

Tipo de artículo: Artículo original
Temática: Ingeniería y gestión de software
Recibido: 20/06/2016 | Aceptado: 15/09/2016

Criterios económicos borrosos para el análisis de factibilidad de proyectos de software en ambientes de incertidumbre

Fuzzy economic criteria for software projects feasibility analysis, in environments of uncertainty

Marieta Peña Abreu^{1*}, Roberto García Vacacela², Carlos R. Rodríguez Rodríguez¹, Pedro Y. Piñero Pérez¹

¹Universidad de las Ciencias Informáticas. Carretera a San Antonio de los Baños, Km 2 ½, La Lisa, La Habana. {mpabreu, crodriguezr, ppp}@uci.cu

² Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. roberto.garcia@cu.ucsg.edu.ec

* Autor para correspondencia: mpabreu@uci.cu

Resumen

El análisis de factibilidad de proyectos constituye un proceso indispensable para las entidades desarrolladoras de software que resulta complejo por ser el software un producto intangible. Este proceso puede ser modelado como un problema de toma de decisiones multiexperto y multicriterio, donde se evalúan generalmente más de un proyecto, en entornos de incertidumbre. Este trabajo propone un método que mediante números triangulares borrosos modifica el cálculo de los criterios económicos tradicionales VAN, TIR y PRI. La propuesta considera tres posibles escenarios: pesimista, más certero y optimista, para simular las variaciones que pueden ocurrir durante el ciclo de vida del proyecto en aspectos como: los precios de materiales directos e indirectos, la estabilidad de la fuerza de trabajo y otros riesgos que puedan impactar en el cronograma, en el alcance o en la calidad de los entregables. Se describen las dos fases del método, detallando las actividades de cada una con sus entradas y salidas. Los expertos se seleccionan mediante el análisis de la síntesis curricular de los candidatos. Para ponderar los criterios se utiliza la matriz de comparación por pares del método AHP. Se emplea el modelo lingüístico 2-tuplas para obtener la evaluación de cada proyecto, por criterios y global, unido a la certeza de esa información. Ese resultado constituye una entrada importante para la identificación y gestión de los riesgos del proyecto. Experimentalmente el método se aplicó a cinco proyectos, con la participación de cinco expertos. Todos resultaron factibles, aunque con diferente grado de factibilidad.

Palabras clave: análisis de factibilidad, evaluación económica de proyectos, incertidumbre, números borrosos triangulares.

Abstract

The software project feasibility analysis it is an essential process for developer's entities, that it is complex, being software an intangible product. This process can be modeled as a multi expert and a multi criteria of making decisions is generally evaluated more than one project in uncertain environments. This paper proposes a method using fuzzy triangular numbers, to evaluate classical economic criteria such as NPV, IRR and PRI. It described the two phases of the method (initiation and evaluation), detailing the activities of each with its inputs and outputs. The experts are selected by analyzing the curricular synthesis of candidates. The evaluation criteria are defined using Focus Group. The proposal allows to treat the variations that may occur during the life cycle of the project in aspects such as: prices of direct and indirect materials, the stability of the workforce and other risks that impact the schedule, scope or quality of deliverables. As a final result the overall assessment of each project is obtained by order of feasibility considering the outcome of the criteria in three possible scenarios: one pessimistic, one more accurate and one optimistic. The latter is an important tool for identifying and managing project risks. Experimentally, the method was applied to three projects, evaluating three criteria and with the participation of three experts. The three projects were feasible, although with a different order of feasibility.

Keywords: *economic evaluation of projects, feasibility analysis, fuzzy triangular numbers, uncertainty*

Introducción

La acertada selección de proyectos de software, constituye una decisión difícil de tomar en un entorno marcado por el acelerado desarrollo de la industria del software y las comunicaciones. Este proceso se torna más complejo al ser el software un producto intangible. Tomar la decisión sobre cual proyecto ejecutar en un período determinado, es un reto para los principales directivos, dados los múltiples factores que pueden inferir en esta selección (Burstein, et al., 2008).

Los análisis de factibilidad deben realizarse como una buena práctica durante la conceptualización del proyecto. Lo cual no excluye que se puedan realizar durante el desarrollo del proyecto, como una herramienta útil para el seguimiento y control, identificando posibles desviaciones (Milanesi, 2015). Para realizar estos análisis generalmente se utilizan métodos tradicionales de evaluación (Chen, et al., 2011) (E Cables, 2012).

Un estudio realizado a alrededor de 50 000 proyectos arrojó que el 52% fue renegociado y el 19% fallido. Dentro de las principales causas se encuentra el aumento de los costos durante la ejecución (The Standish Group, 2015). Este

resultado expresa la importancia de realizar análisis de factibilidad considerando criterios que contribuyan a mejorar los resultados. Las principales escuelas de Gestión de Proyectos (ISO 21500 (ISO, 2012), PMBOK (PMI, 2013), CMMI (SEI, 2010), IPMA (IPMA, 2015), PRINCE2 (OGC, 2009)) suponen que los análisis de factibilidad se realizan con anterioridad, lo que no ocurre así en todos los casos.

En la literatura se identifican diversos criterios de factibilidad (Betancur, 2006), los que se clasifican en estáticos y dinámicos (Mayo, 2006). La factibilidad económica tradicionalmente se ha evaluado usando métodos deterministas, sin tener en cuenta la incertidumbre inherente a este análisis. Las principales fuentes de incertidumbre están dadas por tres aspectos: la variabilidad de los datos, la imprecisión y la vaguedad. La primera es propiciada por la naturaleza no determinista de los hechos. La segunda surge al observar o medir valores de una variable. La vaguedad aparece cuando se utiliza el lenguaje humano para describir la observación o medida del resultado de un experimento (Zulueta, 2014).

