

UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

Facultad 5

Laboratorio de Gestión de Proyectos



MODELO PARA EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS BASADO EN INDICADORES Y LÓGICA BORROSA

Trabajo final presentado en opción al título de Máster
en Gestión de Proyectos Informáticos

Autor: Ing. José Alejandro Lugo García

Tutores: Dr.C Pedro Y. Piñero Pérez

Dr.C Roberto Delgado Victore

La Habana, Octubre de 2012

AGRADECIMIENTOS

A Surayne Torres López, mi tutora extraoficial y compañera de buenos y malos momentos, por tus consejos y sabiduría en temas que para mí aún son y serán desconocidos.

A Pedro, mi primer tutor oficial. Gracias por tu energía y deseos de hacer bien las cosas, por aceptarme en la familia y ponerme en los límites.

A Roberto, mi segundo tutor oficial. Gracias por compartir su experiencia y conocimientos, su visión profunda de cómo podemos hacer una sociedad mejor.

A Yeleyne Maure Díaz, sin tu ayuda los gráficos (ni muchas otras cosas) hubieran salido tan rápido, por tus puntos de vista.

A Ernesto Ahmed Mederos Franqueiro, gracias por programar el barrendero y apoyar el trabajo.

A Michael González Jorrín, ese que pone el granito (grandote) de arena donde más hace falta.

A mis compañeras y compañeros del equipo de desarrollo de GESPRO, por las sugerencias y momentos compartidos. Por sus aportes, gracias a Henrik Pestano Pino y Manuel Vázquez Acosta.

A mi mamá, por su apoyo incondicional.

A mi papá, por darme la paciencia y la perseverancia, sin tu ejemplo nada de esto hubiera sido posible.

A mis amigos de Mashenka y el Oso, a ver si ahora podemos tocar...

DEDICATORIA

A mis abuelas y abuelos...

...solo la habilidad humana conlleva al talento individual y colectivo.

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA

Declaro por este medio que yo Ing. José Alejandro Lugo García, con carné de identidad 84012312502, soy el autor principal del trabajo final de maestría MODELO PARA EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS BASADO EN INDICADORES Y LÓGICA BORROSA 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 de la misma 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 _____.

Ing. José Alejandro Lugo García
(Autor)

Dr. C Pedro Y. Piñero Pérez
(Tutor)

Dr. C Roberto Delgado Victore
(Tutor)

RESUMEN

GESPRO 10.04 es un sistema informático para la dirección integrada de proyectos que toma como base los modelos planteados por el *Project Management Institute* y el *Software Engineering Institute*. Sin embargo, existen deficiencias al tomar decisiones con ayuda de dicho entorno ya que no es posible conocer el estado de la ejecución de los proyectos en cuanto a áreas de proceso claves como la gestión del tiempo, costos, la calidad, logística y el rendimiento de los recursos humanos. Además, la información que existe en la plataforma contiene incertidumbre ya que es suministrada en su mayoría por seres humanos. El objetivo de la investigación es desarrollar un modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa, que permita mejorar la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO. Los resultados obtenidos fueron la propuesta e implementación en GESPRO 12.05 de: ocho indicadores relacionados con la gestión del tiempo, costos, calidad, logística y el rendimiento de los recursos humanos; un sistema de inferencia borroso para el cálculo de los indicadores relacionados con la calidad, logística y el rendimiento de los recursos humanos; y un sistema de inferencia borroso para la evaluación de la ejecución del proyecto en un corte haciendo uso de los indicadores propuestos.

Palabras claves: Control de ejecución de proyectos, Indicadores, Lógica borrosa.

ABSTRACT

GESPRO 10.04 is a computer system for the integrated project management which is based on the models proposed by the Project Management Institute and the Software Engineering Institute. However, there are shortcomings in decisions-making with the help of this environment because it is not possible to know the status of projects execution in terms of key process areas as time, cost, quality, logistics and human resource performance management. Also, the information which exists in the platform contains uncertainty for the reason that it is mostly supplied by human beings. The objective of this research is to develop a model for the projects execution control based on indicators and fuzzy logic that are able to improve the capacity for help of GESPRO as tool in decision making. The results was the proposal and implementation in GESPRO 12.05 of: eight indicators related to time schedule, cost, quality, logistics and human resource performance; a fuzzy inference system for the calculation of the indicators related to quality, logistics and human resource performance; and a fuzzy inference system for the execution evaluation of the project in a cut by using of the proposed indicators.

Keywords: Fuzzy logic, Indicators, Projects execution control.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: TENDENCIAS EN EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS	9
1.1 ANÁLISIS BIBLIOMÉTRICO	9
1.2 ESCUELAS DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS	10
1.2.1 Normas ISO 10006:2003 y 21500 (América del Norte y Europa)	10
1.2.2 Project Management Body of Knowledge – PMBOK (América del Norte).....	11
1.2.3 Capability Maturity Model Integration – CMMI (América del Norte)	12
1.2.4 Personal Software Process (PSP) y Team Software Process (TSP) (América del Norte).....	14
1.2.5 International Project Management Association – IPMA (América del Norte y Europa)	16
1.2.6 Projects in Controlled Environments – PRINCE2 (Europa)	17
1.2.7 Normas Cubanas para la Gestión de Proyectos.....	18
1.2.8 Programa de Mejora de la UCI.....	19
1.3 CONTROL DE LA EJECUCIÓN EN PROYECTOS	21
1.4 LÓGICA BORROSA Y SISTEMAS DE INFERENCIA BORROSOS	22
1.5 CORRIENTES ACTUALES PARA LA TOMA DE DECISIONES EN LA DIP	23
1.6 HERRAMIENTAS	24
1.6.1 Estudio comparativo	24
1.6.2 Indicadores más utilizados y acceso a los mismos	27
1.6.3 GESPRO.....	27
1.7 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	28
CAPÍTULO 2: MODELO PARA EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS	29
2.1 CARACTERÍSTICAS DEL MODELO	29
2.2 COMPONENTES	29
2.2.1 Componente Definición de Indicadores	30
2.2.2 Componente Cálculo de Indicadores.....	37
2.2.3 Componente Evaluación de la Ejecución	41
2.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	43
CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
3.1 SÍNTESIS DE LA APLICACIÓN DEL MODELO	45
3.2 POTENCIALIDADES Y DEBILIDADES DEL MODELO APLICADO	49
3.2.1 Indicadores.....	49
3.2.2 Método de evaluación de la ejecución.....	51
3.3 GESPRO 12.05: ¿UN MEJOR SISTEMA?	55
3.3.1 Facilidades para la toma de decisiones.....	55
3.3.2 Tiempo requerido.....	57
3.3.3 Subjetividad de la información.....	58
3.4 INCIDENCIA ECONÓMICA Y SOCIAL DE LA PROPUESTA EN EL ENTORNO UCI	60
3.5 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO	62
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	71

INTRODUCCIÓN

Antecedentes y situación problemática

En las versiones más radicales del determinismo tecnológico, la tecnología aparece como principal factor del cambio social (Núñez Jover, 2006). Hoy, como en el ayer, es necesario fortalecer un proceso de cambios de paradigmas en función de una nueva sociedad. (Alhama Belamaric, 2006) (Alhama Belamaric, 2010). Para motivar esto, se ha reconocido la necesidad de fomentar la gestión en las empresas entre los valores del tener y el ser, donde la utilización de las nuevas tecnologías no opaquen el valor del trabajo sino que conlleven a un cambio cualitativo de enfoque (Antunes, 2001).

La constante evolución del mercado de los negocios demanda mayor competitividad en las empresas. Si no se cuenta con la experiencia necesaria, se requieren grandes esfuerzos iniciales para lograr ubicarse entre los primeros puestos de preferencia. Es aconsejable por tanto mantener una actitud proactiva con el fin de tomar las decisiones correctas a tiempo y así evitar catástrofes en la ejecución de las obras (De Heredia, 1995) (Hughes & Cotterell, 1999).

En el desarrollo de un proyecto, la ejecución constituye una de las etapas más importantes, por su complejidad y por la importancia en la toma de las decisiones para lograr los objetivos del mismo, en el menor plazo de tiempo posible, en el marco del presupuesto y con la calidad requerida por el cliente y las partes interesadas. Un proyecto bien planificado, con estudio de alternativas, evaluaciones, definiciones de calidad y presupuesto, facilita la tarea de dirección en la etapa de ejecución. Para lograr el éxito en la ejecución de proyectos, es necesario desarrollar un trabajo de dirección en equipo donde el papel del director como líder es decisivo, evaluando por cortes un conjunto de indicadores (Delgado Victore, 2003).

El concepto indicador está estrechamente relacionado con los términos medida, medición y métricas. Con frecuencia se emplean indistintamente por lo que es fundamental resaltar las diferencias entre ellos. Dentro del contexto de la ingeniería del *software*, una medida proporciona una indicación cuantitativa de la extensión, cantidad, dimensiones, capacidad o tamaño de algunos atributos de un proceso o producto. La medición es el acto de determinar una medida (Pressman, 2001). Una métrica es una medida cuantitativa del grado en que un sistema, componente o proceso posee un atributo dado (IEEE, 2004). Dicho en otras palabras, la medida expresa una característica individual, la medición permite capturar dicha característica y la métrica permite relacionar y comparar mediciones. El indicador se calcula a partir de las medidas colectadas (Lugo García & et.al, 2011).

La Dirección Integrada de Proyectos (DIP) apoyada por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs), ha alcanzado un alto desarrollo en su aplicación a los procesos empresariales, tanto en el ámbito nacional como internacional. Los indicadores derivados de las medidas obtenidas de los procesos de planificación y ejecución de proyectos, asistido por las TICs, pueden ser extensamente utilizados para el control y evaluación del estado en las empresas. Los indicadores más importantes están relacionados con las áreas de conocimiento fundamentales de la dirección de proyectos: costo, tiempo, calidad, logística y rendimiento de los recursos humanos. No es posible

tomar decisiones estratégicas si no se tienen indicadores con su comportamiento (Delgado Victore, 2003) (PMI, 2009).

El análisis de los indicadores debe conllevar a una evaluación final sobre la ejecución del proyecto. Pero los indicadores obtenidos de los procesos de planificación y ejecución de proyectos se originan en muchos casos de los criterios establecidos por seres humanos. Esto implica que exista cierto grado de incertidumbre en las medidas ofrecidas, tanto numéricas como lingüísticas y por tanto la evaluación final contendrá las mismas propiedades (Piñero Pérez, 2010). La lógica borrosa permite representar el conocimiento común, que es mayoritariamente del tipo lingüístico cualitativo y no necesariamente cuantitativo, en un lenguaje matemático a través de la teoría de conjuntos borrosos y funciones características asociadas a ellos (Zadeh, L.A., 1965) (Zadeh, L.A., 1973). Permite trabajar a la vez con datos numéricos y términos lingüísticos. Estos últimos son inherentemente menos precisos que los datos numéricos pero en muchas ocasiones aportan una información más comprensible para el razonamiento humano (Zadeh, L.A., 1994) (Piñero Pérez, 2005).

