decisiones

Los análisis de impacto de un cambio requieren información variada para tomar decisiones con respecto al cambio en cuestión. En este sentido se pueden identificar un conjunto de indicadores para aplicar a los proyectos que posibilitan conocer elementos cuantitativos relativos a las relaciones directas e indirectas entre requisitos y al impacto de los cambios dados en los requisitos.

Los intervalos para la lectura de los indicadores se dejan a consideración de los usuarios, con ello se evita restringir los conjuntos de valores para cada proyecto que utilice el método. Se proponen tres conjuntos en los que oscilan los valores de los indicadores: alto, medio y bajo.

- Índice de relaciones directas de un requisito por tipo de relación:

$$IDR = \frac{TRTR}{N-1} \quad \text{Ecuación 10}$$

donde: *N* es la cantidad total de requisitos del proyecto y *TRTR* es el total de requisitos relacionados directamente con un requisito del proyecto por tipo de relación.

- Índice de relaciones directas de un requisito por fortaleza de la relación:

$$IDF = \frac{TRDF}{N-1} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde: *N* es la cantidad total de requisitos del proyecto y *TRDF* es el total de requisitos relacionados directamente con un requisito del proyecto por fortaleza de la relación.

- Índice de relaciones indirectas por fortaleza de la relación:

$$IIF = \frac{TRIF}{N-1} \quad \text{Ecuación 12}$$

donde: N es la cantidad total de requisitos del proyecto y $TRIF$ es el total de requisitos relacionados indirectamente con un requisito del proyecto por fortaleza de la relación.

Este indicador se ajusta solamente a una variante del cálculo del impacto. Por lo tanto, arroja resultados teniendo en cuenta el cálculo del impacto mediante la Media Aritmética y mediante el operador BADD OWA. En este indicador se excluyen las relaciones que tienen fortaleza *Nada* porque indica que no existe relación entre los requisitos.

- Índice de utilización de un requisito:

$$IUR = \frac{TRDI}{N-1} \quad \text{Ecuación 13}$$

donde: N es la cantidad total de requisitos del proyecto y $TRDI$ es el total de requisitos que dependen del requisito analizado, $TRDI = TRIF + TRTR$.

En este indicador se excluyen las relaciones que tienen fortaleza *Nada* porque indica que no existe relación entre los requisitos.

- Porcentaje de tareas afectadas por un cambio en un requisito:

$$PTA = \frac{CTA}{M} \times 100 \quad \text{Ecuación 14}$$

donde: M es la cantidad total de tareas abiertas del proyecto y CTA es la cantidad de tareas afectadas por un cambio en un requisito.

- Porcentaje de recursos humanos afectados por un cambio en un requisito:

$$PRHA = \frac{CRHA}{TRH} \times 100 \quad \text{Ecuación 15}$$

donde: TRH es la cantidad total de recursos humanos del proyecto y $CRHA$ es la cantidad de recursos humanos afectados por un cambio en un requisito.

Los recursos humanos están asociados a las tareas y estas a su vez pueden estar asociadas a los requisitos del proyecto.

7. Conclusiones parciales

El método de análisis de impacto de los cambios en los requisitos propuesto en el presente capítulo aporta elementos que apoyan la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance asumidos con el cliente. Este método puede aplicarse a nivel de proyecto partiendo de tener definidas las relaciones directas y sus fortalezas entre requisitos.

El método propuesto presenta las siguientes potencialidades:

- Se agrega la fortaleza a las relaciones entre requisitos establecidas por Goknil y otros (2008) a partir de un conjunto de términos lingüísticos.
- Se definen dos tipos de relaciones atendiendo a la forma en que se generan: directas e indirectas.
- El algoritmo identificado para determinar relaciones indirectas entre requisitos, se basa en las relaciones directas que se definen en matrices de trazabilidad.
- Se proponen dos operadores de agregación para la estimación del impacto de los cambios en los requisitos: Media Aritmética y BADD OWA. Los operadores de agregación operan con los términos lingüísticos definidos para la fortaleza en las relaciones entre requisitos. Esto constituye una novedad introducida por el método.
- Se proponen seis indicadores que cuantifican las relaciones –directas e indirectas- entre requisitos así como el impacto de los cambios dados en otras variables a nivel de proyecto.

El método propuesto presenta las siguientes limitaciones:

- No tiene en cuenta información referente a los requisitos que puede influir en el análisis de impacto de los cambios en el alcance de los proyectos como la complejidad.
- No tiene en cuenta otros productos de trabajo de los proyectos en los que puede influir un cambio, además de los requisitos del proyecto.
- No refleja los riesgos a tener en cuenta durante la ejecución de los cambios en los requisitos afectados.

CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MÉTODO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Introducción

El objetivo del presente capítulo es analizar los resultados obtenidos luego de la aplicación del método propuesto en la versión 13.05 del Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO. El capítulo comienza con una descripción del estado actual de la gestión de alcance en GESPRO y continúa con una síntesis de la aplicación del método. Como parte de la evaluación del método se analizan los algoritmos propuestos y se compara el método con otras técnicas encontradas en la bibliografía. Se incluye, además, un análisis económico de la aplicación de este método en GESPRO. A continuación se presenta la incidencia del método en la ayuda a la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente en GESPRO. Finalmente, se presentan las conclusiones del capítulo.

2. Descripción del estado actual de la gestión de alcance en GESPRO

Para apoyar la gestión de los proyectos en la UCI, se ha generalizado el uso de la herramienta informática de gestión de proyectos GESPRO. GESPRO es un Paquete para la Gestión de Proyectos desarrollado por la UCI (Lugo García, y otros, 2012). Cuenta con un conjunto de funcionalidades asociadas a la gestión de proyectos dentro de las que se tiene un componente para la gestión de los requisitos que incluye el registro de las solicitudes de cambios realizadas.

Dentro de los módulos de la versión 13.05 de GESPRO está *Gestión de alcance y tiempo* que tiene un espacio para gestionar los requisitos de un proyecto. De los requisitos se maneja la siguiente información: nombre, requisito padre –requisito del cual se deriva-, complejidad, prioridad, fecha de solicitud, tipo, estado, descripción y prototipo. Para cada requisito se almacena información significativa para la arquitectura, dentro de la que se encuentra el grado de dependencia de otros requisitos. Esta información se determina por valoración del equipo de arquitectura del proyecto sin emplear técnicas que permitan un cálculo más acertado a partir de tener bien identificados los datos necesarios en GESPRO.

A los requisitos se le pueden asociar procesos del dominio definidos, tareas, solicitudes de cambio y no conformidades. Las solicitudes de cambio inciden sobre los requisitos

definidos en el proyecto. Es por ello que GESPRO las maneja desde la propia vista de gestión de requisitos.

Las solicitudes de cambio de los requisitos recogen los siguientes datos: nombre, descripción, prioridad, impacto, activo –se especifica sobre cuál activo se produce el cambio-, línea base a modificar –se especifica la vista de la arquitectura que se modifica-, elementos de configuración afectados –se listan los elementos de configuración del software que se afectan-, justificación de la decisión, decisión tomada, ambiente actual -descripción de la situación actual del sistema sin la ejecución del cambio-.

Al gestionarse los cambios de los requisitos no existe forma de relacionar dichos cambios con otros elementos afectados en el sistema sino que permite que el usuario que registra la solicitud de cambio introduzca estos datos a expensas de no corresponder con información real del proyecto. El impacto del cambio se registra por la persona que registra la solicitud sin que existan técnicas que avalen el valor dado y no existen indicadores que midan aspectos relativos a la gestión de cambios en los requisitos.

3. Síntesis de la aplicación del método en GESPRO

El método se aplicó en la versión 13.05 del Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO a partir de la implementación de un paquete desarrollado en PL/R. Una vez obtenido el paquete se integró a GESPRO mediante el *plugin gespro_requirements_management* que implementa funcionalidades de apoyo a la toma de decisiones relativas a los requisitos. El paquete desarrollado para el cálculo del impacto de los cambios en los requisitos, *change_requirements_impact*, requiere datos de los requisitos que son gestionados mediante el *plugin gespro_requirements*. La siguiente figura muestra la integración de estos componentes:

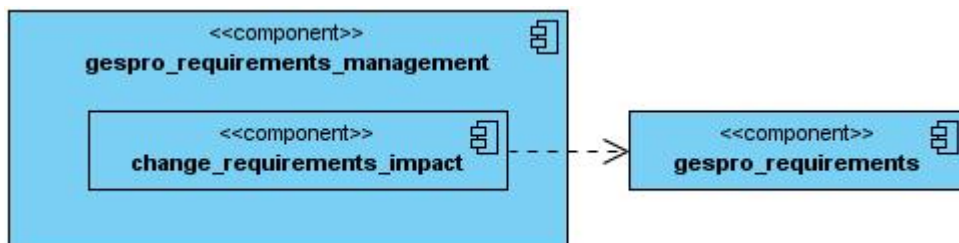
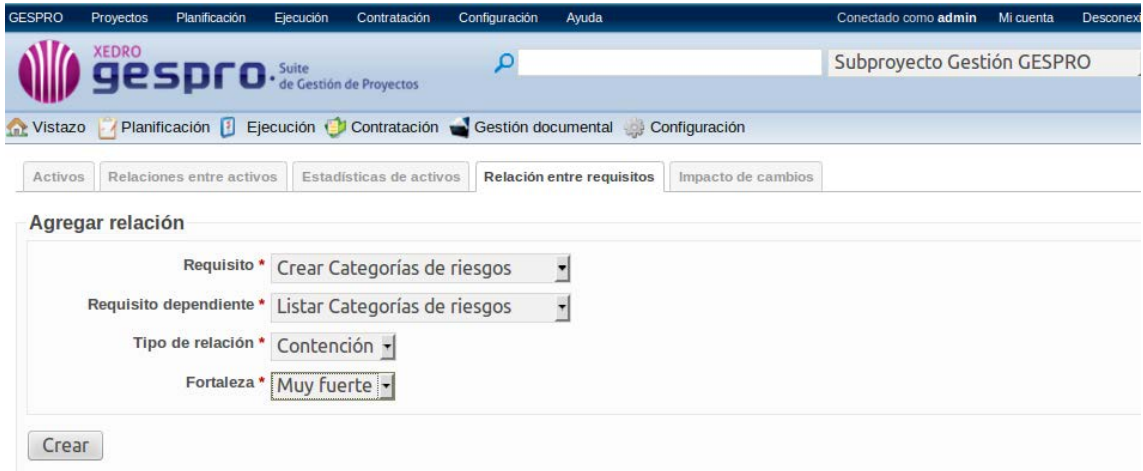