Estos elementos se encuentran presentes al evaluar criterios económicos. Al calcularse tradicionalmente de manera determinista, se pueden producir errores de medición, se aproximan valores y se trabaja con promedios ocultando valores extremos. Además la predicción humana de los posibles gastos e ingresos trae imprecisiones y vaguedad dada su asimetría en los impulsos neuronales (Betancur, 2006). Esto implica que en condiciones de incertidumbre es necesario modificar la manera de concebir los criterios tradicionales, lo cual se viene infiriendo hace años (Haugen, 1996) (Arza, 2013) (Torres, 2015) (Jiménez, y otros, 2016).

El principio de simultaneidad gradual (Gil Aluja, 1996) dio lugar a la “matemática borrosa de la incertidumbre” y a su aplicación en diversas ramas incluyendo la gestión de proyectos y la economía. Este es un enfoque complementario que permite trabajar la imprecisión presente en la toma de decisiones.

A partir de la problemática planteada, el presente trabajo propone criterios económicos borrosos que toman en consideración la cronología de los flujos de caja. Para ello utilizan la actualización o descuento, lo que permite homogenizar las cantidades de dinero percibidas en el tiempo. La principal novedad de la propuesta radica en la modificación de criterios tradicionales introduciendo números triangulares borrosos siguiendo el paradigma de la matemática borrosa. Lo cual facilita la interpretación de los resultados de los análisis de factibilidad de proyectos de software en entornos de incertidumbre.

En lo adelante el trabajo se organiza de la siguiente manera. Primero se presentan los métodos científicos utilizados y la metodología de la propuesta. Luego se describen las actividades de las dos fases del método propuesto; en este acápite se formulan las modificaciones a los criterios económicos tradicionales. A continuación, se realiza la validación y se discuten los resultados. Finalmente se arriba las conclusiones y se proponen trabajos futuros.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron diferentes métodos, dentro de los cuales se destacan:

- Histórico-lógico y dialéctico: Se realiza una revisión de las principales investigaciones referidas al tema, para determinar los principales precedentes de la investigación y la novedad de la misma.
- Hipotético-deductivo: Se utiliza para identificar la problemática existente y su posible solución. Permite además plantear el objetivo de la investigación.
- Analítico-sintético: Se utiliza para desglosar el problema para un mejor entendimiento y llegar así a través de la síntesis a la propuesta de solución.
- Estadística prescriptiva: Se utiliza para el análisis detallado de los resultados.
- Técnicas de Soft-computing: Se utilizan los números triangulares borrosos para modificar el cálculo de los criterios económicos tradicionales. Se utiliza el modelo lingüístico 2-tuplas de computación con palabras para obtener la evaluación final de los proyectos.

Se utiliza para la propuesta de solución el concepto de números triangulares borrosos por su simplicidad y buena percepción. Constituyen una versión más simplificada del concepto general de número borroso. Sus funciones son lineales, puede ser definido mediante la terna (a_1, a_2, a_3) , donde a_1 es el valor más pequeño posible, a_2 el valor de mayor pertinencia o central y a_3 el valor más elevado posible (Kaufmann, et al., 1994).

Método para calcular criterios económicos borrosos para realizar análisis de factibilidad en entornos de incertidumbre

En esta sección se presenta la propuesta para realizar análisis de factibilidad de proyectos de software a partir de criterios económicos borrosos. Se proponen dos fases (iniciación y evaluación) donde se pueden analizar uno o varios proyectos durante un mismo proceso de evaluación. Se obtiene como resultado final, un listado de proyectos ordenados según su factibilidad global utilizando el método de 2-tuplas. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se describe el flujo de actividades de cada fase.

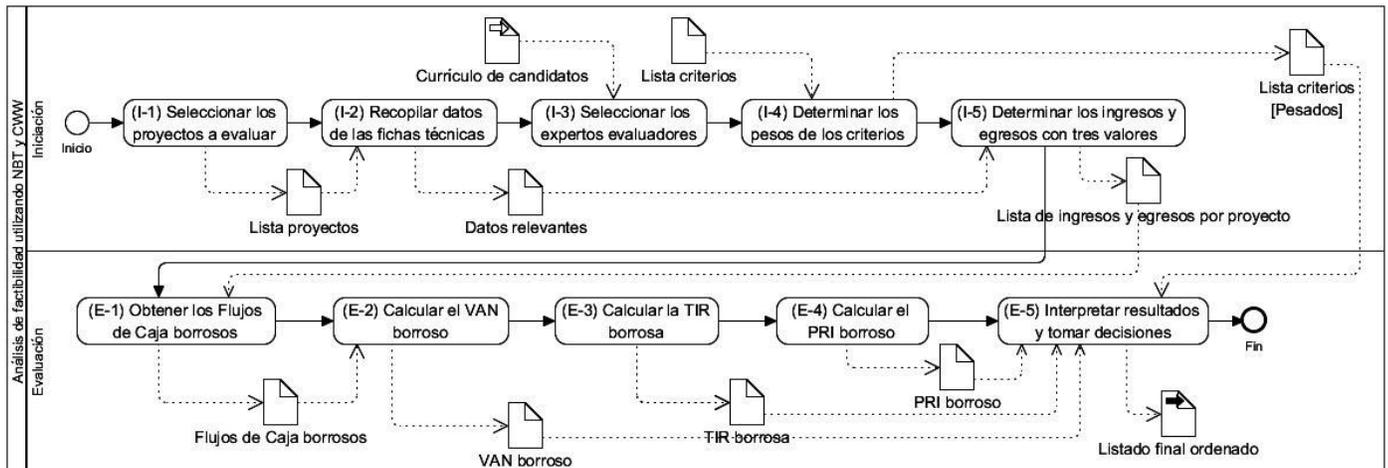


Figura 1. Actividades del proceso de análisis de factibilidad económica.