La industria cubana experimenta dificultades en el desarrollo exitoso de sus proyectos (Castro Ruz, 2010) (Castro Ruz, 2011). Los recientes Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido Comunista de Cuba demandan la urgencia de contar con mecanismos eficientes de control que permitan controlar el estado de los proyectos en las empresas y contribuir a la toma de decisiones (PCC, 2011). Para esto, se necesitan incorporar indicadores de gestión que permitan anticipar una situación desfavorable y tomar medidas para amortiguarla (Fernández Sosa, 2012).

La presente investigación se sitúa en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) de Cuba. Este centro de altos estudios se basa en el concepto de universidad productiva partiendo de la formación y superación de sus estudiantes y trabajadores. Para organizar la producción se ha instaurado una red de centros de desarrollo de *software* que tienen como meta fundamental la creación de productos, servicios y soluciones informáticas. Desde los comienzos del Programa de Mejora¹ de la UCI, se esboza la idea de crear un repositorio centralizado donde se almacenaran las medidas de la producción de *software* de los proyectos productivos de la universidad, con el objetivo fundamental de obtener indicadores para las estimaciones, verificar el cumplimiento de las planificaciones y facilitar la toma de decisiones. Se planteaba la necesidad de la institucionalización de alguna herramienta que permitiera el acopio y almacenamiento de dichas medidas (Lugo García & et.al, 2010).

Una entrevista realizada a especialistas del Centro de Calidad para Soluciones Tecnológicas (CALISOFT) (Jordan Borjas, et al., 2011) arrojó que a finales del año 2009 eran utilizadas en la universidad ocho herramientas para la gestión de proyectos. Del total de proyectos de la universidad, un 2 % empleaba la herramienta Team Foundation Server (MicrosoftTeamFoundation.com, 2011), el 21 % GForce (GForge.org, 2011), mientras que un 16 % Redmine (Lang, 2011) y otro 15 % el Trac

¹ Iniciado en septiembre del 2008, el Programa de Mejora estuvo encaminado a que la universidad alcanzara en el 2011 una certificación internacional del nivel 2 del modelo CMMI. Hecho realidad, la ha convertido en la primera empresa cubana certificada con este modelo y una de las pocas en el área del Caribe.

(Trac.org, 2011). Para Bugzilla (Bugzilla.org, 2011), DotProject (DotProject.net, 2011), Jira (Atlassian.com, 2011) y Microsoft Team System (MicrosoftTeamSystem.com, 2011) se obtenía un 1 % de uso respectivamente. Se reveló además que el 42 % restante de los proyectos no utilizaban ninguna herramienta.

Existía pues la interrogante de cómo cumplir los compromisos productivos desde el enfoque de la gestión de proyectos y las tecnologías que darían soporte al proceso. Ante esta problemática, se encomendó al Laboratorio de Gestión de Proyectos de la universidad la responsabilidad de institucionalizar una única herramienta que permitiera la gestión de los proyectos en la organización. La elección final de dicha herramienta debería tener en cuenta aspectos tales como el cubrimiento de las áreas de conocimiento de la gestión de proyectos, la soberanía tecnológica, seguridad de los datos, así como su extensibilidad y capacidad para brindar ayuda en la toma de decisiones. Luego de un estudio de las alternativas utilizadas por la universidad y de otras herramientas existentes a nivel mundial (Stang, 2010), se decide desarrollar el Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO (Piñero Pérez & et.al, 2010) basado en Redmine y otras herramientas libres propias de la institución. GESPRO en su versión 10.04 se ha institucionalizado como único sistema para que el usuario provea las medidas requeridas por las áreas de conocimiento de la dirección de proyectos, tomando como base los modelos propuestos por el *Project Management Institute* (PMI, 2009) y el *Software Engineering Institute* (SEI, 2010) respectivamente. Está implantado en cada centro de la universidad como solución integral para la gestión de sus proyectos (Piñero Pérez, et al., 2010).

GESPRO 10.04 dispone de un módulo Reportes como utilidad principal para la ayuda en la toma de decisiones. Sin embargo, existen deficiencias al tomar decisiones con ayuda de dicho entorno ya que la información que se brinda sobre el estado de los proyectos no es suficiente para controlar correctamente la ejecución de los mismos. Esto sucede porque de los 24 reportes existentes el 55 % solo muestran información básica sobre la planificación del proyecto (p. ej. fechas de inicio y fin de las tareas, responsables). Un 30 % de los reportes muestran datos relacionados con la distribución y utilización de los recursos humanos, refiriéndose solamente a la membresía de estos usuarios en los proyectos, fichas personales y cantidad de tareas asignadas. Los reportes restantes están dedicados a la evaluación de los recursos humanos partiendo únicamente de la valoración cualitativa otorgada por evaluadores que, por rasgos personales inherentes pueden calificar los resultados obtenidos bajo diferentes criterios. Asimismo, no se muestra información que describa la planificación y utilización del tiempo en los proyectos, todo lo cual incide negativamente en una correcta valoración del rendimiento en los mismos. Se manifiesta la ausencia de reportes que muestren datos relativos a la gestión de costos, calidad y logística. Tampoco es posible conocer la evaluación de la ejecución recibida por los proyectos en un corte partiendo del análisis de las variables que, como costo, tiempo, calidad, logística y rendimiento de los recursos humanos, pudieran incidir sobre este resultado. Además, la información que se deseara recuperar de dicho entorno contendría grados de incertidumbre ya que parte de la valoración y el juicio de seres humanos, elemento que debería ser tomado en cuenta a la hora de procesar y emitir esta información.

Problema

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente se plantea el siguiente problema científico: Las deficiencias para caracterizar el estado de la ejecución de proyectos en cuanto a sus áreas de conocimiento en condiciones de incertidumbre en la información, está afectando la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO.

Objeto de investigación

Enmarcándose el siguiente objeto de la investigación: La ejecución de proyectos en condiciones de incertidumbre.

Objetivo general

Para resolver la problemática se plantea como objetivo general de la investigación: Desarrollar un modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa, que permita mejorar la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO.

Objetivos específicos

- Elaborar un marco teórico sobre el control de la ejecución de proyectos en torno a las áreas de conocimiento de la DIP y técnicas para manejar la incertidumbre en la información.
- Proponer indicadores relacionados con el control del tiempo, costos, calidad, logística y el rendimiento de los recursos humanos.
- Definir sistemas de inferencia borrosos para el cálculo de indicadores que así lo requieran, así como para evaluar la ejecución del proyecto en una fecha de corte.
- Validar la propuesta a través de los resultados obtenidos luego de su aplicación en la versión 12.05 del Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO.

Campo de acción

Control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa.

Tipo de investigación

Descriptiva, donde se cuenta con el suficiente conocimiento precedente acerca del problema como para plantear una hipótesis a nivel descriptivo. La representación del problema es clara en lo referente a la caracterización del fenómeno en sus aspectos externos. Como objetivo de la investigación se encuentra establecer las caracterizaciones estructurales y funcionales, así como las correlaciones y clasificaciones (Hernández León & Coello González, 2002). Se persigue la definición, el cálculo automático de indicadores, así como de métodos de evaluación basado en lógica borrosa tanto para el cálculo de indicadores como para la valoración cualitativa del proyecto, con el fin de especificar las propiedades más importantes que coinciden en los resultados alcanzados por los proyectos.

Hipótesis

Si se desarrolla un modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa, entonces mejorará la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO.

Operacionalización de las variables

Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Índice
Modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa	Indicadores definidos	Facilidad de cálculo	Alta - (3)
			Media - (2)
			Baja - (1)
		Comprensibilidad	Alta - (3)
			Media - (2)
			Baja - (1)
		Confiabilidad	Alta - (3)
			Media - (2)
			Baja - (1)
	Método de evaluación de la ejecución	Áreas de conocimiento	% de cubrimiento
		Mecanismo de recolección de datos	(Automático (3) /Semi-Automático (2)/Manual (1))
		Utiliza indicadores	(Sí/No)
		Tipo de procesamiento	(Automático (3) /Semi-Automático (2)/Manual (1))
Tiempo de respuesta		Horas	
Tolerancia a la incertidumbre		(Sí/No)	
Mecanismo de generación de reportes		(Automático (4) /Semi-Automático (3) /Manual (2)/No tiene (1))	
Variable Dependiente	Dimensión	Indicador	Índice
Capacidad de ayuda a la toma de decisiones	Áreas de conocimiento	Reportes	Cantidad (U)
		Uso de indicadores	Sí o No
		Utilización de gráficos	Sí o No
	Usabilidad	Tiempo para generar informes de estado del proyecto	No se conoce (5)
			Más de 8 horas (4)
			1 - 8 horas (3)
			10 - 20 Minutos (2)
			20 - 50 Segundos (1)
		Nivel de subjetividad del informe para evaluar el proyecto	No se conoce (4)
			Alto - (3)
			Medio - (2)
		Tiempo para evaluar el estado del proyecto	Bajo - (1)
			No se conoce (5)
			Más de 8 horas (4)
			1 - 8 horas (3)
10 - 20 Minutos (2)			
20 - 50 Segundos (1)			

Población

Los escenarios para la toma de decisiones donde está implantado GESPRO (19 centros productivos de la UCI).

Muestra

El 60% de los escenarios descritos, correspondiente a 11 de los centros productivos (método no probabilístico intencional).

Diseño de experimentos

Se realizará un pre experimento con pre y post prueba con un solo grupo. El diseño se diagrama de la siguiente manera:

G O_1 X O_2

Descripción de las variables

G: Grupo de experimentación compuesto por los 11 centros de la UCI.

O_1 : Observación de la capacidad de ayuda a la toma de decisiones del sistema.

X: Aplicación de la propuesta al grupo de experimentación a través del despliegue de la versión 12.05 de GESPRO.

O_2 : Observación después de aplicar la propuesta a través del despliegue de la versión 12.05 de GESPRO.

Análisis estadístico a realizar

Test de Wilcoxon para comparar dos muestras relacionadas. En esta investigación las muestras son los resultados de comparar los indicadores de usabilidad establecidos para la variable dependiente en los centros de la UCI donde está desplegado GESPRO antes y después del despliegue (SPSS-Inc, 2004).

Instrumentos

Herramienta pgadminIII (PostgreSQL Global Development Group, 2011); matriz de comparación de funcionalidades para herramientas de gestión de proyectos (Soporte Digital), entrevistas y encuestas.

Novedad

La aplicación de sistemas de inferencia borrosos en herramientas de gestión de proyectos para el cálculo de indicadores y la evaluación de la ejecución de proyectos.

Aporte práctico de la investigación

La propuesta y aplicación en GESPRO 12.05 de:

- ✓ Ocho indicadores relacionados con las áreas de conocimiento de la gestión de proyectos: tiempo, costos, calidad, logística y rendimiento de los RRHH.
- ✓ Un sistema de inferencia borroso de tipo Mamdani para el cálculo de indicadores de calidad, logística y rendimiento de los RRHH.
- ✓ Un sistema de inferencia borroso para la evaluación de la ejecución del proyecto en una fecha de corte.