Figura 7 Diagrama de integración del paquete desarrollado con GESPRO (elaboración propia)

A continuación se expone cómo se instauró cada etapa del método propuesto en GESPRO:

Etapa 1: Caracterización del cambio propuesto. La información asociada al cambio que se registra en GESPRO 13.05 sin la aplicación del método, es suficiente para caracterizar el cambio.

Etapa 2: Propagación del impacto. Para determinar la propagación del impacto de un cambio en los requisitos del proyecto, es necesario haber establecido la trazabilidad entre requisitos. La Figura 8 muestra los datos requeridos para registrar las relaciones entre requisitos en GESPRO.



The screenshot shows the GESPRO web application interface. The top navigation bar includes 'GESPRO', 'Proyectos', 'Planificación', 'Ejecución', 'Contratación', 'Configuración', and 'Ayuda'. The user is logged in as 'admin'. The main menu includes 'Vistazo', 'Planificación', 'Ejecución', 'Contratación', 'Gestión documental', and 'Configuración'. The current page is 'Relación entre requisitos'. The 'Agregar relación' form has the following fields:

- Requisito: Crear Categorías de riesgos
- Requisito dependiente: Listar Categorías de riesgos
- Tipo de relación: Contención
- Fortaleza: Muy fuerte

A 'Crear' button is located at the bottom of the form.

Figura 8 Relaciones entre requisitos en GESPRO

Para registrar la trazabilidad se requiere establecer el tipo de relación entre requisitos (herencia, contención, uso y exclusión) y la fortaleza asociada a estas relaciones (Nada, Muy débil, Débil, Medio, Fuerte, Muy fuerte, Perfecto). Esta funcionalidad tiene como restricción que:

- Las relaciones de herencia tienen fortaleza: *Perfecto*.
- Las relaciones excluyentes no tienen fortaleza.
- Las relaciones de uso y contención son aquellas que su fortaleza toma un valor del conjunto de términos lingüísticos S.

La Figura 9 muestra la trazabilidad entre requisitos una vez que se hayan establecido las relaciones y sus fortalezas entre los requisitos.

Capítulo 3: Aplicación del método y análisis de resultados

NOMBRE	REQUISITO DEPENDIENTE	TIPO DE RELACIÓN	FORTALEZA	
Gestionar Recursos a nivel de centro	Crear Recursos a nivel de centro.	Uso	Fuerte	Borrar
Gestionar Recursos a nivel de centro	Filtrar listado de Recursos a nivel de centro.	Contención	Medio	Borrar
Filtrar listado de Recursos a nivel de centro	Gestionar solicitudes a nivel de centro.	Uso	Débil	Borrar
Gestionar solicitudes a nivel de centro	Aprobar o rechazar solicitudes a nivel de centro	Contención	Medio	Borrar
Gestionar categorías de recursos a nivel de centro	Gestionar Recursos a nivel de centro recursos.	Uso	Débil	Borrar
Eliminar recursos a nivel de centro	Mostrar estadísticas de recursos del proyecto.	Contención	Fuerte	Borrar
Crear Categorías de riesgos	Listar Categorías de riesgos	Contención	Muy fuerte	Borrar
Solicitar parámetros para agrupar reportes	Agrupar reportes por áreas de conocimiento	Exclusión	Nada	Borrar
Gestionar fases del proyecto	Seleccionar los módulos del proyecto.	Herencia	Perfecto	Borrar

Figura 9 Trazabilidad entre requisitos en GESPRO

Etapa 3: Estimación del impacto. La Figura 10 muestra el impacto que causa un cambio en un requisito seleccionado en el resto de los requisitos del proyecto.

REQUISITO	LONGITUD DEL CAMINO	IMPACTO MEDIA ARITMÉTICA	IMPACTO NEAT OWA
Mostrar estadísticas de recursos del proyecto.	3	fuerte, 0.33333	fuerte, 0.33333
Crear Recursos a nivel de centro.	1	fuerte, 0	fuerte, 0
Gestionar solicitudes a nivel de centro.	2	medio, 0.5	medio, 0.5
Aprobar o rechazar solicitudes a nivel de centro	3	medio, 0.33333	medio, 0.33333
Eliminar recursos a nivel de centro.	2	fuerte, 0.5	fuerte, 0.5
Filtrar listado de Recursos a nivel de centro.	1	medio, 0	medio, 0

Figura 10 Impacto de los cambios en GESPRO

Para determinar el impacto se requiere identificar el requisito candidato a cambiar. A partir de este paso, el sistema muestra los requisitos del proyecto con el impacto que ejerce el cambio en el requisito identificado sobre el resto de los requisitos del proyecto. El impacto está dado por los resultados de los operadores Media Aritmética y

neat OWA. También, muestra la cantidad de requisitos que se afectan en la relación con cada requisito con el que exista un camino.

Además del impacto, se muestran otros indicadores que cuantifican las relaciones entre requisitos y la afectación del cambio en las tareas y los recursos humanos del proyecto.

4. Análisis de los algoritmos propuestos

Para el análisis de los algoritmos se tendrá en cuenta la complejidad temporal y la corrección. Un algoritmo para resolver algún problema, funciona o es correcto, si y solo si el algoritmo termina con todas las postcondiciones del problema verdaderas, en cualquier momento que es iniciado, teniendo todas las precondiciones del problema verdaderas (Baldwin, y otros, 2004). La corrección de los algoritmos del método se muestra en el *Anexo 3: Corrección de los algoritmos*.

4.1. Complejidad temporal

La complejidad temporal de un algoritmo es medido por la complejidad temporal del algoritmo base, para lo cual se utiliza la notación asintótica del peor caso (O , o mayúscula) (Aho, y otros, 1988).

A continuación se muestra el cálculo de la complejidad temporal de los algoritmos propuestos en el método:

- Algoritmo *DeterminarCaminoRequisitos*

Este algoritmo tiene dos ciclos. El primer ciclo tiene dos instrucciones con complejidad $O(1)$. Como el ciclo debe realizar n iteraciones para inicializar la distancia a cada nodo del grafo, la complejidad del ciclo es $O(n)$. El segundo ciclo realiza un llamado a la función *ExtraerSiguiente* que tiene una complejidad temporal $O(1)$ y tiene un ciclo interno de complejidad temporal $O(n)$. La complejidad de este ciclo interno es $O(n)$ porque el número de iteraciones que realiza está en correspondencia con la cantidad de nodos adyacentes al nodo u , que en el peor caso tiene $n-1$ nodos adyacentes. El segundo ciclo por su parte realizará n iteraciones en el peor caso que es cuando hay un camino a cualquier nodo del grafo partiendo de s . Por lo tanto, la complejidad temporal del segundo ciclo del algoritmo es $O(n^2)$. Finalmente, la complejidad del algoritmo *DeterminarCaminoRequisitos* es $O(n^2)$.

- Algoritmo *ConvertirA2Tupla*

Este algoritmo tiene complejidad $O(1)$ porque cada una de sus instrucciones tiene complejidad $O(1)$.

4.2. Comparación con otros algoritmos

De las técnicas para el análisis de impacto de los cambios basadas en trazabilidad o dependencia –para el caso de técnicas estáticas- estudiadas en el capítulo 1, solamente en la técnica propuesta por Yang y otros (2007) se construye un algoritmo. Este algoritmo recibe como entrada una matriz que representa las dependencias entre requisitos y un conjunto de requisitos que cambian. La siguiente tabla establece una comparación entre el algoritmo propuesto en la presente investigación y el algoritmo de Yang y otros (2007).

Tabla 9 Comparación de los algoritmos propuestos con otros algoritmos (elaboración propia)

	Algoritmo de Yang y otros	Algoritmos propuestos
Propagación del impacto	Analiza el impacto de realizar cambios en más de un requisito en los requisitos restantes.	Analiza el impacto de cambiar un requisito en todos los requisitos restantes.
Base matemática utilizada	Utiliza un indicador para calcular el grado de impacto basándose en flujos de trabajo de los requisitos pero no especifica cómo determinar dichos flujos de trabajo.	Se basa en operadores de agregación para procesar información lingüística.
Relaciones entre requisitos	Tiene en cuenta solamente relaciones de dependencias.	Tienen en cuenta cuatro tipos de relaciones: uso (dependencia), herencia, contención y excluyentes.
Gestión de la incertidumbre	No.	Sí, en las relaciones entre requisitos.
Complejidad temporal	$O(n^2)$.	$O(1)$ y $O(n^2)$.
Resultados	Arroja los nuevos flujos de trabajo de los requisitos. No realiza un análisis cualitativo de los resultados.	Arrojan un valor lingüístico (Nada, Muy débil, Débil, Medio, fuerte, Muy fuerte, Perfecto) del impacto del cambio en cada requisito.