Fase de iniciación

En esta fase se recopila la información necesaria para realizar el análisis de factibilidad económica de los proyectos. A continuación, se describen cada una de las actividades que la componen.

Actividad I-1: Seleccionar el conjunto de proyectos $P = \{p_j \mid j \in (1, \dots, n)\}$, a los cuales se les realiza el análisis por interés de la organización.

Actividad I-2: Recopilar la información necesaria para realizar el levantamiento de los ingresos y egresos de cada proyecto; así como los principales involucrados, tiempo de duración, entre otros. Se sugiere seguir el formato propuesto en (Peña, 2012).

Actividad I-3: Seleccionar el conjunto de expertos $E = \{e_i \mid i \in (1, \dots, m)\}$ que estimarán los ingresos y egresos. Esta selección se realiza mediante el análisis de la síntesis curricular, de forma similar a como se propone en (Trujillo, 2014).

Actividad I-4: Determinar los pesos de los criterios económicos. Para esto se utiliza la matriz de comparación por pares para elementos de un mismo nivel del método Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) (Saaty, 1990). Los expertos a través de juicio comparativo ordenan los criterios. Luego se utiliza el promedio geométrico para combinar las valoraciones. Finalmente se obtiene un vector de prioridad $W^c = (w_i^c \mid i \in (1, \dots, p))$, $w_i^c \in [0,1]$ que cumple la propiedad $\sum_{i=1}^p w_i^c = 1$, conforme a como se utiliza en (Rodríguez, 2010; Zulueta, 2014).

Actividad I-5: Determinar los ingresos y egresos con tres valores. Los expertos estiman por cada proyecto los posibles ingresos y egresos que deben ocurrir durante el ciclo de vida del proyecto, simulando tres escenarios posibles: el pesimista, el más certero y el optimista. El trabajo con diferentes escenarios permite evaluar la variación que pueden

tener elementos como: la estabilidad de la fuerza de trabajo (y su calificación), el precio de los materiales directos e indirectos; así como la ocurrencia de riesgos que impacten en el cronograma, el alcance o la calidad de los entregables.

Fase de evaluación

Es la fase más importante de la propuesta, ya que se comprende el cálculo de los criterios y la interpretación de los resultados. Se realizan las siguientes actividades:

Actividad E-1: A partir de los valores estimados de los ingresos y egresos, se obtiene el Flujo de Caja Borroso (FC^B) de cada proyecto según su tiempo de ejecución. Los flujos finales dependen de los flujos iniciales y operacionales, y son calculados utilizando operaciones con números triangulares borrosos. A partir de estos se pueden calcular el resto de los criterios económicos borrosos.

Actividad E-2: La extensión de la ecuación del VAN con el uso de los números triangulares borrosos permite considerar todos los posibles valores que pueden tomar las variables en un intervalo de confianza definido. Además, se puede modificar en función del escenario, el desembolso inicial y la tasa de descuento o actualización monetaria, en función de las variaciones del entorno financiero. En la ecuación 1, se muestra la modificación propuesta:

$$VAN^B(\widetilde{p}, c, o) = (-A_p + \sum_{j=1}^n \frac{(FC^B_{p_j})}{(1+k_p)^j}; -A_c + \sum_{j=1}^n \frac{(FC^B_{c_j})}{(1+k_c)^j}; -A_o + \sum_{j=1}^n \frac{(FC^B_{o_j})}{(1+k_o)^j}) \quad (1)$$

Donde:

A = desembolso inicial, que puede variar en función de los escenarios

FC^B_p = valor más pesimista del Flujo de Caja

FC^B_c = valor más certero o base del Flujo de Caja

FC^B_o = valor más optimista del Flujo de Caja

n = horizonte temporal del proyecto

k= tasa de descuento, que puede variar en función de los escenarios

Se propone además el uso del principio de extensión para evaluar el VAN^B según muestra la ecuación 2. El cálculo de los α -cortes permite visualizar los diferentes valores que puede tomar el VAN^B en función de los niveles de presunción.

$$VAN^B_\alpha = [VAN^B_{p,\alpha}, VAN^B_{o,\alpha}] = [VAN^B_p + (VAN^B_c - VAN^B_p)\alpha, VAN^B_o - (VAN^B_o - VAN^B_c)\alpha]; \forall \alpha \in [0,1] \quad (2)$$

Donde:

VAN^B_p = valor más pesimista del VAN^B

VAN^B_c = valor más certero o base del VAN^B

VAN^B_o = valor más optimista del VAN^B

Actividad E-3: Para su cálculo se hace el VAN^B igual cero y se tienen en cuenta la posible variación de las tasas de actualización. El cálculo de la TIR^B teniendo como base el cálculo del VAN^B permite realizar una mejor interpretación de los resultados que se obtengan dentro del intervalo definido, siendo positivo el resultado siempre que sea mayor que la tasa fijada. En la ecuación 3 se presenta la modificación propuesta:

$$TIR^B(\widetilde{p}, c, o) = \left(k_1 + \frac{(VAN^B_{pp})(k_2 - k_1)}{(VAN^B_{pp}) + |(VAN^B_{pn})|}; k_1 + \frac{(VAN^B_{cp})(k_2 - k_1)}{(VAN^B_{cp}) + |(VAN^B_{cn})|}; k_1 + \frac{(VAN^B_{op})(k_2 - k_1)}{(VAN^B_{op}) + |(VAN^B_{on})|} \right) \quad (3)$$