Listado de publicaciones, eventos y avales de la investigación

1. **Lugo García, J. A.**; García Pérez, A. M. (2009). Herramienta para la Construcción de Líneas Base. Informática 2009 - IV Taller de Calidad en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. La Habana. Cuba.
2. **Lugo García, J. A.**; García Pérez, A. M.; Delgado Martínez, R. (2009). Gestión de indicadores en proyectos de software. Perspectivas actuales y futuras. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, Cuba. Vol.3, No. 3-4.
3. Torres Aguiar, L.; Milián Iglesias, R.; **Lugo García, J.A.** (2009). Paquete de herramientas para la extracción automática de métricas a partir de elementos de configuración del software. La Habana, Cuba: Universidad de las Ciencias Informáticas. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas.
4. **Lugo García, J. A.**; García Pérez, A. M. (2009). Sistema de Gestión de Indicadores de Productividad v 0.1 (SGIP). Cuba, Patente nº 2243-2009.
5. **Lugo García, J. A.**; Rodríguez Brito, D. (2010). Repositorio Central de Medición y Análisis para la Universidad de Ciencias Informáticas. UCIENCIA 2010 - IV Taller de Ingeniería, Arquitectura y Gestión de Software. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.
6. Piñero Pérez, P. Y.; Torres López, S.; Pestano Pino, H; **Lugo García, J. A.** & et al. (2010). Paquete para la Dirección Integrada de Proyectos GESPRO. V Taller Nuevas Tecnologías del MININT. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.
7. **Lugo García, J. A.**; García Pérez, A. M. (2011). SVNStatBash: Colección automática de medidas en entornos de gestión de proyectos de software. Informática 2011 - V Taller de Calidad en las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. La Habana. Cuba.
8. Piñero Pérez, P. Y.; Pestano Pino, H.; Vázquez Acosta, M.; Abelardo Santana, F.N.; **Lugo García, J. A.** & et al. (2011). Experiencias en el uso de PostgreSQL en el sistema GESPRO, un enfoque práctico. PGDay 2011, Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.
9. **Lugo García, J. A.**; García Pérez, A. M. (2011). Colección Automática de Métricas hacia un Repositorio de Mediciones. Revista Facultad Ingeniería Universidad Antioquia, Colombia. No. 58, pp. 199-207.
10. Piñero Pérez, P. Y.; Pestano Pino, H.; Vázquez Acosta, M.; Abelardo Santana, F.N.; **Lugo García, J. A.** & et al. (2011). Experiencias en el uso de PostgreSQL en el sistema GESPRO, un enfoque práctico. Revista Cubana de Ciencias Informáticas, Cuba. Vol.5, No. 1.
11. Calzado Mosqueda, M.; Moyares Norchales, Y.; Vigoa Machín, L.; **Lugo García, J.A.** (2011). Propuesta de indicadores para el proceso de Vigilancia Tecnológica en el Centro de Tecnologías para la Formación. La Habana, Cuba: Universidad de las Ciencias Informáticas. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas.
12. **Lugo García, J. A.** & et al. (2011). Paquete de indicadores para la dirección integrada de proyectos. Aplicación en la gestión de proyectos de software. Santa Clara: COMPUMAT, Sociedad Cubana de Matemática y Computación.
13. Piñero Pérez, P. Y.; Torres López, S.; Vázquez Acosta, M.; Pestano Pino, H.; González Jorrín, M.; Izquierdo Matías, M.; **Lugo García, J. A.** & et al. (2011). GESPRO 11.05: Un sistema para la

dirección integrada de proyectos para la gestión de la producción. Santa Clara: COMPUMAT, Sociedad Cubana de Matemática y Computación.

14. **Lugo García, J. A.** & et al. (2012). Indicadores para el control y evaluación de proyectos en la herramienta GESPRO 11.05. UCIENCIA 2012 - II Taller de Gestión de Proyectos. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.
15. Maure Díaz, Y.; Delgado Victore, R.; **Lugo García, J. A.** & et al. (2012). El proceso logístico en la dirección integrada de proyectos con GESPRO 11.05. UCIENCIA 2012 - II Taller de Gestión de Proyectos. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.
16. Piñero Pérez, P. Y.; Torres López, S.; **Lugo García, J. A.** & et al. (2012). Paquete de Servicios para la Dirección Integrada de Proyectos, Suite GESPRO 12.05. Fórum de Ciencia y Técnica. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana. Cuba.

Estructura de la tesis

En el **Capítulo 1** se elabora un marco teórico sobre el control de la ejecución de proyectos en torno a las áreas de conocimiento de la DIP y técnicas para manejar la incertidumbre en la información. Se demuestran de esta manera las bases teóricas necesarias y la actualidad de la temática que permitirán comprender la necesidad de desarrollar la propuesta.

En el **Capítulo 2** se presenta el modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa. En este se proponen ocho indicadores relacionados con las áreas de conocimiento fundamentales de la gestión de proyectos: tiempo, costo, calidad, logística, rendimiento de los recursos humanos. También se presentan métodos de inferencia borrosos para el cálculo de indicadores y la evaluación de la ejecución del proyecto en una fecha de corte.

En el **Capítulo 3** se muestra una síntesis de la aplicación del modelo en la versión 12.05 de la herramienta GESPRO, validándose la propuesta a través de los resultados obtenidos. Para esto, se analizan las encuestas aplicadas así como comparaciones antes y después de aplicado el modelo sobre la propia herramienta.

Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO 1: TENDENCIAS EN EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS

El desarrollo social, la comercialización y los negocios se vuelven cada día más competitivos, exigen mayor calidad en el diseño y control de la ejecución de los proyectos y reclaman el uso de las TICs para garantizar una mayor efectividad en la Dirección Integrada de Proyectos, asociada al desarrollo social, el proceso inversionista, el perfeccionamiento empresarial, los mantenimientos, los servicios y la innovación tecnológica, con el objetivo de satisfacer las necesidades siempre crecientes del desarrollo social (Delgado Victore & et.al, 2011). Dado el constante incremento de la complejidad para manejar la información relacionada con la gestión de proyectos, se hace imprescindible el empleo de normas, metodologías y herramientas que hagan más simple este trabajo.

En el presente capítulo se abordan estas cuestiones mediante una vista a las diferentes escuelas por regiones geográficas, profundizándose en las tendencias sobre el control de la ejecución de proyectos que abarca el tema del uso de indicadores, métodos de evaluación en torno a las áreas de conocimiento de la DIP y técnicas para manejar la incertidumbre en la información. Se muestra además un estudio comparativo de las herramientas de gestión de proyectos existentes y las corrientes actuales de la toma de decisiones en esta área. En cada tópico se enuncian conclusiones parciales señalando ventajas y limitaciones. Finalmente se discuten las conclusiones del capítulo.

1.1 Análisis bibliométrico

Como paso inicial se realizó un análisis bibliométrico (ver Tabla 1) relacionado con el tema de la investigación. Para la búsqueda de información se consultaron las bases de datos de la IEEE y SCOPUS. Se utilizaron las herramientas Scirus (Elsevier, 2012) y Scimago (Scimago Lab, 2012).

Tabla 1. Análisis bibliométrico (del autor).

-Tipo de publicación-	-Últimos 5 años-	-Años anteriores-
Libros y monografías	5	9
Tesis de doctorados	5	2
Tesis de maestrías	1	1
Artículos de Revistas Indexadas	8	4
Memorias de eventos	6	1
Artículos publicados en la web	12	0
Reportes técnicos y conferencias	4	2
Entrevistas personales	6	0

El uso de indicadores para la evaluación de proyectos es un tema ampliamente abordado en diversas formas de literatura. De aquí que la mayoría de los libros, tesis y artículos de revistas o memorias de eventos consultados sobre el tema resultaron ser de años anteriores al 2007. La bibliografía más reciente (últimos cinco años) se reporta en el epígrafe 1.3, que aborda la temática sobre las corrientes actuales en la toma de decisiones para la DIP.

1.2 Escuelas de la gestión de proyectos

Las escuelas están constituidas por aquellas normas, buenas prácticas o metodologías más representativas en torno a la gestión de proyectos. Pueden estar enmarcadas tanto en el plano internacional, nacional, como en la propia institución donde se desarrolla el presente trabajo.

1.2.1 Normas ISO 10006:2003 y 21500 (América del Norte y Europa)

La ISO 10006:2003 (ISO, 2003) proporciona orientación sobre la aplicación de la gestión de la calidad en la administración de proyectos. Es aplicable a los proyectos de distinta complejidad, grandes o pequeños, de corta o larga duración, en diferentes ambientes, y con independencia del tipo de producto o proceso en cuestión. La norma no es una guía para la gestión de proyectos, así como tampoco puede ser utilizada con propósitos de certificación de empresas o entidades, siendo utilizada para estos fines la norma ISO 9004.

La ISO 10006 en su sección 5.2.8 establece que las evaluaciones de rendimiento y progreso deben ser llevadas a cabo con motivo de evaluar el estado del proyecto. Para lograrlo se debe analizar la información partiendo del análisis del rendimiento y progreso histórico de dichas evaluaciones para tomar decisiones eficaces en relación con el proyecto y para revisar el plan de gestión del mismo. Por otro lado, en la sección 7.2.2 “Inicio y desarrollo del plan de proyecto”, expone un acápite donde menciona la necesidad de definir indicadores de rendimiento, cómo medirlos y adoptar disposiciones para su evaluación periódica con el fin de monitorear el progreso. De esta manera, señala, se deben facilitar las acciones preventivas, correctivas y confirmar que los objetivos del proyecto permanecen válidos dentro del cambiante entorno que le rodea. Entre los indicadores sugeridos para el control, la norma ISO 10006 propone la aplicación de la técnica del valor ganado, el monitoreo de los costos, el cronograma y los riesgos, la evaluación del rendimiento de los proveedores, así como la satisfacción del cliente y las partes interesadas.

Por su parte la norma ISO 21500 ha venido desarrollándose desde el año 2008 con el propósito de lograr una guía para la gestión de proyectos (LiderDeProyecto.com, 2011). La misma parte del esfuerzo fundamental de tres naciones: Estados Unidos, Reino Unido y Alemania, por medio de tres asociaciones muy reconocidas como lo son el *Project Management Institute* (PMI, 2009) ; *Projects in Controlled Enviroments* (PRINCE2, 2009) y *The International Project Management Association* (IPMA, 2012). En el sitio web de la ISO (ISO21500.org, 2011), aparece el borrador de esta norma con fecha de publicación 2011-09-06 que por motivos económicos no ha sido posible obtener para examinar en esta investigación.

Del análisis de este tipo de normas se puede señalar que reconocen la importancia del empleo de indicadores en la gestión de proyectos. Plantean sus beneficios de forma explícita e intentan promover el papel que tienen los indicadores para asegurar la calidad durante el ciclo de administración y monitoreo. Asimismo hacen referencia a la importancia de evaluar el proyecto partiendo del análisis de la información que caracteriza el estado del mismo. Como normas, proponen buenas prácticas mas no presentan propuestas concretas que pudieran ser aplicadas en entornos genéricos.