El algoritmo propuesto por Yang y otros (2007) tiene como potencialidades respecto al algoritmo propuesto en la presente investigación que permite realizar un análisis de impacto de un conjunto de cambios dados en más de un requisito al mismo tiempo.

5. Análisis de la competitividad en el mercado del método propuesto

Para el análisis de la competitividad en el mercado del método propuesto, se tiene en cuenta la comparación del método con las técnicas encontradas en la bibliografía y un análisis económico de la integración del método a GESPRO.

5.1. Comparación del método con otras técnicas de análisis de impacto de los cambios en proyectos

En el capítulo 1 se hizo mención a tres técnicas de análisis de trazabilidad: la técnica propuesta por Ibrahim y otros (2005), la propuesta de Goknil y otros (2008) y la propuesta de Yang y otros (2007) y a una técnica de análisis de dependencia estática: la técnica propuesta por Sherriff (2007).

Para determinar cómo cada una de estas técnicas realizan los análisis de impacto de los cambios en los requisitos, se toma un caso de estudio: Servicio de Préstamos de una Biblioteca. En la Tabla 10 se listan los requisitos del caso de estudio:

Tabla 10 Requisitos del caso de estudio Servicio de préstamos de una biblioteca (elaboración propia)

Número	Nombre
1	Autenticar usuario
2	Gestionar material
3	Dar alta a material
4	Dar baja a material
5	Sancionar usuario
6	Gestionar usuario
7	Inscribir usuario
8	Dar baja a usuario
9	Renovar préstamo
10	Devolver material
11	Realizar préstamo
12	Gestionar permisos
13	Crear permisos
14	Eliminar permisos
15	Modificar permisos
16	Consultar informes
17	Reclamar material
18	Consultar catálogo
19	Asignar permiso a usuario
20	Eliminar permiso a usuario

Para facilitar la aplicación de las diferentes técnicas se define la matriz de trazabilidad donde se relacionan los requisitos (Ver Tabla 11).

Tabla 11 Matriz de trazabilidad entre requisitos para el caso de estudio (elaboración propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		x			x	x			x	x	x	x				x	x	x	x	x
2			x	x																
3																				
4																				
5																				
6							x	x												

7																					
8				x																	
9																					
10																			x		
11								x	x										x		
12												x	x	x						x	x
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					

Para la aplicación de las técnicas encontradas en la bibliografía y del método propuesto, se analizará el impacto de un cambio en un requisito en el resto de los requisitos del proyecto. Se propone un cambio en el requisito 18 que implica la adición de una transacción en el requisito.

Aplicación de la técnica de Ibrahim y otros

Usando esta técnica se puede hallar no sólo los requisitos impactados con un cambio en un requisito sino que se puede determinar el impacto en artefactos de otros niveles (diseño, código, casos de prueba) basándose en la herramienta Catia. A partir de tener identificado el artefacto que afecta un cambio, se continúa el proceso de la siguiente forma:

- Se selecciona en qué tipo de artefacto se quiere analizar el impacto. Para este caso se seleccionan los requisitos.
- Se obtienen los requisitos relacionados con el requisito 18. Los requisitos son el 1 y 11, porque solamente tiene en cuenta las relaciones directas entre requisitos.

Aplicación de la técnica de Goknil y otros

Según los tipos de cambios que se proponen en esta técnica, el cambio propuesto es de modificación y afecta las entidades de los requisitos. Primeramente, es necesario identificar las relaciones de primer nivel del requisito 18. La Figura 11 muestra las relaciones entre los requisitos del caso de estudio.

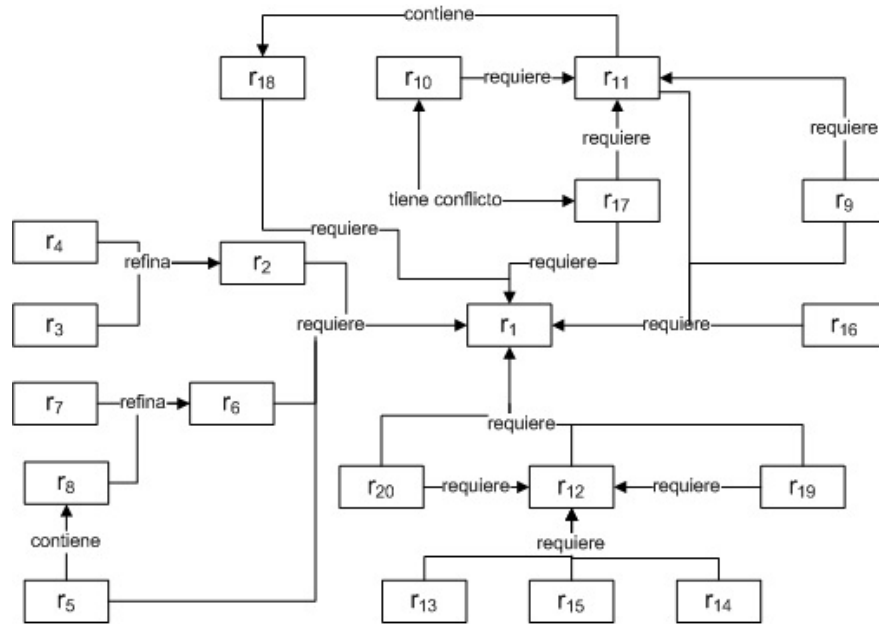


Figura 11 Relaciones entre requisitos para la técnica de Goknil y otros

Teniendo en cuenta las reglas que propone la técnica, se tienen los siguientes impactos para las relaciones directas del requisito 18:

- Requisito 11 contiene al requisito 18: el requisito 11 es candidato a ser impactado.
- Requisito 18 requiere al requisito 1: el requisito 1 no es impactado.

Seguidamente se detallan las relaciones directas de cada uno de estos requisitos atendiendo a si fueron impactados o no con el cambio.

Como relaciones directas del requisito 11 están los requisitos 9, 10 y 17, donde los tres requieren al requisito 11. Por lo tanto los tres requisitos son impactados si se modifica el requisito 11. Estas son las relaciones del segundo nivel.

Los requisitos 10 y 17 tienen un tipo de relación de conflicto entre sí, por lo tanto si alguno es impactado no afecta al otro. Estas son las relaciones del tercer nivel.

Como el requisito 1 no es impactado, no se analizan sus relaciones.

Por lo tanto, el resultado de aplicar la técnica es que los requisitos 9, 10, 11 y 17 son candidatos a afectarse por el cambio dado.

Aplicación de la técnica de Yang y otros

En esta técnica primeramente se identifican los requisitos relacionados directamente. Cada uno de estos requisitos debe tener asociado una carga de trabajo (W_s). Para aplicar la técnica se asume la carga de trabajo de los requisitos según la Tabla 12. La

carga de trabajo que asume la autora de la presente tesis, se calcula a partir de la cantidad de relaciones de cada requisito.

Tabla 12 Carga de trabajo de los requisitos del caso de estudio (elaboración propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
W_s	12	3	1	1	2	2	1	1	5	3	5	6	1	1	1	1	3	2	2	2

Para determinar el factor de impacto es necesario definir las dependencias entre los requisitos. Como las relaciones de herencia, uso y contención establecen algún tipo de dependencia entre requisitos, serán consideradas para aplicar la técnica. La Tabla 13 muestra el factor de impacto para aquellos requisitos que dependen directa o indirectamente del requisito 18.

Tabla 13 Factor de impacto de las relaciones entre requisitos (elaboración propia)

	18	11	17	10	9
	1	18	11	11	11
FI	0.16	2.5	0.6	0.4	1

A partir del factor de impacto es posible determinar las nuevas cargas de trabajo de los requisitos relacionados con el requisito 18 (Ver Tabla 14).

Tabla 14 Nuevas cargas de trabajo de los requisitos (elaboración propia)

	18	11	17	10	9
W_s	2	4.5	2.7	1.8	4.5

Los resultados de la Tabla 14 indican una variación en las cargas de trabajo de los requisitos. La interpretación de las nuevas cargas está en correspondencia con el significado que le proporcione el proyecto a las mismas. La técnica no ofrece una interpretación cualitativa de los resultados.

Aplicación de la técnica de Sherriff

Esta técnica provee una metodología para el análisis de impacto. A continuación se detalla la aplicación de estos pasos al caso de estudio:

Paso 1: Determinar objetivos del análisis: el objetivo es determinar las consecuencias de los cambios.

Paso 2: Seleccionar el tipo de artefacto de desarrollo: el tipo de artefacto de desarrollo asociado a este objetivo es el registro de cambios. Como no se tienen registros de cambios para el caso de estudio no se puede continuar aplicando esta técnica.

Con esta técnica no se tiene en cuenta el cambio propuesto, sino que se basa en hacer análisis de impacto de los cambios producidos con anterioridad en el sistema. No

obstante los registros de cambios mostrarían los efectos en determinadas áreas del sistema como líneas de código, métodos, clases, archivos o paquetes. Por lo tanto, los requisitos pueden constituir áreas no ejecutables como son los archivos pero no mostraría el impacto en cada uno de los requisitos.

Aplicación del método propuesto

Etapa 1: Caracterización del cambio

Según la información referente al cambio, se trata de un cambio de tipo adición.

Etapa 2: Propagación del impacto

Para determinar la propagación del impacto según este método, se definen los tipos de relaciones entre requisitos y la fortaleza de las relaciones.