Donde:

k_1 = tasa de actualización en la que el VAN^B es positivo

k_2 = tasa de actualización en la que el VAN^B es negativo

VAN^B_{pp} = importe más pesimista del VAN^B positivo a la tasa de actualización k_1

VAN^B_{pn} = importe más pesimista del VAN^B negativo a la tasa de actualización k_2

VAN^B_{cp} = importe más certero o base del VAN^B positivo a la tasa de actualización k_1

VAN^B_{cn} = importe más certero o base del VAN^B negativo a la tasa de actualización k_2

VAN^B_{op} = importe más optimista del VAN^B positivo a la tasa de actualización k_1

VAN^B_{on} = importe más optimista del VAN^B negativo a la tasa de actualización k_2

Actividad E-4: Este criterio es de gran importancia su cálculo con números triangulares borrosos, dado que brinda al decisor un intervalo de confianza del periodo más pesimista de recuperación de la inversión, así como el más optimista, teniendo en cuenta los beneficios netos del proyecto. Se propone para su cálculo la ecuación 4, en base a los números triangulares borrosos.

$$PRI^B(\widetilde{p}, c, o) = \left(t_n + \frac{|SA_{p1}|}{|SA_{p1}| + SA_{p2}} - m; t_n + \frac{|SA_{c1}|}{|SA_{c1}| + SA_{c2}} - m; t_n + \frac{|SA_{o1}|}{|SA_{o1}| + SA_{o2}} - m \right) \quad (4)$$

Donde:

t_n = número de años con saldo acumulado negativo desde el primer gasto anual de inversión

SA_{p1} = valor absoluto más pesimista del último año con efecto negativo en el saldo acumulado

SA_{p2} = valor absoluto más pesimista del primer año con efecto positivo en el saldo acumulado

SA_{c1} = valor absoluto más certero o base del último año con efecto negativo en el saldo acumulado

SA_{c2} = valor absoluto más certero o base del primer año con efecto positivo en el saldo acumulado

SA_{o1} = valor absoluto más optimista del último año con efecto negativo en el saldo acumulado

SA_{o2} = valor absoluto más optimista del primer año con efecto positivo en el saldo acumulado

m = período de construcción y montaje del proyecto (se estima en meses o trimestres)

Actividad E-5: Para interpretar los resultados de los criterios económicos borrosos se utiliza el modelo lingüístico 2-tuplas para computación con palabras (Herrera, et al., 2000). Su uso permite obtener valoraciones lingüísticas a partir de los valores de los números triangulares borrosos. Además, esas valoraciones se unifican sin que se produzca pérdida de información. Como resultado se obtiene la lista de proyectos con su grado de factibilidad global y por cada criterio unido al nivel de certeza de esa información.

Para llevar a cabo la actividad 5 se realizan las siguientes acciones en el orden propuesto:

1. Se recopilan las preferencias de los expertos a partir del resultado de los criterios económicos borrosos. Los expertos pueden usar los dominios: numérico, intervalar o lingüístico, para expresar las preferencias.
2. Se unifican las preferencias de los expertos en un mismo dominio siguiendo lo propuesto por (Herrera, et al., 2005). Como Conjunto Básico de Términos Lingüísticos (CBTL) se propone $S_T = \{NF, FMB, FB, FM, FA, FMA, FP\}$ cuya semántica se muestra en la Figura 2.

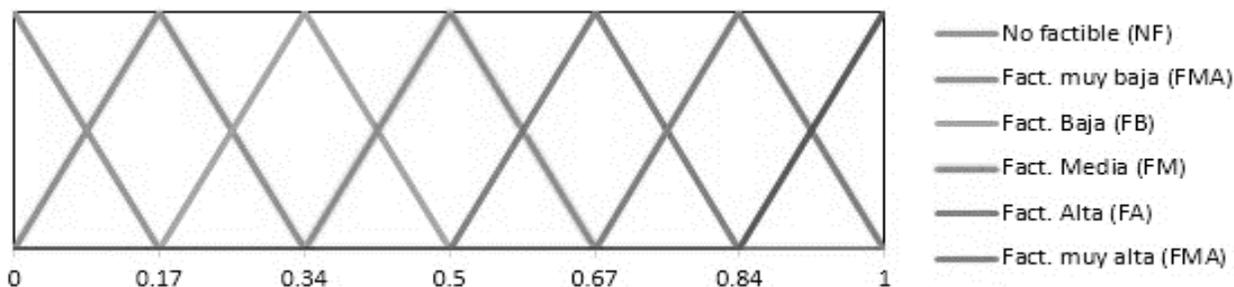


Figura 2. Semántica de 7 términos representada con funciones de pertenencia triangulares.