1.2.2 Project Management Body of Knowledge – PMBOK (América del Norte)

Desarrollado por el *Project Management Institute*, el *Project Management Body of Knowledge* (PMI, 2009), conocido por sus siglas en inglés PMBOK, constituye un estándar en la administración de proyectos. El mismo está compuesto por cinco grupos básicos de procesos: Iniciación, Planificación, Ejecución, Seguimiento y Control y Cierre. Estos grupos cuentan a su vez con procesos internos los cuales establecen una metodología a seguir por los administradores de proyecto.

Dentro de sus procesos, el PMBOK en su versión del año 2009 establece la necesidad de realizar control sobre las diferentes áreas de conocimiento que define como: Integración, Alcance, Tiempo, Costo, Calidad, Recursos Humanos, Comunicaciones, Riesgos y Adquisiciones. Entre las técnicas para para efectuar este control propone el uso de indicadores en algunas áreas de conocimiento (ver Tabla 2)

Tabla 2. Indicadores propuestos en el PMBOK por áreas de conocimiento (del autor).

-Área de Conocimiento-	-Indicador-	-Definición-
Alcance	Variación del alcance	$\frac{\text{Desempeño Técnico Planificado}}{\text{Desempeño Técnico Real}}$
Calidad	Defectos encontrados	$\frac{\text{Defectos encontrados}}{\text{Límites establecidos}}$
	Índice de puntualidad	-
	Control de presupuesto	-
	Frecuencia de defectos	-
	Índice de Fallos	-
	Disponibilidad	-
	Fiabilidad	-
Costo	Cobertura de las pruebas	-
	Línea base del desempeño de Costos	$BAC = \sum_{i=1}^n \text{Presupuesto}(i)$
	Valor Planificado	$PV = \sum_{i=1}^n \text{Costo_Plan_Actividad}(i)$
	Costo Real	$AC = \sum_{i=1}^n \text{Costo_Real_Actividad}(i)$
	Valor Ganado	$EV = \% \text{ real Actividad } i * PV / 100$
	Variación de Costos	$CV = EV - AC$
Tiempo	Índice de Rendimiento de Costos	$CPI = EV/AC$
	Variación del Programa	$SV = EV - PV$
	Índice de Rendimiento del Programa	$SPI = EV/PV$

PMBOK aborda el tema de las evaluaciones enfocado principalmente a dos aristas: equipo y proyecto. Según esta guía, el desempeño de un equipo exitoso se mide en términos del éxito técnico conforme a los objetivos acordados del proyecto, de desempeño según el cronograma del proyecto (finalizado en el plazo requerido) y de desempeño según el presupuesto (finalizado dentro de las restricciones financieras). Como conclusión, establece que un equipo de alto desempeño se caracteriza por un funcionamiento orientado a las tareas y a los resultados.

Por otra parte, PMBOK señala que los objetivos de realizar evaluaciones durante el transcurso de un proyecto pueden incluir la evaluación del desempeño de roles y responsabilidades, proporcionar una retroalimentación constructiva a los miembros del equipo, descubrir problemas desconocidos o no resueltos, desarrollar planes de capacitación individuales y establecer objetivos específicos para futuros períodos. La necesidad de efectuar evaluaciones formales o informales del desempeño del proyecto depende de la duración del proyecto, de su complejidad, de la política de la organización, los requisitos, los contratos de trabajo y el volumen y la calidad de las comunicaciones regulares.

Del análisis de la guía del PMBOK se puede observar que los indicadores se utilizan como mecanismo de control en ciertas áreas de conocimiento. Para ello, define en algunos casos la fórmula de cálculo del indicador, pero en otros se carece de la misma, quedándose solamente en la formulación verbal, lo cual provoca dudas y debilidades al modelo. Sobre la evaluación, enfoca su área de atención al rendimiento de los recursos humanos y del proyecto de modo general, dirigiendo su procedimiento a acciones verbales que se establecen de forma genérica volviendo muy engorrosa su aplicación a entornos reales y específicos de gestión de proyectos.

1.2.3 *Capability Maturity Model Integration* – CMMI (América del Norte)

Desarrollado por el *Software Engineering Institute*, el Modelo de Madurez y Capacidad Integrado, conocido por CMMI (SEI, 2010), es un modelo para la mejora y evaluación de procesos para el desarrollo, mantenimiento y operación de sistemas de *software*. Las mejores prácticas de CMMI se publican en tres documentos llamados “modelos”, los cuales están dirigidos a las áreas de Desarrollo, Adquisición y Servicios. CMMI para Desarrollo propone cinco niveles de madurez, distribuidos entre: 1- Inicial, 2- Administrado, 3- Definido, 4- Administrado cuantitativamente y 5- Optimizado. El modelo otorga por defecto el nivel 1 para cada organización que desea obtener una certificación de este tipo. El nivel 1 está caracterizado por el estado caótico de los procesos de desarrollo, donde los proyectos ejecutan sus actividades de manera empírica y bajo el principio del apaga fuegos.

Es razonable pensar por tanto, que alcanzar los niveles sucesivos de este modelo requiere de un nivel de especialización superior y para esto requiere del compromiso de la alta gerencia la cual, en definitiva, es la que debe promover el comienzo del uso de nuevas y más ordenadas prácticas en torno a la producción del *software*. En este sentido, CMMI define 16 áreas de proceso claves repartidas entre los cinco niveles mencionados anteriormente. En la Tabla 3 se observa la relación entre las áreas establecidas, objetivo y nivel de madurez asociado.

Tabla 3. Áreas de proceso claves definidas en CMMI (del autor).

-Abreviatura (En Inglés)-	-Nombre-	-Objetivo-	-Nivel de Madurez-
CM	Gestión de la Configuración	Soporte	2
MA	Medición y Análisis	Soporte	2
PMC	Monitoreo y Control del Proyecto	Gestión del Proyecto	2
PP	Planeación del Proyecto	Gestión del Proyecto	2
PPQA	Aseguramiento de la Calidad del Proceso y Producto	Soporte	2

<i>REQM</i>	Administración de Requerimientos	Gestión del Proyecto	2
<i>SAM</i>	Administración de Acuerdos y de Proveedores	Gestión del Proyecto	2
<i>DAR</i>	Análisis y Resolución de Decisiones	Soporte	3
<i>IPM</i>	Dirección Integrada de Proyectos	Gestión del Proyecto	3
<i>OPD</i>	Definición de Procesos de la Organización	Gestión de Procesos	3
<i>OPF</i>	Enfoque de Procesos de la Organización	Gestión de Procesos	3
<i>OT</i>	Entrenamiento Organizacional	Gestión de Procesos	3
<i>RSKM</i>	Administración de Riesgos	Gestión del Proyecto	3
<i>OPP</i>	Rendimiento de los Procesos de la Organización	Gestión de Procesos	4
<i>QPM</i>	Administración Cuantitativa de Proyecto	Gestión del Proyecto	4
<i>CAR</i>	Análisis Causal y Resolución	Soporte	5
<i>OPM</i>	Administración del Rendimiento Organizacional	Soporte	5

Un análisis de la información contenida en la tabla, muestra que CMMI enfoca las actividades relacionadas con la gestión de proyectos entre los niveles 2, 3 y 4, pero sobre todo en las de nivel 2. En este sentido cabe señalar a Medición y Análisis (MA), Monitoreo y Control del Proyecto (PMC), Planeación del Proyecto (PP) y Aseguramiento de la Calidad del Proceso y Producto (PPQA), como las áreas de proceso donde más se hace alusión a la necesidad del uso de métricas e indicadores para controlar los procesos de desarrollo del *software*. Estas áreas enfocan su contenido a describir los pasos necesarios para lograr conformar satisfactoriamente los procesos relacionados con una buena administración de proyectos donde el uso y establecimiento de métricas da al traste con los objetivos de la organización y su control y evaluación.

En niveles superiores, las áreas de proceso que más se relacionan con indicadores y métricas son las referidas a Dirección Integrada de Proyectos (*IPM*) del nivel 3 y Administración Cuantitativa del Proyecto (*QPM*), del nivel 4, donde de igual manera centran su contenido en describir las actividades necesarias para dar cumplimiento a los requerimientos de dichas áreas.

Como elemento interesante, cabe señalar que CMMI reconoce que las evaluaciones del proceso y el producto deben obtenerse a partir del análisis e interpretación de las medidas, métricas e indicadores que se definan para la organización. Muestra de esta afirmación se puede ver en la descripción de los procesos de *PPQA*, *DAR*, *RSKM*, *IPM* y *SAM*.

Del análisis de CMMI se puede observar que el modelo hace alusión al establecimiento y monitoreo de métricas (de las cuales son derivables indicadores) y cómo éstas se pueden utilizar para dar control, seguimiento y evaluación al proceso y el producto de *software*. No obstante se ha visto cómo este modelo se enfoca a la descripción verbal de procesos y no define indicadores específicos y/o métodos concretos para la evaluación de la ejecución de proyectos a partir de indicadores.

1.2.4 *Personal Software Process (PSP)* y *Team Software Process (TSP)* (América del Norte)

El Proceso de *Software* Personal o PSP (Humphrey, 2000) como se le conoce por sus siglas en inglés, constituye un conjunto de buenas prácticas relacionadas con la disciplina en cuanto a la gestión del tiempo. Propuesto por Watts Humphrey en el año 1995, PSP estaba dirigido en sus inicios a estudiantes de ingeniería de *software* con el objetivo fundamental de elevar su productividad partiendo del registro de sus actividades personales y productivas. Actualmente está dirigido a ingenieros novatos que se inician en el mundo de los negocios informáticos, para los que el autor propone su libro escrito (Humphrey, 1996) como guía práctica. Como ideas fundamentales dentro de la gestión del tiempo se plantean la necesidad de la correcta planeación del proceso de desarrollo y del proyecto que realizará el producto. Hace énfasis además en la utilización de técnicas como el valor ganado para efectuar el control y seguimiento en los procesos de desarrollo, el registro de defectos, la revisión de código fuente mediante listas de chequeo y el aseguramiento de la calidad a través de métodos de prueba y buenas prácticas en sentido general.

Actualmente PSP está alineado y diseñado para utilizarse en empresas con intenciones de seguir sus procesos productivos orientados a las prácticas declaradas por CMMI o con perspectiva de ser evaluadas según la norma ISO/IEC 15504:2004.

PSP enfoca el control hacia la calidad, haciendo especial énfasis en los defectos. Para PSP, las principales medidas de calidad que se definen claramente en (Humphrey, 2000) son:

- Densidad de defectos.
- Capacidad de revisión.
- Media de tiempos de desarrollo.
- Proporción de defectos.
- Rendimiento.
- Defectos por hora.
- Impacto en la eliminación de defectos.
- Evaluación de la relación de fallos.