La Tabla 15 y la Tabla 16 muestran las matrices de trazabilidad entre requisitos asociadas al tipo de relación y a la fortaleza de la relación respectivamente.

Tabla 15 Matriz de trazabilidad entre requisitos para el caso de estudio. Relación (elaboración propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		U			U	U			U	U	U	U				U	U	U	U	U
2			H	H																
3																				
4																				
5																				
6							H	H												
7																				
8					C															
9																				
10																	E			
11									U	U							U			
12													H	H	H				U	U
13																				
14																				
15																				
16																				
17										E										
18											C									
19																				
20																				

Relaciones de herencia (H), relaciones de uso (U), relaciones de contención (C), relaciones excluyentes (E)

Tabla 16 Matriz de trazabilidad entre requisitos para el caso de estudio. Fortaleza (elaboración propia)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		N			N	N			N	N	N	N				N	N	N	D	D
2			P	P																
3																				
4																				
5																				
6							P	P												
7																				
8					M															
9																				
10																				
11									Mf	Mf								Mf		
12													P	P	P				F	F
13																				
14																				
15																				
16																				
17																				
18																				
19																				
20																				

Nada (N), Muy débil (Md), Débil (D), Medio (M), Fuerte (F), Muy fuerte (Mf), Perfecto (P)

A partir de la información de trazabilidad se construye el grafo de la Figura 12. En el grafo se suprimen las relaciones excluyentes y las relaciones de fortaleza *Nada*, debido a que no permiten la propagación del impacto del cambio.

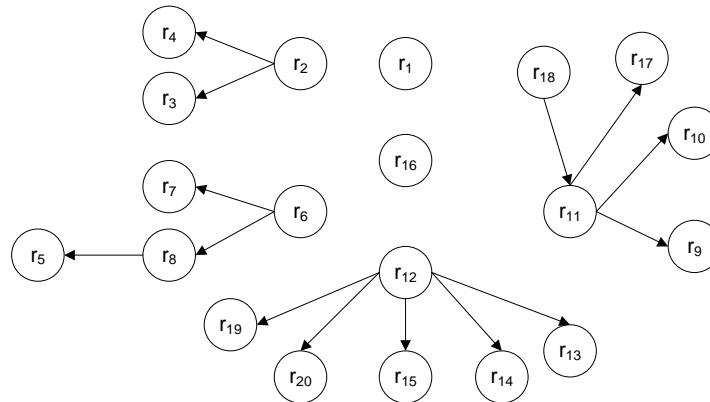


Figura 12 Grafo asociado a las relaciones y fortaleza entre requisitos (elaboración propia)

Al aplicar el algoritmo *DeterminarCaminoRequisitos* se determinan los requisitos relacionados directa e indirectamente con el requisito afectado por el cambio.

El cambio producido en el requisito 18 afecta directamente al requisito 11 e indirectamente a los requisitos 9, 10 y 17. La Tabla 17 muestra el camino a cada uno de los requisitos relacionados con el requisito 18 y la longitud del camino.

Tabla 17 Propagación del impacto del cambio en requisito 18 (elaboración propia)

Número de requisito	Camino	Longitud
9	18-11-9	2
10	18-11-10	2
11	18-11	1
17	18-11-17	2

Etapa 3: Estimación del impacto

Una vez obtenidos los caminos a cada requisito relacionado con el requisito 18, se calcula el impacto en los requisitos relacionados. El cálculo del impacto en el requisito 11, relacionado directamente, es la propia fortaleza de la relación, (Medio, 0). El cálculo del impacto en los requisitos 9, 10 y 17, relacionados indirectamente, se realiza aplicando los operadores de agregación Media Aritmética y BADD OWA haciendo $\alpha=1$. Con el cálculo de la Media Aritmética el resultado es (Fuerte, 0) y al calcular con BADD OWA el resultado es (Fuerte, 0.25) (Ver Figura 13).

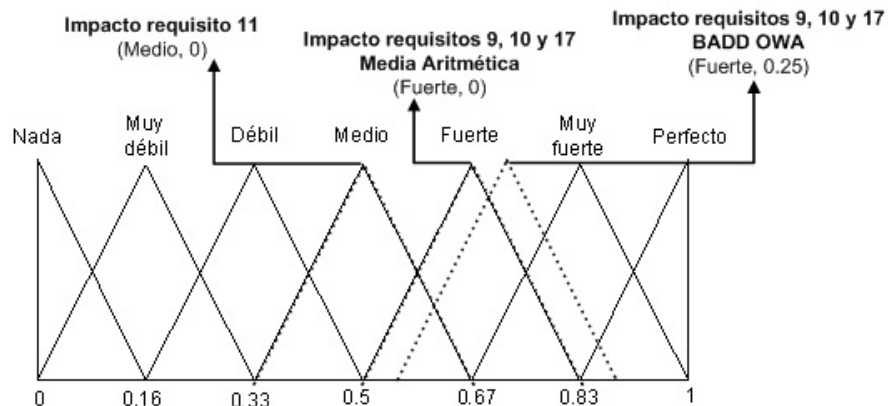


Figura 13 Resultados al aplicar los operadores de agregación Media Aritmética y BADD OWA (elaboración propia)

Estos resultados arrojan que el cálculo del impacto del cambio producido en el requisito 18 tiene una probabilidad considerable de afectar los requisitos 9, 10, 11 y 17.

Para establecer una comparación entre ambos operadores: Media Aritmética y BADD OWA, se considerará un segundo cambio en los requisitos. Suponiendo un cambio en el requisito 6, al aplicar el método propuesto, se identifican los requisitos 7 y 8 como

relaciones directas y el requisito 5 como relación indirecta. El impacto en los requisitos 7 y 8 es (Perfecto, 0) y en el requisito 5 utilizando la Media Aritmética es (Muy fuerte, -0.5) y utilizando BADD OWA es (Muy fuerte, 0).

La Tabla 18 resume los resultados obtenidos en los requisitos relacionados indirectamente con los requisitos 6 y 18.

Tabla 18 Impactos indirectos de los cambios en los requisitos 6 y 18 (elaboración propia)

Requisito	Media Aritmética	BADD OWA
5	(Muy fuerte, -0.5)	(Muy fuerte, 0)
9, 10 y 17	(Fuerte, 0)	(Fuerte, 0.25)

Los resultados obtenidos demuestran que el operador BADD OWA arroja valores más fuertes de impacto. Esto se debe a que el operador BADD OWA usado, asigna un peso dependiendo del valor agregado. Para el cálculo del impacto de los cambios en los requisitos los valores agregados corresponden a las fortalezas en las relaciones directas entre requisitos. Esta correspondencia entre peso y valor agregado permite que el valor de los pesos sea mayor entre mayor sea el valor agregado y viceversa. Por lo que, el operador BADD OWA usado le da mayor importancia a las relaciones más fuertes entre requisitos y los resultados se acercan más a estas relaciones. Por el contrario, en la Media Aritmética todos los valores agregados tienen la misma importancia. Para el contexto tratado en la investigación, es importante tener en cuenta que un cambio en un requisito tiene mayores posibilidades de impactar en otros requisitos en la medida que sean más fuertes las relaciones que los conectan. Por lo tanto el operador BADD OWA ofrece resultados más precisos del impacto de los cambios en los requisitos.

Además del impacto medido por los operadores de agregación, se calculan algunos indicadores¹ que se resumen en la Tabla 19.

Tabla 19 Cálculo de indicadores (elaboración propia)

Indicador	Resultado: cambio en requisito 6	Resultado: cambio en requisito 18
IDR	Total: 0.11 Herencia: 0.11	Total: 0.05 Contención: 0.05
IDF	Total: 0.11 Perfecto: 0.11	Total: 0.05 Medio: 0.05

¹ El indicador PTA y PRHA propuestos por el método no se calculan porque están en correspondencia con las tareas y recursos humanos asociados a los requisitos del proyecto y no es información que se refleje en el caso de estudio propuesto.

Capítulo 3: Aplicación del método y análisis de resultados

IIF	Total: 0.05 Con Media Aritmética: Muy fuerte: 0.05 Con BADD OWA: Muy fuerte: 0.05	Total: 0.16 Con Media Aritmética: Fuerte: 0.16 Con BADD OWA: Fuerte: 0.16
IUR	0.16	0.21

Para la lectura de estos indicadores en el caso de estudio en particular, se consideran los rangos Bajo (≤ 0.10), Medio (>0.10 y <0.50) y Alto (≥ 0.50).

Como resultados de los indicadores se tiene que el requisito 18 tiene pocas relaciones directas y una cantidad media de relaciones indirectas, según la escala definida para el proyecto. Por su parte el requisito 6 tiene una cantidad media de relaciones directas y pocas relaciones indirectas. Para ambos requisitos hay altas probabilidades de que los cambios afecten los requisitos relacionados debido a las fortalezas en las relaciones. Por otro lado, ambos requisitos son utilizados por una cantidad media de requisitos, lo que indica que los cambios en ellos afectan igual cantidad de requisitos. Con esta información los gestores de proyecto cuentan con otros instrumentos para tomar decisiones respecto al cambio.

La siguiente tabla resume una comparación de las técnicas aplicadas en esta sección atendiendo a algunos criterios identificados que favorecen la toma de decisiones respecto a los cambios.