3. Se calcula el valor colectivo de los criterios por cada proyecto considerando las preferencias dadas por los expertos. Para calcular este valor se utiliza el operador Media Aritmética Extendida (Herrera, et al., 2000).
4. Se agrega el valor colectivo de cada proyecto utilizando el operador Media Ponderada Extendida (Herrera, et al., 2000) el cual permite agrupar los valores de los criterios considerando sus diferentes pesos.
5. Se ordenan los proyectos según su factibilidad global, para ello se utilizan los operadores de comparación para 2-tuplas (Herrera, et al., 2000). Con estos operadores es posible ordenar los proyectos considerando su evaluación

global o analizarlos de acuerdo a alguno de los criterios evaluados. Esto ofrece algunas variantes para la toma de decisiones, como son:

- Seleccionar los proyectos considerando solo su factibilidad global.
- Si dos proyectos tienen el mismo resultado de factibilidad global, podrá aumentarse el nivel de detalles ordenándolos según alguno de los criterios analizados.
- Si se analizan proyectos con características muy diferentes, es posible evaluarlos de manera individual, atendiendo en cada uno, los criterios más relevantes según su naturaleza.

Resultados y discusión

Para demostrar la aplicabilidad de la propuesta, en el presente acápite se muestran los resultados obtenidos luego de realizar un experimento con cinco proyectos de desarrollo de software a la medida donde se comparan los resultados obtenidos con la propuesta con los criterios económicos tradicionales. Los proyectos pertenecen a la red de centros de desarrollo de software de la Universidad de Ciencias Informáticas y se ejecutaron en un período de un año. El análisis de los flujos de caja se desglosa en trimestres. Se describen de forma resumida las actividades propuestas en cada una de las fases, haciendo mayor énfasis en la evaluación de los criterios económicos propuestos.

Fase de Iniciación

Dentro de la fase de iniciación se seleccionaron cinco proyectos $P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5\}$. Toda la información disponible de cada ficha de los proyectos se extrae de la herramienta informática Xedro-GESPRO (Piñero Pérez, et al., 2013), que emplea la institución para gestionar sus proyectos.

Considerando las características de cada proyecto a evaluar, se seleccionaron a partir de su síntesis curricular cinco expertos, en temas económicos $E = \{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5\}$, capaces de estimar los ingresos y egresos de cada proyecto para poder determinar su flujo de caja. Los expertos ponderaron cada criterios, para obtener el peso final de cada criterio se utilizó la media aritmética (ver Tabla 1).

Tabla 1. Criterios utilizados para la evaluación (criterios y peso).

Criterios	Peso
Valor Actual Neto Borroso (VANB)	0,861
Tasa Interna de Retorno Borroso (TIRB)	0,104
Período de Recuperación Borroso (PRD)	0,035

Fase de Evaluación

Por cada proyecto a evaluar, los expertos estimaron los ingresos y egresos, considerando tres posibles escenarios (pesimista, más certero o base, optimista). Una vez realizada la estimación se calculó el FC^B de cada proyecto (ver Tabla 2), el cual constituye la base para el cómputo de los criterios propuestos.

Tabla 2. Valor calculado del Flujo de Caja de los proyectos en números triangulares borrosos.

	FC 1er Trimestre	FC 2do Trimestre	FC 3er Trimestre	FC 4to trimestre
P_1	20420; 27420; 34000)	(195042; 234942; 235250)	(74600; 81,600; 82300)	(41800; 40400; 41100)
P_2	(-549384; -49384; 514384)	(318161; 320611; 320681)	(318441; 320611; 320646)	(323972; 325442; 325512)
P_3	(-13746; -13676; -13623)	(121321; 121391; 121426)	(7335; 7392; 8092)	(149170; 149192; 149892)
P_4	(-43566; -2572; -23421)	(7834; 9853; 10984)	(14567; 17940; 19345)	(18768; 20967; 22785)
P_5	(3467; -1589; 1256)	(5.897; 8276; 10437)	(15400; 17500; 19500)	(11679; 12921; 15896)

Una vez obtenido el FC^B de cada proyecto se calcularon los criterios económicos borrosos VAN^B , TIR^B y PRI^B teniendo en cuenta el desembolso inicial y una tasa de actualización del 12 % apropiada a los riesgos de los proyectos. Como se muestra en la Tabla 3 cada criterio económico borroso se encuentra expresado en tres valores (pesimista a la izquierda, certero en el centro, optimista a la derecha) lo cual brinda al experto un intervalo de confianza. Adicionalmente se exponen en la Tabla 3 los valores reales de los criterios tradicionales VAN, TIR y PRI obtenidos de los expedientes de los proyectos evaluados.

Tabla 3. Valor calculado del con números triangulares borrosos en tres escenarios y valores de los criterios tradicionales

	VAN^B (pesos)	VAN Tradicional	TIR^B (por ciento)	TIR Tradicional	PRI^B (meses)	PRI Tradicional
P_1	(214581,89; 256732,67; 263796,31)	239189,10	(0,5810; 0,6052; 0,6115)	0,5950	(9,40; 9,25; 9,18)	9,29
P_2	(627120,00; 631551,90; 639906,00)	633513,00	(0,5385; 0,5388; 0,5388)	0,5386	(9,55; 9,55; 9,54)	9,54
P_3	(24464,35; 24637,75; 25656,25)	25060,30	(0,1724; 0,1728; 0,1748)	0,1736	(10,25; 10,25; 10,23)	10,24
P_4	(24393,83; 25000,48; 25629,61)	25011,72	(1,17; 3,16; 3,45)	2,3100	(11,00; 10,00; 9,55)	10,28
P_5	(19240,73; 19929,56; 20651,09)	19945,91	(1,6856; 1,8949; 1,9678)	1,8267	(11,50; 11,20; 11,00)	11,25

Al comparar los resultados de los criterios tradicionales con los criterios borrosos se evidencia que el resultado tradicional se encuentra en el intervalo de confianza obtenido con los criterios borrosos, lo que demuestra la consistencia

de la propuesta realizada. Sin embargo, disponer del intervalo de confianza permite considerar el impacto de la ocurrencia de riesgos que impliquen cambios en el cronograma, el alcance o la calidad de los entregables, tales como: el precio de los recursos materiales o la estabilidad de los recursos humanos. Mientras que el resultado determinista del criterio tradicional limita la evaluación del impacto de las posibles desviaciones.