Por otra parte, el Proceso de *Software* en Equipo o TSP (Humphrey, 2000), como se le conoce por sus siglas en inglés, sigue las estrategias de calidad planteadas por Deming (Deming, 1982) y Juran (Juran & Gryna, 1988). Está diseñado para equipos de dos a veinte miembros, aunque en su enfoque multi-equipo alcanza a definir bien los procesos a seguir para gestionar las actividades de hasta 150 miembros. Al igual que PSP, TSP está alineado y diseñado para utilizarse en empresas con intenciones de seguir sus procesos productivos orientados a las prácticas declaradas por CMMI o con perspectiva de ser evaluadas según la norma ISO/IEC 15504:2004. Como requisito para el uso de TSP, se recomienda que el ingeniero haya tenido una preparación previa sobre PSP y para que el proceso fluya de manera adecuada, el líder del equipo debe ser un miembro con experiencia. TSP define las características que deben tener los equipos efectivos, enfocándose en la motivación, la disciplina y

disponer de los recursos adecuados para el trabajo. De igual forma TSP insiste en el control y evaluación de la calidad a través de un conjunto de métricas (ver Figura 1).

Measure	Goal	Comments
Percent Defect Free (PDF)		
Compile	> 10%	
Unit Test	> 50%	
Integration Test	> 70%	
System Test	> 90%	
Defects/KLOC:		
Total defects injected	75 - 150	If not PSP trained, use 100 to 200.
Compile	< 10	All defects
Unit Test	< 5	All major defects (in source LOC)
Integration Test	< 0.5	All major defects (in source LOC)
System Test	< 0.2	All major defects (in source LOC)
Defect Ratios		
Detailed design review defects /unit test defects	> 2.0	All major defects (in source LOC)
Code review defects/compile defects	> 2.0	All major defects (in source LOC)
Development Time Ratios		
Requirements inspection/requirements time	> 0.25	Elicitation in requirements time
High-level design inspection/high-level design time	> 0.5	Design work only, not studies
Detailed design/coding time	> 1.00	
Detailed design review/detailed design time	> 0.5	
Code review/code time	> 0.5	
Review and Inspection Rates		
Requirements pages/hour	< 2	Single-spaced text pages
High-level design pages/hour	< 5	Formatted design logic
Detailed design text lines/hour	< 100	Pseudocode ~ equal to 3 LOC
Code LOC/hour	< 200	Logical LOC
Defect Injection and Removal Rates		
Requirements defects injected/hour	0.25	Only major defects
Requirements inspection defects removed/hour	0.5	Only major defects
High-level design defects injected/hour	0.25	Only major defects
High-level design inspection defects removed/hour	0.5	Only major defects
Detailed design defects injected/hour	0.75	Only design defects
Detailed design review defects removed/hour	1.5	Only design defects
Detailed design inspection defects removed/hour	0.5	Only design defects
Code defects injected/hour	2.0	All defects
Code review defects removed/hour	4.0	All defects in source LOC
Compile defects injected/hour	0.3	Any defects
Code inspection defects removed/hour	1.0	All defects in source LOC
Unit test defects injected/hour	0.067	Any defects
Phase Yields		
Team requirements inspections	~ 70%	Not counting editorial comments
Design reviews and inspections	~ 70%	Using state analysis, trace tables
Code reviews and inspections	~ 70%	Using personal checklists
Compiling	~ 50%	90+ % of syntax defects
Unit test - at 5 or less defects/KLOC	~ 90%	For high defects/KLOC - 50-75%
Integration and system test - at < 1.0 defects/KLOC	~ 80%	For high defects/KLOC - 30-65%
Before compile	>75%	Assuming sound design methods
Before unit test	> 85%	Assuming logic checks in reviews
Before integration test	> 97.5%	For small products, 1 defect max.
Before system test	> 99%	For small products, 1 defect max.

Figura 1. Métricas de calidad definidas por TSP para evaluar la productividad de los equipos (Humphrey, 2000).

Del análisis de PSP y TSP se puede enunciar que si bien ambos modelos incluyen reconocidas técnicas para el asentamiento de una base de información útil en la obtención de indicadores relacionados con proyectos de *software*, requiere de mucho esfuerzo por parte del ingeniero para lograr llevar a cabo el control necesario de sí mismo y del equipo respectivamente. Sobre este enfoque de recolección manual de métricas, autores como (Lugo García & et.al, 2009) (Lugo García, 2011) exponen trabajos sobre las tendencias que han ido desarrollándose en los últimos tiempos y cómo deberían controlarse los procesos productivos de forma no invasiva para no consumir gran parte del tiempo de desarrollo de los ingenieros en el registro de sus actividades.

1.2.5 *International Project Management Association* – IPMA (América del Norte y Europa)

La Asociación Internacional de Administración de Proyectos, más conocida por IPMA por sus siglas en inglés, es una federación sin ánimos de lucro dedicada a la promoción de buenas prácticas en torno a la gestión de proyectos. Está compuesta por alrededor de 55 asociaciones miembro de diferentes países del mundo sobre todo América del Norte y Europa (IPMA, 2012). IPMA provee estándares y establece guías para el trabajo de profesionales dedicados a la gestión de proyectos a través de su línea base de competencias, *IPMA Competence BaseLine* (ICB).

IPMA establece que las diferencias culturales nacionales deben estar establecidas en la Línea Base de Competencias Nacionales (NCB). Para esto IPMA ofrece en su sitio web enlaces a las mejores prácticas establecidas por especialistas dependiendo de la región donde se desempeñe el profesional de gestión de proyectos, haciendo un llamado a que cada una de la bibliografía existente se mantenga actualizada acorde a las más recientes tendencias. Entre las regiones más cercanas a nuestro país tenemos el caso de la *American Society for the Advancement of Project Management* (ASAPM) de Estados Unidos donde se listan una serie de publicaciones actuales sobre buenas prácticas y tendencias en la gestión de proyectos en la región (ver Figura 2).

Membership Certification Standards Education Media & Magazine Young Crew

asapm Book Reviews

asapm encourages you to maintain your edge by staying up to date. See our book reviews, below:

- [The Project Management Answer Book](#), by Jeff Furman. Published by Management Concepts, Inc. 2011. Reviewed by James R. Brady, PhD, MPA, MEd.
- [Project Team Dynamics: Enhancing Performance, Improving Results](#), by Lisa DiTullio. Published by Management Concepts, Inc. Reviewed by James R. Brady, PhD, MPA, MEd.
- [Project Management Fundamentals: Key Concepts and Methodology](#) (2nd Edition, 2011) by Gregory T. Haugan, PhD, PMP. Published by Management Concepts, Inc. Reviewed By: James R. Brady, PhD, MPA, MEd.
- [The Checklist Manifesto](#), by Atul Gawande (book and Audio). Reviewed by Rose M. Johnston.
- [Blue Ocean Strategy: How to Create Uncontested Market Space and Make the Competition Irrelevant](#), by W. Chan Kim and Renee Mauborgne. Reviewed By: James R. Brady, PhD, MPA, MEd.
- [The Global Consultant: How to Make Seven Figures Across Borders](#), by Alan Weiss and Omar Khan. Reviewed By: James R. Brady, PhD, MPA, MEd. International Development Consultant (Org. Systems).
- [The Fast Forward MBA in Project Management, 3rd Ed.](#), by Eric Verzuh. Reviewed By: James R. Brady, PhD, MPA, MEd. International Development Consultant (Org. Systems).
- [Project Governance: A practical guide to effective project decision making](#), by Ross Garland. Review by Dr. Lew Ireland.
- These four Book Reviews are from Dr. Gary Klein's classes in the MBA program, OPTM 639 - Managing Projects for Competitive Advantage, and OPTM 669 - Bridging Strategy and Tactics in Project Management, at University of Colorado, Colorado Springs. Thanks Gary!
[The Business Savvy Project Manager](#), review by Krish Soundararajan
[Fundamentals of Project Management, 3rd edition](#); review by John Guarniere
[The Leadership Dojo](#), review by Philip L. Jacobsen
[Accelerated Project Management, "How to be First to Market"](#); review by Neil S. Moysenko
- [Napoleon on Project Management](#), Timeless Lessons in Planning, Execution and Leadership; by Jerry Manas; Review by Stacy Goff
- [Managing Projects: Large and Small](#), by Richard Lueke; Subject Advisor: Robert D. Austin; Review by James R. Brady
- [Managing Projects: Expert Solutions to Everyday Challenges](#), Mary Grace Duffy, Ed. D.; Review by James R. Brady
- [Churchill's Adaptive Enterprise, Lessons for Business Today](#), by Mark Kozak-Holland; Review by Stacy Goff
- [Earned Value Project Management, Third Edition](#), by Quentin W. Fleming and Joel M. Koppelman. Review by Ed Fern

Figura 2. Publicaciones en el campo de indicadores y toma de decisiones en gestión de proyectos disponibles en la Línea Base de Competencias Nacionales de la ASAPM (ASAPM, 2012).

A partir del análisis de la información disponible en IPMA, se puede señalar que el objetivo de esta organización es fomentar las buenas prácticas en torno a la gestión de proyectos, empleando para ello los métodos más novedosos o con mejores resultados en esta rama. Constituye más que todo una excelente herramienta para mantenerse informado sobre las líneas de investigación que se siguen en el mundo sobre la gestión de proyectos dentro de las cuales se fomentan técnicas reconocidas de control y seguimiento basada en indicadores como la del valor ganado propuesta a su vez en el PMBOK. Como inconvenientes cabe destacar que mucha de esta valiosa literatura no se encuentra de manera libre, y para acceder a ella el usuario necesita registrarse en sitios de internet con cuotas de pago, o simplemente efectuar la compra del artículo o libro igualmente en los sitios *online* de compra/venta que existen en internet como Amazon, eBay, etc. En otros casos existen sitios que no son accesibles desde Cuba por la limitante del bloqueo económico.

1.2.6 *Projects in Controlled Environments* – PRINCE2 (Europa)

La metodología de Proyectos en Entornos Controlados, más conocida por PRINCE2 por sus siglas en inglés, es un conjunto de buenas prácticas en torno a la gestión de proyectos, que cubre el control, administración y organización de proyectos. Fue un estándar creado inicialmente para la gestión de proyectos en el Reino Unido aunque su uso se está extendiendo en los países de la Mancomunidad Británica de Naciones y de forma más discreta en el resto de Europa (Fernández Ramírez, 2012).

Según (Fernández Ramírez, 2012), la actual versión de PRINCE2 (PRINCE2, 2009) está estructurada en tres partes fundamentales: temas, procesos y técnicas. Los temas son áreas de conocimiento que deben aplicarse al proyecto cuando corresponda, siendo implementados mediante los procesos, que son los elementos que explican qué debe ocurrir y cuándo a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Las técnicas ofrecidas son métodos de trabajo de uso opcional pero muy recomendable. De manera general, la estructura propuesta por esta metodología es la que se muestra en la Figura 3.