Tabla 20 Comparación del método con otras técnicas de análisis de impacto de los cambios (elaboración propia)

	Técnica de Ibrahim y otros	Técnica de Goknil y otros	Técnica de Sherriff	Técnica de Yang y otros	Método propuesto
Tiene en cuenta las relaciones explícitas entre elementos que maneja	x	x	x	x	x
Tiene en cuenta las relaciones implícitas entre elementos que maneja		x		x	x
Tiene en cuenta la fortaleza de las relaciones					x
Gestión de la incertidumbre					x
Tamaño o tipo de cambio		x			x
Análisis de propagación del impacto en los elementos que maneja	x	x	x	x	x
Análisis de impacto en los requisitos	x	x		x	x
Análisis del impacto en otros productos de trabajo además de los requisitos	x		x		

Herramientas informáticas o algoritmos que apliquen la técnica	x		x	x	x
Uso de indicadores				x	x
Interpretación cualitativa de los resultados					x

La Tabla 20 refleja que el método propuesto en la presente investigación cumple 10 de las 11 características identificadas para realizar análisis de impacto de los cambios en los requisitos. A pesar de que el método propuesto no realiza análisis en otros productos de trabajo del proyecto además de los requisitos, es una solución más completa para resolver el problema del impacto de los cambios en el alcance de los proyectos, respecto a las soluciones encontradas en la bibliografía.

5.2. Análisis de impacto económico

Para realizar un análisis de impacto económico se tiene en cuenta el costo de implantar la solución informática desarrollada que soporta el método propuesto.

El costo de la integración del paquete desarrollado en PL/R con GESPRO 13.05 ascendió a 2.69 CUC y 931.16 CUP (Ver Anexo 4: Cálculo de los costos de la integración de la solución informática).

La Tabla 21 muestra los costos de adquirir otras herramientas informáticas para la gestión de requisitos:

Tabla 21 Costo de las herramientas de gestión de requisitos (elaboración propia)

Herramienta	Costo
Rational RequisitePro	2,660.00 USD (IBM, 2012)
IBM Rational DOORS	12,145.98 USD para la licencia <i>Floating User License</i> (IBM, 2012)
IRQA	Más de 300,000.00 EUR para 100 licencias (Visure Solutions, 2008)
REM	Gratis (Universidad de Sevilla, 2004)
CaliberRM	4093.32 GBP (Micro Focus, 2013)
OSRMT	Gratis (SourceForge, 2012)
GatherSpace	295.00 USD por mes para usuarios ilimitados (Gatherspace.com, 2013)

Los datos de la Tabla 21 demuestran que los costos de adquisición de las herramientas Rational RequisitePro, IBM Rational DOORS, IRQA, CaliberRM y GatherSpace son considerables. Teniendo en cuenta que las herramientas Rational RequisitePro e IBM Rational DOORS no realizan análisis de impacto de los cambios y que por ser herramientas privativas no pueden incorporárseles nuevas funcionalidades, no son herramientas que constituyan posibles soluciones. IRQA y CaliberRM son herramientas que brindan funcionalidades para realizar análisis de impacto de los

cambios en los requisitos y otros elementos relacionados, pero solamente tienen en cuenta las relaciones directas. Por otro lado, sus costos de adquisición son elevados. Las herramientas OSRMT y REM a pesar de poder adquirirse gratuitamente, no cuentan con funcionalidades para el análisis de impacto de los cambios más allá de conocer las relaciones que se establecen en matrices de trazabilidad.

Del análisis económico realizado se concluye que la integración de la solución informática a GESPRO es viable económicamente. Esto favorece la sustitución de importaciones de otras herramientas para el análisis de impacto de los cambios, lo cual está en correspondencia con los lineamientos 45 y 49 del Proyecto de lineamientos de la política económica y social de Cuba (PCC, 2010). Dando cumplimiento, además, al lineamiento 73, la solución informática obtenida puede ser comercializable unida al Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO.

6. Análisis de la incidencia del método propuesto en la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente

Teniendo en cuenta el estado actual de GESPRO con respecto al análisis de impacto de los cambios en los requisitos abordado en la sección 2. *Descripción del estado actual de la gestión de alcance en GESPRO*, en la presente sección se realiza un análisis anterior y posterior a la integración del paquete desarrollado en PL/R a GESPRO.

6.1. Nivel de operatividad

El nivel de operatividad se midió a partir de la cantidad de funcionalidades incorporadas a GESPRO con el paquete desarrollado en PL/R y la subjetividad de la información.

La versión 13.05 de GESPRO tenía un total de 12 funcionalidades asociadas a la gestión de los requisitos y la gestión de cambios. La Figura 14 muestra la superioridad en la cantidad de funcionalidades de GESPRO posterior a la integración del paquete desarrollado. Desde el punto de vista de la gestión de los requisitos se adicionaron seis funcionalidades, con respecto a la gestión de los cambios no fue necesario adicionar funcionalidades y con respecto al cálculo del impacto siete nuevas funcionalidades. Todo ello hace un total de 13 nuevas funcionalidades.

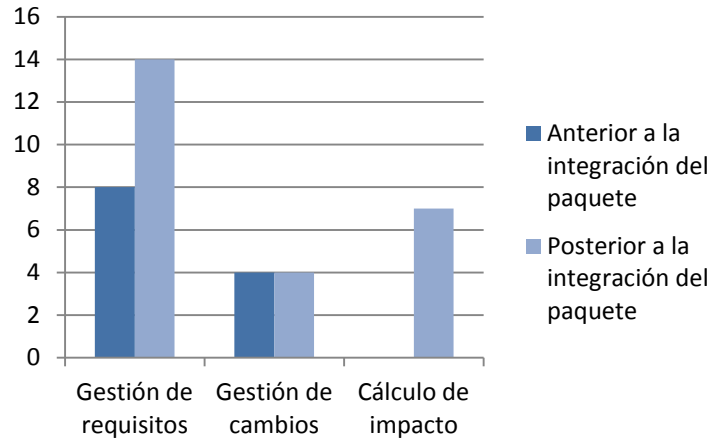


Figura 14 Cantidad de funcionalidades antes y después de la integración del paquete en PL/R (elaboración propia)

No basta con adicionar nuevas funcionalidades a GESPRO si la información que maneja es subjetiva. En la versión 13.05 de GESPRO, se manejaba información subjetiva respecto al cambio debido a que se introducía el impacto de la solicitud de cambio sin tener mecanismos que permitieran que el usuario decidiera cuál era el impacto de la solicitud. Precisamente, con el nuevo método el impacto del cambio es un dato calculado a partir de: tipo de cambio propuesto, relaciones entre requisitos, tipo de relación entre requisitos y fortaleza de la relación. De esta forma se logró evolucionar en el análisis de impacto de un cambio en GESPRO. En la versión 13.05 de GESPRO no se tiene en cuenta ningún aspecto para determinar el impacto de los cambios en los requisitos. Sin embargo, con el método desarrollado se relacionan cuatro elementos para determinar el impacto (Ver Figura 15).

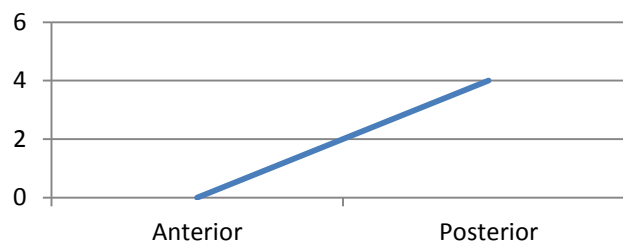


Figura 15 Número de aspectos para determinar el impacto antes y después de la integración del paquete en PL/R (elaboración propia)

7. Conclusiones parciales

Con la aplicación del método propuesto se arriba a las siguientes conclusiones:

- Los algoritmos propuestos tienen complejidad temporal $O(1)$ y $O(n^2)$, igualando la complejidad de los algoritmos encontrados en la bibliografía consultada para realizar análisis de impacto de los cambios.

- Se introduce el trabajo con la incertidumbre y se brinda una interpretación cualitativa de los resultados en los algoritmos propuestos como parte del método. Ambos elementos no se tienen en cuenta en los algoritmos encontrados en la bibliografía.
- Con el método propuesto se obtiene una solución más completa a las existentes en la bibliografía para realizar análisis del impacto de los cambios en los requisitos sobre los compromisos de alcance con el cliente. Este método introduce la fortaleza de las relaciones, la incertidumbre de esta fortaleza y una interpretación cualitativa de los resultados para determinar el impacto.
- El operador de agregación BADD OWA usado brinda resultados más precisos del impacto de los cambios en los requisitos que el operador Media Aritmética.
- La integración del paquete desarrollado en PL/R es una solución informática viable económicamente para realizar análisis de impacto de los cambios en los requisitos en Cuba. El desarrollo de esta solución está en correspondencia con los lineamientos de la política económica y social del país.
- Se elevó el nivel de operatividad de GESPRO atendiendo a que brinda una mayor cantidad de mecanismos para tomar decisiones respecto al cambio. Para ello se implementaron 13 nuevas funcionalidades.
- Se logró disminuir la subjetividad de la información relativa al impacto de los cambios manejada por GESPRO, mediante el cálculo del impacto en los requisitos basado en cuatro nuevos elementos: tipo de cambio, relaciones entre requisitos, tipo de relación y fortaleza de la relación.