Interpretación de los resultados utilizando 2-tuplas

A partir de los resultados de los criterios económicos borrosos obtenidos de cada proyecto, los expertos emitieron sus valoraciones sobre la factibilidad de manera heterogénea. Los expertos $\{e_1, e_3, e_4, e_4\}$ utilizaron el dominio lingüístico auxiliándose de un CTL de 5 términos (ver Figura 3) mientras que el experto $\{e_2\}$ utilizó una escala numérica en el intervalo [1,5]. Luego se unificaron las preferencias heterogéneas utilizando el CBTL de siete términos propuesto en la actividad 5 de la fase de evaluación (ver Figura 2). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las preferencias heterogéneas (PE) emitidas por cada experto y la 2-tupla resultante de la unificación de las PE en el dominio lingüístico.

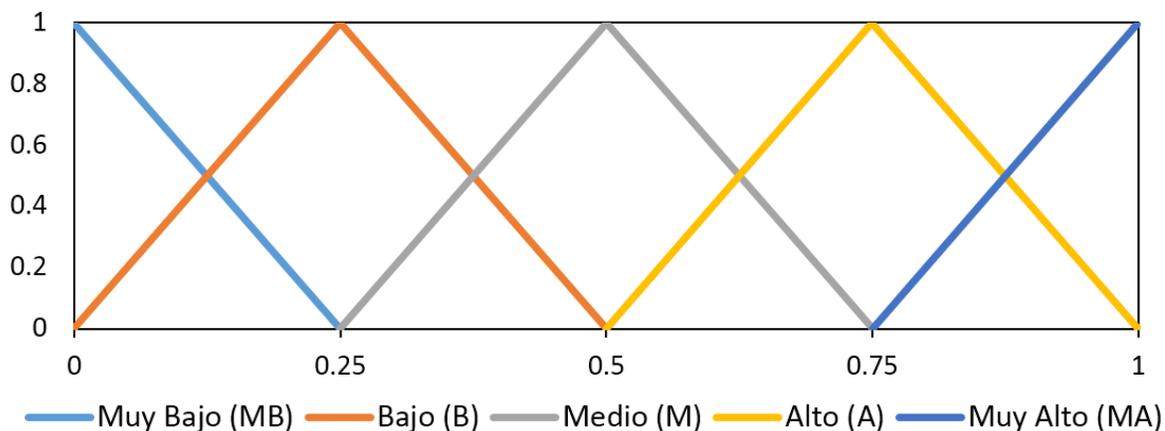


Figura 3. Semántica de 5 términos representada con funciones de pertenencia triangulares.

Tabla 4. Preferencias emitidas por los expertos para cada criterio según el proyecto.

	Criterios	Expertos									
		e_1		e_2		e_3		e_4		e_5	
		PE	2-tupla	PE	2-tupla	PE	2-tupla	PE	2-tupla	PE	2-tupla
p_1	c_1	A	(FMA, -0.5)	5	(FP, 0)	M	(FM, 0)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)
	c_2	M	(FM, 0)	3	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)
	c_3	MA	(FMA, 0.44)	5	(FP, 0)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)

p_2	c_1	MA	(FMA, 0.44)	5	(FP, 0)	MA	(FMA, 0.44)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)
	c_2	M	(FM, 0)	3	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)
	c_3	MA	(FMA, 0.44)	5	(FP, 0)	MA	(FMA, 0.44)	MA	(FMA, 0.44)	MA	(FMA, 0.44)
p_3	c_1	A	(FMA, -0.5)	4	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)
	c_2	A	(FMA, -0.5)	4	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)
	c_3	A	(FMA, -0.5)	4	(FMA, -0.5)	M	(FM, 0)	A	(FMA, -0.5)	M	(FM, 0)
p_4	c_1	M	(FM, 0)	3	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)	A	(FMA, -0.5)
	c_2	M	(FM, 0)	4	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	M	(FM, 0)
	c_3	M	(FM, 0)	3	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)
p_5	c_1	B	(FB, -0.5)	3	(FM, 0)	M	(FM, 0)	M	(FM, 0)	A	(FMA, -0.5)
	c_2	A	(FMA, -0.5)	4	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	A	(FMA, -0.5)	M	(FM, 0)
	c_3	B	(FB, -0.5)	3	(FM, 0)	B	(FB, -0.5)	M	(FM, 0)	B	(FB, -0.5)

Posteriormente se calculó el valor colectivo (agregación) de cada criterio para cada proyecto. Los resultados se muestran en la columna c_1 , c_2 y c_3 de la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida..** Finalmente se computó la factibilidad global de cada proyecto, los valores obtenidos se ofrecen en la última columna de la **¡Error! La autoreferencia al marcador no es válida..** Esta información constituye el principal insumo para la toma de decisiones sobre los proyectos evaluados. Una vez obtenidos los resultados globales se aplican los operadores de comparación para 2-tuplas. Los resultados de aplicar estos operadores para la factibilidad global y por cada criterio se muestra en la Tabla 6.