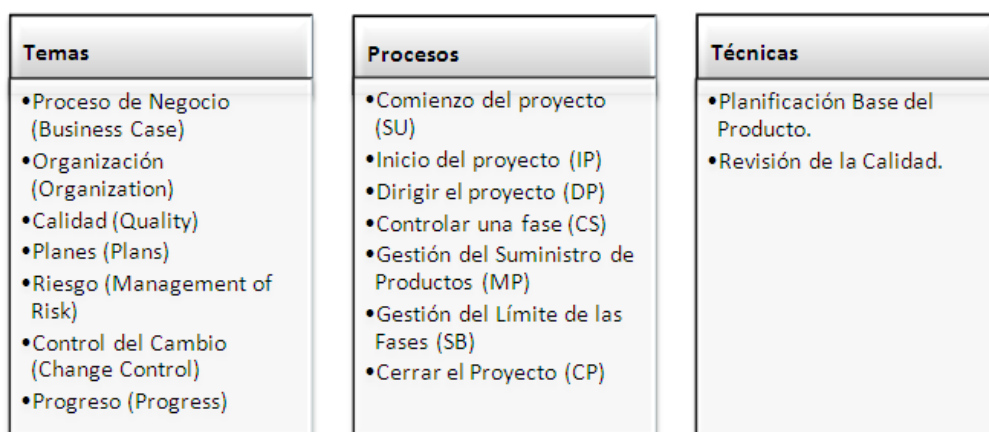


Figura 3. Estructura general de la metodología PRINCE2 (PRINCE2, 2009).

PRINCE2 maneja además el concepto de roles, y define los siguientes:

- ✓ Consejo/Junta Directiva (*Project Board*).
- ✓ Usuario Representativo (*Senior User*).
- ✓ Director Ejecutivo (*Executive*).
- ✓ Suministrador/Proveedor Representativo (*Senior Supplier*).

- ✓ Jefe de Proyecto (*Project Manager*).
- ✓ Jefe de Equipo (*Team Manager*).
- ✓ Responsable de Garantía (*Project Assurance*).
- ✓ Responsable de Soporte (*Project Support*).

Como elemento interesante cabe destacar que PRINCE2 señala que cuando el trabajo no marcha acorde con el plan, el Jefe de Proyecto debe ejercer control sobre los problemas. Ya sea tomando acciones correctivas o implementando medidas para mejorar el rendimiento, el propósito de PRINCE2 es tomar la información disponible, en el momento apropiado de las personas apropiadas para tomar las decisiones correctas. Para esto propone un ciclo continuo basado en Planificar, Delegar, Monitorizar y Controlar.

Relacionado con el tema del control, esta metodología propone utilizar indicadores como Retorno de la Inversión del proyecto, Costos, Riesgos Mayores asociados al proyecto, para los que señala como buena práctica la acción de recopilarlos, almacenarlos para futuras consultas en los procesos de Comienzo e Inicio del Proyecto. Asimismo propone que para evitar malinterpretaciones o supuestos desafortunados sobre los requisitos de calidad del proyecto, se deben implementar cualquier tipo de métricas que puedan ser útiles para evaluar si el producto cumple con los requerimientos de calidad pactados con el cliente. Además PRINCE2 define seis áreas de tolerancia relacionadas con Tiempo, Costos, Alcance, Riesgos Calidad y Beneficio para las cuales propone reportar y evaluar el Progreso del proyecto mediante gráficas de ejecución real vs planificada de hitos, curva de la S y gestión del valor ganado.

A partir del análisis de la metodología PRINCE2 se puede inferir que el objetivo de la misma es fomentar las buenas prácticas en torno a la gestión de proyectos mediante la definición de temas, procesos y técnicas relacionadas con el ciclo de vida de un proyecto. Al igual que PMBOK, esta metodología ha ido mejorando en el tiempo, para lo cual dispone de un conjunto de prestigiosos profesionales que funcionan como expertos y revisores del tema. Uno de los inconvenientes de esta metodología es que resulta demasiado pesada para entornos con poca o casi nula experiencia en el tema de la gestión de proyectos, para la cual se necesita un tiempo elevado de aprendizaje. También excluye la importante área de gestión del rendimiento de los recursos humanos. Por último, el hecho de que esta metodología sea solo fuertemente reconocida en Europa y el Reino Unido, limita su aplicación en países de América por la desconfianza radicada en si su uso es efectivo o no en proyectos con características peculiares de la región. Cabe añadir al factor de inconvenientes el precio que supone obtener una evaluación como practicante de esta metodología, la cual ronda los 200 euros promedio por persona, dependiendo del tipo de certificación a la que se aspira (*PRINCE2 Foundation, PRINCE2 Practitioner o PRINCE2 Foundation/Practitioner*) (PRINCE2.com, 2012).

1.2.7 Normas Cubanas para la Gestión de Proyectos

Las normas cubanas para la gestión de proyectos están determinadas por un conjunto de leyes que se basan en resoluciones y decretos aprobados por ministerio. En principio las normas se especifican orientadas al tipo de proyecto que desarrolla el ministerio en cuestión, ya sea relacionado con el desarrollo de *software* como es el caso del Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC),

de la construcción, atendido por el Ministerio de la Construcción (MICONS), o de cualquier otra empresa relacionada con el sector económico, político o social (Aragón González, 2011).

En (CubaIndustria, 2012) se dan a conocer con periodicidad actualizaciones sobre las normas cubanas, las cuales aparecen publicadas en un boletín conocido como *NCOonline* (Normas Cubanas Online). Hasta enero del año 2012 existen en Cuba 4424 normas vigentes, de las cuales 102 se encuentran relacionadas con la gestión de proyectos de diversas ramas, notándose como la norma más actual la correspondiente al año 2007 que coincide además con la ISO 10006:2003, ya analizada al comienzo de este capítulo.

Se puede observar que el estado cubano, mediante legislaciones que mantiene actualizadas, se ocupa de estandarizar los procesos relacionados con la gestión de proyectos en cualquier rama de la industria. Se ha visto además cómo con el curso de los años se han ido reconociendo a los estándares ISO como la opción más viable a seguir para organizar los procesos de la producción, ya que no solo ofrecen guías sino que permiten obtener certificaciones y evaluaciones que ayudan a mejorar la imagen de la empresa ante el mercado nacional e internacional. Al igual que sucede con la mayoría de las escuelas estudiadas, las normas cubanas relacionadas con la gestión de proyectos son guías abstractas que permiten ordenar y perfeccionar la empresa, pero no ofrecen modelos con soluciones para cada caso en particular.

1.2.8 Programa de Mejora de la UCI

En el año 2008 y después de seis años de desarrollo de aplicaciones, la UCI se encontraba preparada para dar un salto en su proceso productivo. Si bien eran notables los niveles de producción que se habían alcanzado, aún no se satisfacían los objetivos de producción en aspectos claves como la planificación y control de los proyectos y la recolección de indicadores para tener desarrollos predecibles. Con el propósito de asegurar la calidad de sus productos y ganar en competitividad la UCI decidió adoptar procesos para el desarrollo de aplicaciones informáticas a nivel de la organización. Después de la revisión de varios estándares y modelos como la ISO, MOPROSOFT (Oktaba, 2008), CMMI y MPS.br (Pino & et.al, 2010), y de estudiar las características de cada uno, se apostó por la utilización de CMMI para el desarrollo en su versión 1.2 y en su representación escalonada el nivel 2 (Ramos Blanco & et.al, 2011).

Entre las áreas de proceso que define CMMI en el nivel 2 (ver Tabla 3), se encuentra Medición y Análisis. Por tanto, para implementar el Programa de Mejora en la UCI, se necesitaron definir procedimientos para dar cumplimiento a los requisitos que establece esta área de proceso. El grupo de Normalización y Métricas de CALISOFT, en coordinación con el Laboratorio de Gestión de Proyectos de la universidad, establecieron un plan para la automatización de la recolección de medidas y obtención de indicadores mediante reportes a través de la herramienta de gestión de proyectos GESPRO.

Entre los indicadores propuestos a utilizar por el Programa de Mejora de la UCI se encuentra el del Valor Ganado. Para obtenerlo, se logró implementar el reporte Índice de Ejecución y Rendimiento del Proyecto (ver Figura 4). Este reporte, posible de obtener de modo automático y eficiente en cada

proyecto gestionado por la herramienta GESPRO, muestra la tendencia del índice del Valor Ganado (EV) y el valor de otros indicadores² desde el comienzo del proyecto hasta una fecha de corte dada.

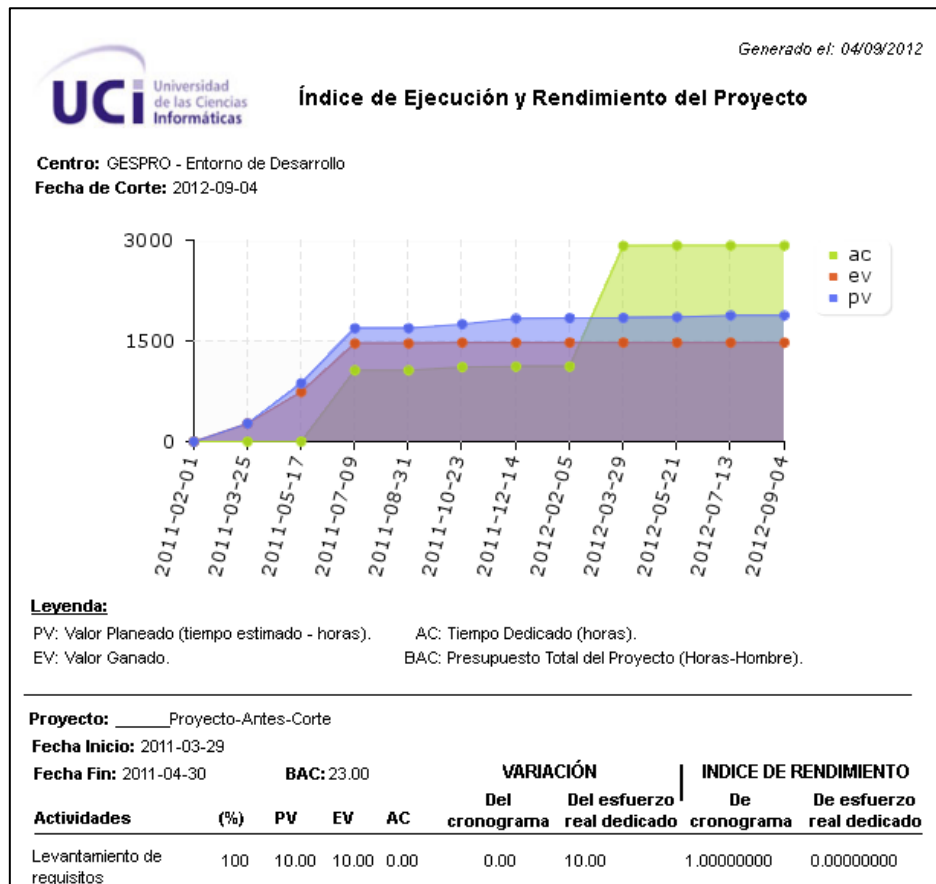


Figura 4. Reporte implementado para el Programa de Mejora en la herramienta GESPRO (del autor).

Sin embargo, la definición dada a estos indicadores por los especialistas de CALISOFT en este reporte (incluyendo el valor ganado), está basada en las variables de tiempo y no en términos de presupuesto asignado al trabajo para realizar una actividad del cronograma como originalmente lo define PMBOK y otras metodologías como el propio CMMI. A esta conclusión se puede arribar si se analiza el significado del índice AC, que por sus siglas en inglés significa *Actual Cost* (Costo Real) y en el reporte aparece como Tiempo Dedicado, así como el PV o *Planned Value* (Valor Planeado), apareciendo en la leyenda del reporte como tiempo estimado de la actividad.