CONCLUSIONES GENERALES

De la investigación se concluye que:

- El estudio de la bibliografía consultada arrojó que los principales autores que trabajan la gestión de los cambios en los proyectos no proponen técnicas que gestionen la incertidumbre de la información para realizar análisis de impacto de los cambios. Este estudio demostró, además, que la mayoría de las herramientas de gestión de proyectos no facilitan la gestión de los cambios en los requisitos sobre el alcance de los proyectos.
- Los algoritmos propuestos permiten el trabajo con la incertidumbre en las relaciones entre requisitos y arrojan una interpretación cualitativa de los resultados de las operaciones. Estos elementos demuestran que los algoritmos propuestos presentan potencialidades respecto a los algoritmos encontrados en la bibliografía.
- El método propuesto permite el análisis de los cambios en los requisitos para apoyar la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance con el cliente a partir de la construcción de algoritmos, la aplicación de dos operadores de agregación y la definición de seis indicadores que apoyan el cálculo del impacto. Los resultados del método se basan en la fortaleza asociada a las relaciones entre requisitos, que introduce la incertidumbre en estas relaciones.
- El costo de la integración a GESPRO de la solución informática desarrollada asciende a 2.69 CUC y 931.16 CUP. Estos resultados indican que la integración de la solución informática es viable económicamente para Cuba, estando en correspondencia con los lineamientos de la política económica del país.
- El método propuesto fue aplicado en GESPRO 13.05. De esta forma se elevó el nivel de operatividad de la herramienta en cuanto a la capacidad de ayuda a la toma de decisiones respecto a los compromisos de alcance asumidos con el cliente.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para la continuidad de la investigación y particularmente para la mejora del método propuesto:

- Extender el método para considerar elementos como la complejidad de los requisitos en el cálculo del impacto de los cambios sobre el alcance de los proyectos.
- Extender el método para determinar el impacto de los cambios en otros productos de trabajo además de los requisitos del proyecto.
- Añadir mecanismos que permitan la detección de riesgos a tener en cuenta durante la ejecución de los cambios.
- Aplicar el método a otros casos de estudio para demostrar una mayor aplicabilidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aho, Alfred V., Hopcroft, John E. y Ullman, Jeffrey D. 1988. *Estructura de datos y algoritmos*. México DF : Addison-Wesley, 1988. ISBN 968-6048-19-7.

Álvarez Chang, Rosa Nelvia y Cortina Blanco, Yeslaine. 2006. Procedimiento para el análisis de factibilidad de cambios en el proceso de desarrollo de software. La Habana, Cuba : s.n., Junio de 2006.

André Ampuero, Margarita. 2009. Un modelo para la asignación de recursos humanos a equipos de proyectos de software. La Habana, Cuba : s.n., 2009.

Austin Community College District. 2012. Project Management (PMI). *Austin Community College District*. [En línea] Agosto de 2012. [Citado el: 01 de Noviembre de 2012.] <http://www.austincc.edu/techcert/pmi.php>.

Baldwin, Douglas y Scragg , Greg W. 2004. *Algorithms and Data Structures: The Science of Computing*. Hingham : Charles River Media, 2004. ISBN:1584502509.

Bohner, Shawn A. y Arnold, Robert. 1996. *Software Change Impact Analysis*. Los Alamitos : IEEE Computer Society Press, 1996.

Bonissone, Piero P. y Decker, Keith S. 1985. Selecting Uncertainty Calculi and Granularity: An Experiment in Trading-off Precision and Complexity. Corvallis, Oregón, Estados Unidos : s.n., 1985. págs. 57-66.

Booch, Grady, Cueva Lovelle, Juan Manuel y Cernuda Del Río, Agustín. 1996. *Análisis y Diseño Orientado a Objetos con Aplicaciones*. s.l. : Pearson Educación, 1996. pág. 638.

Calisoft. 2008. *Diagnóstico UCI*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba : s.n., 2008.

Cao, Yongzhi, Xia, Lirong y Ying, Mingsheng. 2006. Probabilistic automata for computing with words. *Cornell University Library*. [En línea] 23 de Abril de 2006. <http://arxiv.org/abs/cs/0604087v1>.

Company, María, Letelier, Patricio y Mara, M^a Isabel . 2011. Análisis de impacto en requisitos soportado de forma semi-automática y en un marco de desarrollo TDD basado en pruebas de aceptación. *XVI Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos*. Coruña, España : s.n., 7 de Septiembre de 2011.

de la Rosa, Martín . 2008. Análisis de impacto basado en información de trazabilidad y decisiones de diseño. *Facultad de Ingeniería. Universidad de Buenos Aires*. [En línea] 2008. <http://materias.fi.uba.ar/7500/delarosa-tesisdegradoingenieriainformatica.pdf>.

Delgado, M., Verdegay, J. L. y Vila, M. A. 1993. On aggregation operations of linguistic labels. *International Journal of Intelligent Systems*. 1993. Vol. 8, 3, págs. 355-370.

Domínguez, J. 2009. The CHAOS Report 2009 on IT Project Failure. *PMHut*. [En línea] 16 de Junio de 2009. www.pmhut.com/the-chaos-report-2009-on-it-project-failure.

DotProject. 2012. DotProject. [En línea] 2012. [Citado el: 20 de Noviembre de 2012.] www.dotproject.net.

Edgwall Software. 2012. *Edgwall*. [En línea] 2012. [Citado el: 2 de Noviembre de 2012.] <http://trac.edgwall.org/>.

Gall, Harald C. , Fluri, Beat y Pinzger, Martin . 2008. Change Analysis with Evolizer and ChangeDistiller. *IEEE Software*. s.l., Estados Unidos : IEEE Computer Society, 22 de Diciembre de 2008. Vol. 26, 1, págs. 26 - 33. ISSN 10370048.

- Gatherspace.com. 2013.** gatherspace. [En línea] 2013. [Citado el: 9 de mayo de 2013.] <http://www.gatherspace.com/>.
- Ghosh, S. M., Sharma, H. R. y Mohabay, V. 2011.** Study of Impact Analysis of Software Requirement Change in SAP ERP. Agosto de 2011. Vol. 33.
- Gislen Software. 2003.** Planner Suite. [En línea] 2003. [Citado el: 20 de Noviembre de 2012.] <http://www.plannersuite.com/index.html>.
- Goknil, Arda y Kurtev, Ivan van den Berg, Klaas. 2008.** Change Impact Analysis based on Formalization of Trace Relations for Requirements. [En línea] 12 de Junio de 2008. <http://www.modelbased.net/ecmda-traceability/images/papers/2008/goknil-final.pdf>.
- Gotel, Orlena C. Z. y Finkelstein, Anthony C. W. 1994.** An analysis of the requirements traceability problem. *RE - Requirements Engineering, IEEE International Conference*. s.l. : IEEE Computer Society Press, 1994. págs. 94-101.
- Gupta, Chetna, Singh, Yogesh y Chauhan, Durg Singh. 2009.** An Efficient Dynamic Impact Analysis using Definition and Usage Information. *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*. 2009. Vol. 3, 4, págs. 112-115.
- Haughey, Duncan. 2011.** Stop Scope Creep Running Away With Your Project. *ProjectSmart*. [En línea] 2011. [Citado el: 2 de Noviembre de 2012.] <http://www.projectsmart.co.uk/stop-scope-creep-running-away-with-your-project.html>.
- Heileman, Gregory L. 2003.** *Estructuras de datos, algoritmos, y programación orientada a objetos*. La Habana : Félix Varela, 2003. ISBN 84-481-1173-7.
- Hernández León, Rolando Alfredo y Coello González, Sayda. 2011.** *El proceso de investigación científica*. La Habana : Editorial Universitaria, 2011. ISBN 978-959-16-1307-3.
- Herrera, F. y Herrera-Viedma, E. 2000.** Linguistic decision analysis: steps for solving decision problems under linguistic information. *Fuzzy Sets and Systems*. 2000. Vol. 115, 1, págs. 67-82.
- Herrera, Francisco y Martínez, Luis. 2000.** The 2-tuple linguistic computing model. Overview, extensions, applications and challenges. Diciembre de 2000. Vol. 8, 6, págs. 746-752.
- IBM. 2011.** Gestión de requisitos. [En línea] IBM, 2011. [Citado el: 1 de Diciembre de 2011.] <http://www-01.ibm.com/software/es/rational/rm/>.
- . **2012.** Rational Doors. *IBM*. [En línea] 2012. [Citado el: 2 de Marzo de 2012.] <http://www-01.ibm.com/software/awdtools/doors/>.
- . **2012.** Rational RequisitePro. *IBM*. [En línea] 2012. [Citado el: 2 de Marzo de 2012.] <http://www-01.ibm.com/software/awdtools/reqpro/>.
- Instituto Nacional de Tecnologías de la Comunicación. 2008.** Guía práctica para la gestión de requisitos. *INTECO*. [En línea] Diciembre de 2008. http://www.inteco.es/file/NRDmviQoTbl_jZcyjTYRlw.
- IPMA. 2006.** ICB - IPMA Competence Baseline Version 3.0. The Netherlands : s.n., Junio de 2006.
- ISO. 2000.** Norma ISO 9000: Sistemas de gestión de la calidad — Conceptos y vocabulario. Ginebra, Suiza : s.n., 2000.
- Lang, Jean-Philippe. 2006.** Redmine. [En línea] 2006. [Citado el: 2 de Noviembre de 2012.] <http://www.redmine.org/>.
- Law, James y Rothermel, Gregg . 2003.** Whole Program Path-Based Dynamic Impact Analysis. *25th International Conference on Software Engineering*. Corvallis, Oregón, Estados Unidos : s.n., 28 de Mayo de 2003. ISSN: 0270-5257.