Tabla 5. Valores colectivos de los criterios y evaluación global de los proyectos.

	c_1	c_2	c_3	Evaluación de los proyectos (factibilidad, certeza)
p_1	(FMA, -0.5)	(FM, 0)	(FMA, -0.1)	(FA, 0.36)
p_2	(FMA, 0.18)	(FM, 0)	(FP, -0.45)	(FMA, -0.04)
p_3	(FA, -0.1)	(FMA, -0.5)	(FA, -0.1)	(FA, -0.04)
p_4	(FM, 0.3)	(FA, -0.10)	(FM, 0)	(FM, 0.35)
p_5	(FM, 0)	(FA, 0.2)	(FB, 0.1)	(FM, 0.09)

Tabla 6. Proyectos ordenados según factibilidad global y por cada criterio.

	Orden según factibilidad global	Orden según VAN ^B	Orden según TIR ^B	Orden según PRI ^B
p_1	2	2	4	2
p_2	1	1	4	1

p_3	3	3	1	3
p_4	4	4	3	4
p_5	5	5	2	5

Como se muestra en la Tabla 6 el p_2 arrojó mejor factibilidad global, con una factibilidad muy alta en comparación con el resto, mientras que p_5 queda en el último lugar, sin embargo todos los proyectos evaluados son factibles. El orden de factibilidad global obtenida indica cuáles proyectos se pueden desarrollar con una mayor probabilidad de éxito y menor cantidad de riesgos según consideran los expertos. De igual manera para la toma de decisiones se pueden revisar los resultados obtenidos en la Tabla 6 de las columnas referentes a los criterios borrosos de forma individual ya que no se obtiene el mismo orden de factibilidad global de los proyectos con el orden individual de los criterios borrosos. Aunque en la factibilidad global el p_2 ocupa el primer lugar, según la TIR^B ocupa el lugar 4 y según el PRI^B igualmente se encuentra en la primera posición. El orden de factibilidad global que se obtiene con la propuesta coincide con la factibilidad histórica real de los proyectos durante su ejecución.

Para una mejor representación del proyecto que mejores resultados tiene se muestra en la figura los α -cortes correspondientes a su VAN^B , lo cual permite al decisor en función del intervalo de valores del VAN^B ver los valores que puede ir obteniendo según los diferentes α -cortes donde $\forall \alpha \in [0,1]$.

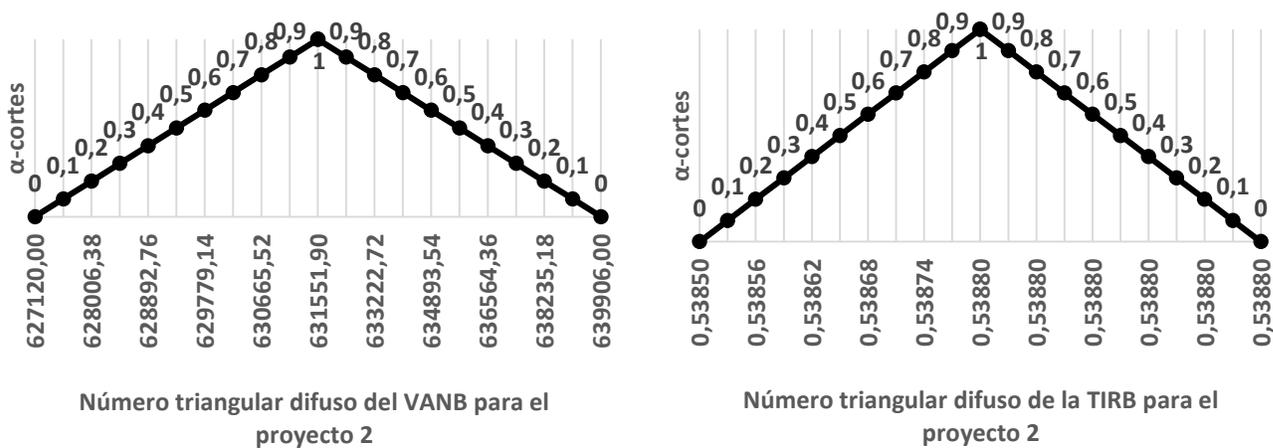


Figura 4. Números triangulares difusos de los criterios VAN^B y TIR^B para el proyecto 2.

Conclusiones

Con el presente artículo se ha pretendido presentar resultados de investigación que se pueden seguir perfeccionando en aras de proponer criterios económicos borrosos para realizar estudios de factibilidad de proyectos de software. Como principales conclusiones se tiene:

- Los estudios de factibilidad de los proyectos de software constituyen la base para el éxito de su ejecución, pero en el mismo intervienen elementos de incertidumbre.
- La modificación de los criterios clásicos económicos deterministas con la matemática borrosa posibilita una mejor interpretación de los resultados para tomar decisiones en los estudios de factibilidad económica.
- La utilización de los números triangulares borrosos permite la interpretación de tres escenarios: el pesimista, el certero o base y el más optimista, lo cual define un intervalo de confianza para el decisor.
- La definición de los ingresos y egresos en estos mismos escenarios, para obtener el flujo de caja del proyecto, permite evaluar la ocurrencia de riesgos que impacten en la ejecución del proyecto, lo cual facilita tomar acciones para evitarlos o explotarlos.
- La representación de los α -cortes del criterio que se evalúa contribuye en la toma de decisiones al decidir la factibilidad de los proyectos.
- El método propuesto, se aplicó experimentalmente a una muestra de cinco proyectos de software de la red de centros de la UCI obteniéndose resultados positivos que validan la propuesta realizada facilitando al decisor la toma de decisiones.