Las razones de estas adaptaciones se debieron fundamentalmente a que tanto la herramienta como la universidad no se encuentran preparadas aún para establecer este enfoque de la técnica del Valor Ganado siguiendo el análisis del presupuesto monetario sugerido por las metodologías de gestión de proyectos actuales. No obstante se continúan estudiando variantes y perfeccionando la herramienta GESPRO para poder satisfacer el enfoque original tal y como lo propone PMBOK en una tabla que muestra en su capítulo Gestión de las Comunicaciones del Proyecto (ver Figura 5).

² El autor se refiere a los que se cuantifican en cada columna de la sección del reporte de actividades (PV, AC, Variación del Cronograma, etc.).

Elemento de la EDT	Valores			Variación		Índice de Desempeño	
	Valor Planificado (PV)	Valor Ganado (EV)	Costo Real (AC)	Cronograma EV - PV	Costo EV - AC	Cronograma EV ÷ PV	Costo EV ÷ AC
1.0 Plan Pre-piloto	63,000	58,000	62,500	(5,000)	(4,500)	0.92	0.93
2.0 Listas de Control	64,000	48,000	46,800	(16,000)	1,200	0.75	1.03
3.0 Currículo	23,000	20,000	23,500	(3,000)	(3,500)	0.87	0.85
4.0 Evaluación Intermedia	68,000	68,000	72,500	-	(4,500)	1.00	0.94
5.0 Apoyo a la Implementación	12,000	10,000	10,000	(2,000)	-	0.83	1.00
6.0 Manual de Práctica	7,000	6,200	6,000	(800)	-200	0.89	1.03
7.0 Plan de Lanzamiento	20,000	13,500	18,100	(6,500)	(4,600)	0.68	0.75
Totales	257,000	223,700	239,400	(33,300)	(15,700)	0.87	0.93

Figura 5. Informe del rendimiento del proyecto utilizando la técnica del Valor Ganado propuesto por PMBOK (PMI, 2009).

1.3 Control de la ejecución en proyectos

En el proceso de dirección integrada de proyectos, el control de ejecución por cortes representa el subproceso más importante por el nivel de información que genera y por su incidencia en la toma de las decisiones. El control de la ejecución en los proyectos se realiza chequeando el estado de la información resultante de los procesos asociados con la gestión de los mismos. Este se repite tantas veces como cortes tenga planificado el proyecto, tal y como se muestra en la Figura 6:

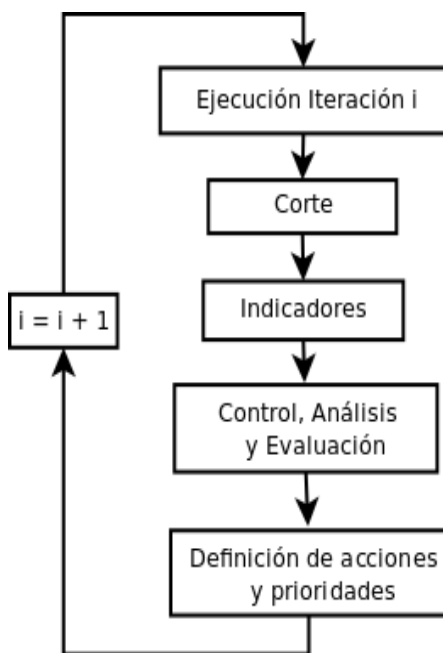


Figura 6. Ciclo definido para el control de la ejecución de proyectos (del autor).

Después de tomadas las decisiones y fijadas las metas para el próximo corte I+1, se elabora un breve informe de estado sobre una plantilla que recoge la información del reporte, que debe ser vinculado al hito en el corte I. Este informe recoge el análisis del comportamiento, el cumplimiento de los acuerdos en el corte I-1, la caracterización del proyecto en el corte I, los indicadores de gestión, las decisiones con sus respectivos acuerdos, la evaluación y las metas para el próximo corte I+1 entre otros aspectos de interés. Mediante este informe el director de proyecto, puede reconocer el estado en que se encuentra la evaluación integral del mismo a partir de un conjunto de indicadores estratégicos ponderados y reflejados en el tablero de comando. El control y seguimiento debe ser dosificado (en cascada), tomando en consideración los datos relevantes por niveles en la toma de decisiones (p. ej. centro, proyecto, individuo) (Delgado Victore & et.al, 2011).

Disponer de los valores históricos generados por este tipo de informes, permite una observación integral de la que pueden identificarse irregularidades y mediante un análisis de tendencias, obtener las proyecciones estratégicas que deben garantizar la mejora continua del proceso de dirección integrada de los proyectos de cualquier organización. Sin embargo, con frecuencia aparecen dificultades relacionadas con la ambigüedad en los conceptos e incertidumbre en la información ya

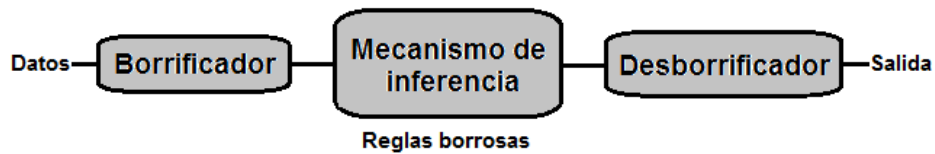


Figura 8. Esquema general de un sistema de inferencia borroso de tipo Mamdani (del autor).

Los sistemas de inferencia borrosos permiten declarar un conjunto de reglas borrosas. Se define como regla borrosa aquella proposición *IF-THEN* que, expresando un tipo de relación como precedente (*IF*), entre dos o más conjuntos borrosos mediante operadores de verdad (AND, OR, NOT), produce un nuevo conjunto borroso como consecuente (*THEN*). La producción de estos nuevos conjuntos es resultado de la aplicación de funciones conocidas como *T-Normas* y *T-Conormas* que actúan sobre las relaciones establecidas entre los conjuntos mediante operadores *Mín* o *Producto* y *Máx* o *Sum* respectivamente dando lugar a una función característica de la forma $\mu_{(x)}: U \rightarrow [0, 1]$. Finalmente, el conjunto borroso de salida es el resultado de la agregación de todas las reglas. Siguiendo el ejemplo que se mostraba en la Figura 7, las reglas que se definen pueden tener la forma que sigue a continuación:

- R1: IF (Var₁ is Baja AND... Var_n is Baja) THEN Evaluación is Mal.
- R2: IF (Var₁ is Media AND... Var_n is Media) THEN Evaluación is Regular.
- R3: IF (Var₁ is Alta AND... Var_n is Alta) THEN Evaluación is Bien.

Pudiendo ser Var₁ hasta Var_n, las notas alcanzadas por algún estudiante en distintas asignaturas y Evaluación la valoración integral del mismo al finalizar un período lectivo.

En los sistemas de inferencia borrosos el número de reglas puede variar de acuerdo al grado de conocimiento humano que se tenga sobre el problema de decisión a resolver.

El método Mamdani juega su rol fundamental en el elemento que en la Figura 8 aparece señalado como Desborrificador. El objetivo del mismo es obtener como salida un valor numérico de mayor precisión. Para esto, luego de analizar el resultado de la agregación de conjuntos, establece distintas aproximaciones para hallar la proyección de la pertenencia $\mu_{(x)}$ en el eje de las abscisas. Entre estas aproximaciones podemos citar el método del *centroide* o centro de gravedad, máximo y el promedio de los máximos.

Otro de los sistemas de inferencia borrosos más conocidos son los de tipo Sugeno Grado Cero (Sugeno, 1977). Estos, aunque mantienen el mismo principio de funcionamiento descrito en la Figura 8, carecen de Desborrificador, con el cual se obtienen únicamente los grados de pertenencia a los conjuntos borrosos finales de salida como resultado de la agregación.

1.5 Corrientes actuales para la toma de decisiones en la DIP

En los últimos 11 años investigaciones como (Sun, 2000) (Garre Rubio, 2006) (Dweiri & Kablan, 2006) (Chen, 2007) (Jowers, 2007) (Donghai, 2008) (Sharafi, 2008) (Peidro, 2009) (Cai & et.al, 2009) (Bhatt, 2009) (Khodakarami, 2009) (Li & et.al, 2010) (Santiwatthana, 2010) (Gao, 2010) (Wu, 2011) (Fuat

Guneri, 2011) (Gajate, 2011) han propuesto modelos y algoritmos basados en minería de datos e inteligencia artificial útiles para la DIP.

Sin embargo, aún no se resuelven los problemas relacionados con el control de la ejecución de proyectos partiendo del uso de indicadores apropiados para cada entorno teniendo en cuenta la incertidumbre asociada a dicho proceso. Resulta evidente pensar por tanto que no reflejar correctamente el grado de incertidumbre con que un sistema emite un criterio determinado afecta el proceso de toma de decisiones.

1.6 Herramientas

Gran parte del éxito de un proyecto coincide con que todas las etapas y procedimientos fluyan organizadamente, se conozcan claramente las capacidades de cada organización y se automaticen los procesos (Delgado Victore, 2003). Dado el incremento constante de la complejidad para gestionar esta información, se hace imprescindible el empleo de herramientas que automaticen en mayor medida los procesos que según las escuelas analizadas, están relacionados con la gestión de proyectos. Por consiguiente, se deben encontrar propiedades inherentes en cada herramienta que conlleve al desenvolvimiento natural de dichos procesos. Estas propiedades han de estar orientadas por tanto a la gestión automática de los datos relacionados con los procesos de la gestión de proyectos.

1.6.1 Estudio comparativo

La Figura 9 muestra un estudio comparativo realizado por el autor en marzo del año 2012 a las herramientas de gestión de proyectos más representativas existentes a nivel mundial (Stang, 2010) y otras halladas en las redes sociales.

El estudio abarcó a un total de 125 herramientas. Las columnas enumeradas simbolizan propiedades inherentes que, a consideración del autor, viabilizan eficientemente a la gestión de proyectos. Las propiedades de la 1 a la 9 representan factores técnicos, mientras que las propiedades 10 y 11 están relacionadas con factores económicos y sociales respectivamente. Las filas representan las herramientas, las cuales han sido ordenadas ascendentemente por la cantidad de respuestas afirmativas obtenidas para cada propiedad.

Aunque muchas de estas herramientas satisfacen las necesidades de sus clientes, no siempre cubren las expectativas de todos por temas tan específicos o combinados relativos a precio, licencia, soporte o insuficiencias en el manejo de ciertos datos relacionados con procesos de la gestión de proyectos. Además se observa el uso de tecnología equivocada entre los grandes errores de la gestión de proyectos. En (Pacelli, 2004) se señala que la elección de un tipo de tecnología debe depender del entorno en que la empresa se desenvuelve. Asimismo, se puede elegir la tecnología adecuada y el personal encargado de manejarla no tener las aptitudes necesarias.