- Lee, Michelle L. 1998.** Change impact analysis of Object-Oriented Software. [En línea] 1998. <http://cs.gmu.edu/~offutt/rsrch/LiLiDiss.pdf>.
- Lee, Michelle L. y Offutt, A. Jefferson . 1996.** Algorithmic Analysis of the Impact of Changes to Object-Oriented Software. [ed.] IEEE Computer Society. *ICSM '96 Proceedings of the 1996 International Conference on Software Maintenance* . Washington : s.n., 1996. págs. 171-184. ISBN: 0-8186-7677-9.
- Lock, Simon y Kotonya, Gerald. 1999.** An Integrated, Probabilistic Framework for Requirement Change Impact Analysis. *Australasian Journal of Information Systems*. s.l. : Aditya Ghose, 1999. Vol. 6, págs. 39-63.
- Lugo García, José Alejandro. 2012.** Modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa. La Habana, Cuba : s.n., Octubre de 2012.
- Lugo García, José Alejandro, y otros. 2012.** Indicadores para el control y evaluación de proyectos en la herramienta GESPRO 11.05. *UCIENCIA 2012*. La Habana, Cuba : s.n., 2012.
- Martínez López, Luis. 1999.** Un nuevo modelo de representación de información lingüística basado en 2-tuplas para la agregación de referencias lingüísticas. Granada, España : s.n., Julio de 1999.
- Martínez, Luis, Liu, Jun y Yang, Jian-Bo. 2006.** A fuzzy model for design evaluation based on multiple criteria analysis in engineering systems. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. 2006. Vol. 14, 3, págs. 317-336.
- Martínez, Luis, Ruanbc, Da y Herrerad, Francisco. 2010.** Computing with Words in Decision support Systems: An overview on Models and Applications. *International Journal of Computational Intelligence Systems*. 25 de Mayo de 2010. Vol. 3, 4, págs. 382-395.
- Mendel, Jerry M. 2002.** An Architecture for making judgments using Computing with Words. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*. 2002. Vol. 12, 3, págs. 325-335.
- Micro Focus. 2013.** Borland. [En línea] 2013. [Citado el: 9 de mayo de 2013.] <http://www.borland.com/products/caliber/>.
- Microsoft. 2010.** Microsoft Project 2010. [En línea] 2010. [Citado el: 2 de Noviembre de 2012.] <http://www.microsoft.com/project/en-us/project-management.aspx>.
- Oracle. 2012.** Oracle. [En línea] 2012. [Citado el: 20 de Noviembre de 2012.] <http://www.oracle.com/us/products/applications/primavera/index.html>.
- Orso, Alessandro, Taweessup, Apiwattanapong y Harrold, Mary Jean. 2003.** Leveraging Field Data for Impact Analysis and Regression Testing. *ESEC/FSE-11 Proceedings of the 9th European software engineering conference held jointly with 11th ACM SIGSOFT international symposium on Foundations of software engineering*. Helsinki : Finland, 2003. Vol. 28, 5. ISBN:1-58113-743-5.
- Orso, Alessandro, y otros. 2004.** An Empirical Comparison of Dynamic Impact Analysis Algorithms. *ICSE '04 Proceedings of the 26th International Conference on Software Engineering*. Edinburgh, Scotland, United Kingdom : s.n., 2004. págs. 491 - 500. ISSN 0270-5257.
- Park, Seunghun y Bae, Doo-Hwan . 2011.** An approach to analyzing the software process change impact using process slicing and simulation. *Journal of Systems and Software*. 2011. Vol. 84, 4.
- PCC. 2010.** Proyecto de lineamientos de la política económica y social. *VI Congreso del Partido Comunista de Cuba*. Cuba, Cuba : s.n., 1 de noviembre de 2010.

- Piñero Pérez, Pedro Yobanys, Bello, Rafael y Pérez Pupo, Iliana. 2013.** Introducción a softcomputing. Computación con palabras. La Habana, Cuba : s.n., 23 de Abril de 2013.
- PMI. 2008.** *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Cuarta. s.l. : Project Management Institute, Inc., 2008. ISBN: 978-1-933890-72-2.
- PRINCE2. 2009.** *Managing Successful Projects with PRINCE2*. London, Reino Unido : s.n., 2009.
- Quintana Torres, Dayanis Amparo y Cid González, Yusely. 2008.** Propuesta de un Procedimiento para la Toma de Decisiones en la Gestión de Cambios de los Proyectos Productivos de la Facultad 3. [Tesis]. La Habana, Cuba : s.n., Junio de 2008.
- Ril Valentin, Eliana Bárbara. 2012.** Descubrimiento de conocimiento a partir de lecciones aprendidas documentadas en los procesos de cierre de proyectos informáticos. La Habana, Cuba : s.n., 10 de Septiembre de 2012.
- Rodríguez Domínguez, Rosa María. 2010.** Un Nuevo Modelo para Procesos de Computación con Palabras en Toma de Decisión Lingüística. Jaén, España : s.n., Junio de 2010.
- Rodríguez Puente, Rafael. 2012.** Modelo basado en grafos reducidos para la representación y análisis de redes en Sistemas de Información Geoespacial. La Habana, Cuba : s.n., 26 de Septiembre de 2012.
- Rosique, Francisca, Jiménez, Manuel y Sánchez, Pedro. 2010.** Evaluación de herramientas de gestión de requisitos. *Jornadas de introducción a la investigación de la UPCT*. 2010. Vol. 3, págs. 47-49. ISSN 1888-8356.
- Schwaber, Ken y Sutherland, Jeff. 2012.** *Software in 30 Days: How Agile Managers Beat the Odds, Delight Their Customers, And Leave Competitors In the Dust*. New Jersey : John Wiley & Sons, 2012. ISBN 978-1-118-20666-9.
- SEI. 2006.** CMMI for Development, versión 1.2. *CMMI-DEV, V1.2*. Pittsburgh, Estados Unidos : s.n., Agosto de 2006.
- Sherriff, Mark Stephen. 2007.** Analyzing Software Artifacts through Singular Value Decomposition to Guide Development Decisions. [En línea] 2007. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.94.9770>.
- Sommerville, Ian. 2005.** *Ingeniería de Software*. Séptima. Madrid : Pearson Educación S.A., 2005. pág. 712. ISBN: 84-7829-074-5.
- SourceForge. 2012.** Open Source Requirements Management Tool. *SourceForge*. [En línea] 2012. [Citado el: 2 de Marzo de 2012.] <http://sourceforge.net/projects/osrmt/>.
- . **2013.** SourceForge. [En línea] 2013. [Citado el: 14 de Enero de 2013.] <http://sourceforge.net/projects/openproj/>.
- Suhaimi, Ibrahim, y otros. 2005.** Integrating Software Traceability for Change Impact Analysis. *The International Arab Journal of Information Technology*. Octubre de 2005. Vol. 2, 4.
- Svahnberg, Mikael y Bosch, Jan. 2000.** Issues Concerning Variability in Software Product Lines. *IW-SAPF-3 Proceedings of the International Workshop on Software Architectures for Product Families*. London, Reino Unido : Springer-Verlag London, 2000. págs. 146-157. ISBN:3-540-41480-0.
- The Standish Group. 1995.** The CHAOS Report. [En línea] 1995. [Citado el: 1 de Marzo de 2012.] <http://www.projectsmart.co.uk/docs/chaos-report.pdf>.
- Torra, Vicenç y Narukawa, Yasuo. 2008.** *Modeling Decisions: Information Fusion and Aggregation Operators*. s.l. : Edicions UAB, 2008. pág. 324. ISBN: 978-3-540-68789-4.

- Troche Robles, Adriana y Acosta Navarro, Yaneisi. 2010.** Método de evaluación del impacto de los cambios a los requisitos del producto de software. La Habana, Cuba : s.n., Junio de 2010.
- Türksen, Burhan. 2007.** Meta-linguistic axioms as a foundation for computing with words. *Information Sciences*. 2007. Vol. 177, 2, págs. 332-359.
- Universidad de Sevilla. 2004.** Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. [En línea] 25 de noviembre de 2004. [Citado el: 9 de mayo de 2013.] http://www.lsi.us.es/descargas/descarga_programas.php?id=3.
- Visure Solutions. 2008.** Requirements Definition & Management with IRQA. 2008.
- . **2012.** What do you need when thinking on Requirements Definition and Management? *Visure. The requeriments company*. [En línea] 2012. [Citado el: 2 de Marzo de 2012.] <http://www.visuresolutions.com/irqa-requirements-tool>.
- Wieggers, Karl E. 2003.** *Software Requirements*. Segunda. Washington, Estados Unidos : Microsoft Press, 2003. pág. 516. ISBN 0735618798.
- Xu, Zeshui. 2010.** Interactive group decision making procedure based on uncertain multiplicative linguistic preference relations. *Journal of Systems Engineering and Electronics*. Junio de 2010. Vol. 21, 3, págs. 408-415.
- Yager, Ronald R. 1993.** Families of OWA operators. *Fuzzy Sets and Systems*. 1993. Vol. 59, 2, págs. 25-148.
- Yang , He-Biao , Liu, Zhi-Hong y Ma, Zheng-Hua. 2007.** An Algorithm for Evaluating Impact of Requirement Change. *Electronic Technology & Information Science*. England : s.n., 2007. Vol. 2, 1, págs. 48-54.
- Zadeh, Lotfi A. 1999.** From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions. Berkeley, California, Estados Unidos : s.n., Enero de 1999. Vol. 45, 1, págs. 105-119.
- . **1965.** Fuzzy Sets. *Information and control*. 1965. 8, págs. 338-353.
- . **1975.** The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information Sciences*. 1975. Vol. 8, 4, págs. 199-249.