Referencias

- ARZA, LIZANDRA. 2013. *Modelo computacional para la recomendación de roles en el proceso de ubicación de estudiantes en la industria de software*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana : s.n., 2013. Tesis doctoral.
- BETANCUR, JUAN CARLOS GUTIÉRREZ. 2006. *Aplicación de los conjuntos borrosos a las decisiones de inversión*. España : AD-MINISTER Universidad EAFIT Medellín, 2006. 9. ISSN 1692-0279.
- BURSTEIN, F. and HOLSAPPLE, C.W. 2008. *Handbook on Decision Support Systems 1*. s.l. : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- CHEN, CHEN-TUNG, HUNG, WEI-ZHAN and CHENG, HUI-LING. 2011. Applying linguistic PROMETHEE method in investment portfolio decision-making. 2011. Vol. 9, 2, pp. 139-148.

- E CABLES, GARCIA CASCALES, M.T. LAMATA. 2012. The LTOPSIS: An alternative to TOPSIS decision-making approach for linguistic variables. 2012. págs. 2119-2126.
- GIL ALUJA, J. 1996. Lances y desventuras del nuevo paradigma de la decisión. *Proceedings of the International*. Buenos : s.n., 1996.
- HAUGEN, R. 1996. Finance from a New Perspective. *Financial Management*. s.l. : Spring, 1996. Vol. 25, 1, págs. 86 – 87. ISSN: 1755-053X.
- HERRERA, F., MARTÍNEZ, L. and SÁNCHEZ, P.J. 2005. Managing non-homogeneous information in group decision making. *European Journal of Operational Research*. 2005. 166, pp. 115-132.
- HERRERA, FRANCISCO and MARTÍNEZ, LUIS. 2000. A 2-tuple fuzzy linguistic representation model for computing with words. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. 2000. Vol. 8, 6, pp. 746-752.
- IPMA. 2015. IPMA. *International Project Management Association*. [Online] 2015. [Cited: enero 20, 2015.] <http://ipma.ch/>.
- ISO. 2012. *ISO 21500 Guidance on project management*. 2012.
- JIMÉNEZ MOYA GERDYS, CAMPANIONI LEÓN ALAIN, PIÑEIRO PÉREZ PEDRO. 2016. SIGESPRO: Sistemas de Información Geográfica para controlar proyectos. La Habana : Revista Cubana de Ciencias Informáticas, 2016. Vol. 10, 2. 2227-1899.
- KAUFMANN, A., GIL ALUJA, J. and TERCEÑO, A. 1994. Matemática para la Economía y Gestión de Empresas. *Aritmética de la Incertidumbre*. Barcelona : ForoCientífico S.L., 1994. Vol. I.
- MAYO, GONZALO M. RODRÍGUEZ MESA. 2006. *LA EVALUACIÓN FINANCIERA Y SOCIAL DE PROYECTOS DE INVERSIÓN*. La Habana : s.n., 2006. pág. 301. Vol. 1.
- MILANESI, GASTÓN S. 2015. La tasa interna de retorno promedio borrosa: desarrollosy aplicaciones. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*. 2015. Vol. 21, 40. ISSN: 2077-1886.
- OGC. 2009. *Managing Successful Projects with PRINCE2*. s.l. : TSO, 2009. 978011310593.
- On weighted synthesis of judgements*. Aczél, J. 1984. 27, 1984, *Aequationes Math*, pp. 288-307.
- PEÑA, MARIETA. 2012. Modelo para analisis de factibilidad en la evaluación de proyectos de software. *Tesis de Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos*. La Habana : s.n., 2012.

PIÑERO PÉREZ, P.Y. and autores, colectivo de. 2013. GESPRO Paquete para la gestión de proyectos. *Nueva Empresa*. La Habana : GECYT, 2013. Vol. 9, 1, pp. 45-53. ISSN: 1682-2455.

PMI. 2013. *Guía de los Fundamentos para la Gestión de Proyectos*. 5ta ed. Newtown Square, Pennsylvania : Project Management Institute, 2013. 9781935589679.

RODRÍGUEZ, ROSA MA. 2010. *Un nuevo modelo para procesos de computación con palabras en toma de decisión lingüística*. Departamento de Informática, Universidad de Jaén. Jaén : s.n., 2010. pág. 77, Tesis doctoral.

SAATY, THOMAS L. 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*. 1990. Vol. 48, 1, pp. 9-26.

SEI. 2010. *CMMI for Dev v1.3*. Pittsburgh : Carnegie Mellon University, 2010.

The Standish Group. 2015. *CHAOS Report 2015*. 2015.

TORRES, SURAYNE. 2015. *Modelo de evaluación de competencias a partir de evidencias durante la gestión de proyectos*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana : s.n., 2015. Tesis doctoral.

TRUJILLO, YAIMÍ. 2014. *Modelo para valorar las organizaciones desarrolladoras de software al iniciar la mejora de procesos*. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana : s.n., 2014. p. 210, Tesis Doctoral.

ZULUETA, YELENY. 2014. *Modelos de evaluación de la importancia del impacto ambiental en contextos complejos bajo incertidumbre*. Departamento de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, Universidad de Granada. Granada : s.n., 2014. p. 240, Tesis doctoral.