ANEXOS

Anexo 1: Entrevista para determinar estado actual de la gestión de cambios de los requisitos en los centros de la UCI

1. ¿Tienen herramientas informáticas definidas para la gestión de proyectos?
¿Cuáles?
2. ¿Tienen herramientas informáticas definidas para la gestión de los requisitos?
¿Cuáles?
3. ¿Realizan trazabilidad de los requisitos?
4. ¿Tienen un proceso definido para la gestión de los cambios en los requisitos?

En caso de ser afirmativa la pregunta 4:

- 4.1. ¿Está conformado el comité de gestión de cambios de los requisitos?
- 4.2. ¿Documentan las peticiones de cambios que se realizan en el proyecto ya sea a partir del cliente, usuarios finales o equipo de proyecto?
- 4.3. ¿Se analiza el impacto que tienen esos cambios sobre el resto de los requisitos definidos? ¿Cómo?
- 4.4. ¿Se ajustan el cronograma, costo y alcance del proyecto con las peticiones de cambios aprobadas?

En caso de ser negativa la pregunta 4:

- 4.1. ¿De qué forma gestionan los cambios de los requisitos en el proyecto?
5. Exprese los problemas que Ud. considere que afronta su proyecto en el marco de la gestión de cambios en los requisitos.

Anexo 2: Listado de proyectos donde ha participado la autora

A continuación se listan los proyectos en los que ha participado la autora y la documentación que respalda los problemas observados en cada proyecto:

- Prisiones Venezuela

Los siguientes documentos evidencian el surgimiento de cambios en los requisitos e indefiniciones en la captura de requisitos del proyecto:

Informe estado actual solución de software, 30 de enero de 2007.

Informe de resultado de la segunda prueba piloto, 16 de junio de 2008 al 11 de julio de 2008.

Informe de resultado de la ejecución del subproyecto desarrollo de software (SIGEP), 22 de julio de 2008.

- Prisiones Cuba

Los siguientes documentos evidencian el surgimiento de cambios en los requisitos del proyecto durante su ciclo de vida:

Informe Desarrollo del Pilotaje del Subsistema Área de Ingreso, 8 de abril de 2011.

Nota Informativa a la DTS (Dirección de Tecnología y Sistemas), 11 de Octubre de 2011.

Informe Final de la Revisión del Subsistema registro Legal, 1 de noviembre de 2011.

Informe a la DTS, 5 de diciembre de 2011.

El siguiente documento es el resultado de una auditoría realizada al proyecto donde se evidencia que no se utilizó una herramienta de gestión de requisitos y que no se documentaron correctamente los pedidos de cambios:

0312_Registro de Evaluaciones del Proyecto. Proyecto Prisiones Cuba, 10 de abril de 2012.

- CICPC

Los siguientes documentos evidencian el surgimiento de cambios en los requisitos del proyecto y el análisis de impacto realizado a partir de consideraciones de los desarrolladores o del cliente:

Resumen de Pedidos de cambios. Proyecto Modernización CICPC, solución de software, 23 de octubre de 2008.

Peticiones de cambio. Pruebas cruzadas, 10 de noviembre de 2008.

Informes Finales de Pedidos de cambios. Elemento de Configuración: Aplicación SIIPOL. Pruebas de Aceptación, octubre-noviembre de 2008.

Informes Finales de Pedidos de cambios. Elemento de Configuración: Aplicación SIIPOL. Primera y segunda iteración de Pruebas de Aceptación, 10 de diciembre de 2009.

Informe Final de pedidos de cambio. Elemento de Configuración: Aplicación SIIPOL. Primera iteración de Pruebas Piloto, 11 de febrero de 2010.

Anexo 3: Corrección de los algoritmos

Según Baldwin (2004) la corrección de los algoritmos tiene la siguiente estructura: precondiciones que son declaraciones de asunciones que serán usadas en la prueba,

teorema que es una declaración de las postcondiciones que deben cumplirse al finalizar el algoritmo y la prueba que demuestra por qué el teorema es verdadero dadas las precondiciones.

DeterminarCaminoRequisitos(Grafo $G=(V,E)$, nodo s)

Precondiciones:

E es un conjunto de aristas de peso 1.

V es un conjunto de nodos.

V tiene n nodos.

El nodo $s \in V$.

Teorema:

Devuelve el arreglo *caminos* que contiene: el camino mínimo desde el nodo s a cada uno de los nodos del grafo. Para los nodos en los que no haya camino devuelve como camino el nodo s solamente.

Prueba:

El ciclo de los pasos 1-3 finaliza cuando haya recorrido todos los nodos de V y devuelve los arreglos d y *caminos* inicializados. Para todos los nodos del grafo, d toma un valor infinito. Como el camino más largo entre dos nodos del grafo es cuando recorre todos los nodos hasta llegar al vértice final, lo que constituye un camino hamiltoniano, la longitud de este camino es $n-1$. Por lo tanto el valor infinito para el algoritmo sería n . El arreglo *caminos* se inicializa con el nodo s porque es el nodo inicial.

El ciclo de los pasos 6-13 finaliza una vez que el conjunto S este vacío. Con esto se garantiza que cada nodo con el que s tiene un camino, sea analizado para encontrar el camino mínimo. La operación *ExtraerSiguiente* asegura que en cada iteración del ciclo se extraiga un nodo de S . En S solamente son insertados los nodos no visitados una vez que se visitan. Como la instrucción del paso 10 garantiza que no se vuelva a analizar un nodo ya visitado, entonces el ciclo terminará en no más de n iteraciones. Este segundo ciclo del algoritmo tiene otro ciclo interno que finaliza cuando se hayan analizado todos los nodos adyacentes a v , que cumplan determinadas condiciones. Estas condiciones son: que la relación no sea excluyente y que la fortaleza no sea *Nada*, debido a que excluyen la existencia de la continuidad del camino mediante la arista que los une o indica la inexistencia de fortaleza en la relación respectivamente. El ciclo arroja como resultado los arreglos d y *caminos* actualizados con las distancias mínimas y el camino a cada nodo del grafo respectivamente. En cada iteración se

verifica la distancia que se tiene registrada para el nodo adyacente. Si esta distancia es n , indica que el nodo no ha sido visitado. De ser n la distancia registrada, se actualizan d y $caminos$ con la información del nodo precedente al nodo que se analiza.

Por último el algoritmo devuelve el arreglo $caminos$ con los caminos donde el nodo inicial es s . De existir camino, el nodo que finaliza es el propio nodo con el que se forma el camino. En caso de no existir un camino, solamente devuelve s .

ConvertirA2Tupla(real beta)

Precondiciones:

$beta$ es un número real comprendido en el intervalo $[0, 6]$.

$S = \{s_0=Nada, s_1=Muy\ débil, s_2=Débil, s_3=Medio, s_4=Fuerte, s_5=Muy\ fuerte, s_6=Perfecto\}$

Teorema:

Devuelve una 2-tupla con la estructura $(Tling, alfa)$ donde $Tling$ es un término lingüístico del conjunto S y $alfa \in [-0.5, 0.5]$.

Prueba:

La operación $redondear()$ redondea un número real a un valor entero. Por lo que pos almacena el valor entero más cercano a $beta$ y como $beta$ está comprendido en el intervalo $[0, 6]$, pos es un número entero del intervalo $[0, 6]$. La variable $alfa$ toma el resultado de la resta entre $beta$ y pos , que resulta un número real en el intervalo $[-0.5, 0.5]$. El algoritmo devuelve la 2-tupla formada por el término lingüístico correspondiente a la posición pos en el conjunto S y el valor $alfa$ como translación simbólica.

Anexo 4: Cálculo de los costos de la integración de la solución informática a GESPRO

Para el cálculo de los costos de la integración de la solución informática se considera que:

- Se estiman 15 días para la integración del paquete en GESPRO.
- Se requiere un especialista cuyo salario es 894.90 CUP.
- Se requiere el uso de una computadora, un aire acondicionado y dos lámparas fluorescentes. La depreciación de los equipos informáticos es del 25% y la del aire acondicionado es del 10%.
- El costo del kilowatt es de 0.20 CUP.

Los gastos por concepto de salario se estiman en la Tabla 22:

Tabla 22 Gastos por concepto de salario (elaboración propia)

	Cargo	Cantidad	Días	Salario	Importe
	Desarrollador	1	15	894.90	559.31
Vacaciones					50.84
Impuesto Fuerza de Trabajo					152.54
Seguridad Social					85.42
Total (CUP)					848.11

La Tabla 23 muestra los gastos por consumo de electricidad para los equipos eléctricos utilizados durante el período de tiempo de la integración:

Tabla 23 Gastos por consumo de electricidad (elaboración propia)

Equipo	Cantidad	Consumo (watts/h)	Cantidad Horas (h)	Consumo total (watts)	Consumo (Kw/h)
Computadora	1	200	8	1600	1.6
Lámpara fluorescente	2	32	8	512	0.512
Aire Acondicionado	1	3000	8	24000	24
Total diario (kw/h)					26.11
Total para 15 días (kw/h)					391.68
Total (CUP)					78.34

Los equipos eléctricos utilizados, la computadora y el aire acondicionado, deprecian los 15 días de utilización según la Tabla 24.

Tabla 24 Gastos por depreciación de equipos (elaboración propia)

Equipo	Depreciación anual	Depreciación 15 días
CPU	114.48 CUP	4.70 CUP
Monitor	28.85 CUC	1.19 CUC
Aire Acondicionado	36.60 CUC	1.50 CUC
Total		2.69 CUC
		4.60 CUP

De los gastos por salario, electricidad y depreciación se obtiene el costo de integrar el paquete desarrollado en GESPRO que asciende a 2.69 CUC y 931.16 CUP.