Herramientas de Gestión de Proyectos		1. Entorno de Colaboración	2. Seguimiento de Tickets	3. Gestión de Portafolio	4. Planificación	5. Gestión de Recursos	6. Gestión Documental	7. Flujo de Trabajo	8. Soportado sobre Web	9. Reportes y Análisis	10. Software Libre	11. Representan la Incertidumbre
1	Project.NET	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
2	Project-Open	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
3	OpenERP	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No
4	AtTask	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
5	Clarizen	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
6	Genius Inside	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
7	Microsoft Office Project Server	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
8	Planisware 5	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
9	Primavera Project Planner	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
10	Projektron BCS	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
11	PSNext	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
12	Severa	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
13	Tenrox	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
14	TrackerSuite.Net	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
15	WorkLenz	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
16	Assembla	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
17	QuickBase	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
18	24SevenOffice	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
19	Tenrox	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
20	EPM Live	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
21	Compuware Changepoint	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
22	Rally Software	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
23	TeamDynamixHE	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
24	in-Step	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
25	5pm	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
26	Plandora	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
27	OnTime	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
28	enQuire	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
29	Eclipse PPM software	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
30	Celoxis	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
31	CA Clarity PPM	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
32	PLANTA Project	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
33	Endeavour Software Project Management	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
34	Merlin	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
35	Oracle Project Portfolio Management	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
36	workspace.com	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
37	Redmine	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No
38	Copper Project	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
39	MyWorkPLAN	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No
40	NetSuite	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No
41	Webforum Project	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
42	Journyx	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
43	SAP RPM	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
44	Teamwork PM	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
45	eGroupWare	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
46	FogBugz	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No
47	WorkPLAN Enterprise	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No
48	TeamLab	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
49	AceProject	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
50	Proliance	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
51	Principal Toolbox	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
52	FIT Issue Management	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
53	Doolphy	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
54	Deltek WelcomHome	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
55	BrightWork	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
56	VPMi	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No
57	Dolibarr ERP/CRM	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
58	LiquidPlanner	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
59	Smartsheet	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
60	phpGroupWare	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
61	Zoho Office Suite	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No
62	Cerebro	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
63	Gemini	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No
64	MatchWare MindView 4	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No

Herramientas de Gestión de Proyectos	1. Entorno de Colaboración	2. Seguimiento de Tickets	3. Gestión de Portafolio	4. Planificación	5. Gestión de Recursos	6. Gestión Documental	7. Flujo de Trabajo	8. Soportado sobre Web	9. Reportes y Análisis	10. Software Libre	11. Representan la Incertidumbre
65	Projectplace	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
66	Feng Office Community Edition	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No
67	InLoox	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No
68	JIRA	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No
69	Traction TeamPage	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
70	GroveSite	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
71	LibrePlan	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No
72	Mavenlink	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No
73	DeskAway	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No
74	Bontq	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
75	Binfire	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No
76	web2project	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí
77	MantisBT	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí
78	MicroPlanner X-Pert	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No
79	ProjectSpaces	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
80	Teamcenter	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No
81	Ubidesk	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
82	KForge	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí
83	Launchpad	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí	No	Sí
84	Wrike	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No
85	Trac	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí
86	Rplan	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No
87	Unawave	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
88	Jonas Software	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No
89	Prolog Manager	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No	No
90	Ganttic	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No	No
91	Deltek Open Plan	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No
92	Unawave	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
93	Central Desktop	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	No
94	Kayako helpdesk software	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	No
95	dotProject	No	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí
96	Basecamp	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No
97	codeBeamer	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No	Sí	No	No
98	Planner Suite	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No
99	TaskJuggler	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
100	Collabtive	Sí	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
101	Hall.com	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No
102	iManageProject	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No
103	KommandCore	Sí	No	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No
104	FinancialForce.com	No	No	No	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No
105	DynaRoad	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí	No	Sí	No
106	OpenProj	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
107	Huddle	Sí	No	No	No	No	Sí	No	Sí	No	No
108	Mingle	Sí	Sí	No	No	No	No	No	Sí	No	No
109	Hyperoffice	Sí	No	No	No	No	Sí	No	Sí	No	No
110	GanttProject	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
111	Open Workbench	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
112	Microsoft Project	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	Sí	No
113	KPlato	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
114	Tom's Planner	Sí	No	No	Sí	No	No	No	Sí	No	No
115	Open Workbench	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	Sí
116	MindGenius	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No
117	Milestones Professional	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	No	No	No
118	O3spaces	Sí	No	No	No	No	Sí	No	No	No	No
119	Contactizer	Sí	No	No	No	Sí	No	No	No	No	No
120	FastTrack Schedule	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No
121	LisaProject	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No
122	MacProject	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No
123	OmniPlan	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No
124	Project KickStart	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No
125	Project KickStart	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	No	No

Figura 9. Estudio comparativo de herramientas de gestión de proyectos (del autor).

Un análisis de los resultados del estudio basado en el por ciento de cumplimiento de las propiedades enunciadas, demuestra que no se reportan herramientas que realicen el tratamiento a la incertidumbre. Como se ha venido abordando, el tema del manejo de la incertidumbre tiene un especial significado ya que permite mejorar el proceso de toma de decisiones.

Por otra parte, la sociedad cubana se encuentra inmersa en un proceso de migración a sistemas libres de código abierto que permitan alcanzar soberanía y seguridad en la información (Rodríguez Figueredo, 2009). Tiene sentido pensar por tanto, que las herramientas de gestión de proyectos que para su uso se tengan en cuenta, han de ser aquellas que cumplan con el requisito de ser *software* libre. La facilidad de extensión de este tipo de herramientas constituye otra característica importante a considerar, ya que de esta manera se pueden adaptar mejor a las particularidades de cada entorno empresarial.

1.6.2 Indicadores más utilizados y acceso a los mismos

Del estudio realizado en la sección anterior, entre los indicadores más utilizados implementados para su cálculo automático, sobre todo en herramientas propietarias, se encontraron los siguientes:

- EV: *Earned Value* o Valor Ganado.
- CPI: *Cost Performance Index* o Índice de Rendimiento de Costos.
- SPI: *Schedule Performance Index* o Índice de Rendimiento de la Planificación.
- ROI: *Return On Investment* o Retorno de la Inversión.
- NPV: *Net Present Value* o Valor Neto Presente.
- CV: *Cost Variance* o Variación de Costos.

Para determinar los indicadores más utilizados en herramientas se analizaron solo aquellas que poseían facilidades de reportes y análisis de datos, para un total de 56 de 125 herramientas. De estas, solo ocho herramientas poseían la propiedad de ser *software* libre y de estas últimas, solo una herramienta (LibrePlan) demostró que utilizaba indicadores similares a los de sus competidoras propietarias. El resto de las herramientas libres solo mostraron indicadores básicos, en su mayoría consistentes en un histograma para la desviación de tiempo a la finalización de las tareas de los proyectos y un gráfico de tarta para las violaciones de fechas de entrega. Por último, en el caso de una herramienta libre (Project-Open), ocurre que el módulo de reportes solo puede ser accedido por los usuarios de manera comercial.

1.6.3 GESPRO

Como parte de la decisión de estandarizar los sistemas de control y seguimiento de la red de centros de desarrollo de *software* de la UCI, y del estudio de factibilidad sobre las herramientas descritas al comienzo del epígrafe 1.3, se decide desarrollar el Paquete de Dirección Integrada de Proyectos GESPRO (Piñero Pérez & et.al, 2010) como solución única e integral. Basado en Redmine (Lang, 2011) y otras herramientas libres construidas en la propia organización, el sistema está alineado con los estándares propuestos por el *Project Management Institute* (PMI, 2009) y el *Software Engineering Institute* (SEI, 2010), mostrando las interfaces adecuadas a los usuarios para que introduzcan al sistema los datos sugeridos por estos modelos. Sin embargo, el entorno de gestión de proyectos en

su versión 10.04, carece de reportes de indicadores que ofrezcan ayuda a la toma de decisiones. La información que se presenta en su actual módulo de reportes no se encuentra preparada para su visualización por niveles siguiendo el principio de cascada. Tampoco se realiza el tratamiento a la incertidumbre presente en los datos de la plataforma para comunicar de manera más objetiva el estado de los proyectos.

1.7 Conclusiones del capítulo

Se han definido en el mundo diversas guías, metodologías y estándares que sugieren de manera abstracta los procesos a ejecutar por la DIP para efectuar el control, seguimiento y la evaluación de proyectos en sentido general. Se ha reconocido el uso de indicadores como la vía más clara y efectiva para auxiliar al personal de dirección en las actividades de toma de decisiones. Según coinciden modelos actuales y autores, los indicadores más demandados están vinculados a áreas de conocimiento relacionadas con costo, tiempo, calidad, logística y rendimiento de los recursos humanos.

Existen herramientas que incorporan en su plataforma facilidades para dar control y seguimiento a sus proyectos mediante el uso de indicadores, pero por razones específicas de precio, licencia, soporte o imposibilidad en el manejo de ciertos datos, no todas satisfacen a entornos particulares donde se gestionan proyectos.

Según demuestran tendencias actuales, el tratamiento a la incertidumbre durante el proceso de ayuda a la toma de decisiones para la dirección integrada de proyectos con herramientas es vital. Sin embargo, no se reportan herramientas de gestión de proyectos que implementen este requisito.

Se concluye la necesidad de construir un modelo propio para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa. Por ser plataforma libre y soberana del estado cubano, se propone a GESPRO como base para el desarrollo y aplicación del modelo.

Mediante la elaboración del marco teórico se cumple el primer objetivo específico planteado en la investigación.

CAPÍTULO 2: MODELO PARA EL CONTROL DE LA EJECUCIÓN DE PROYECTOS

En este capítulo se presenta un nuevo modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa. Se exponen las características que identifican al modelo así como sus componentes, ilustrando las relaciones que existen entre ellos y cómo garantizar su mejora. Entre los componentes se describen los indicadores por áreas de conocimiento propuestos y los métodos de inferencia borrosos para el cálculo de indicadores así como para evaluar la ejecución del proyecto en una fecha de corte. Por último, se presentan las conclusiones parciales del capítulo.

2.1 Características del modelo

- Se fundamenta en criterios objetivos a partir de evidencias: Emplea indicadores calculados a partir de información existente en sistemas de gestión de proyectos.
- Hace tratamiento de la incertidumbre y la ambigüedad de los conceptos en el cálculo: Utiliza técnicas de lógica borrosa para emitir los criterios relacionados con el cálculo de indicadores y la evaluación de la ejecución de los proyectos.
- Basado en prioridades para el control y seguimiento del proyecto: Se tienen en cuenta las prioridades de cada indicador mediante la asignación de pesos basados en el juicio de expertos.

2.2 Componentes

El modelo está formado por tres componentes fundamentales:

1. Componente *Definición de Indicadores para el control y seguimiento del proyecto*.
2. Componente *Cálculo de Indicadores*. Compuesto por un método tradicional y otro basado en lógica borrosa para el cálculo de indicadores.
3. Componente *Evaluación de la Ejecución*, que utiliza un método basado en lógica borrosa para la evaluación de la ejecución del proyecto.

La Figura 10 muestra una vista general del modelo, la interacción entre sus componentes y el entorno, que con su actuar sistémico permiten la evaluación objetiva de la ejecución del proyecto y su mejora continua.

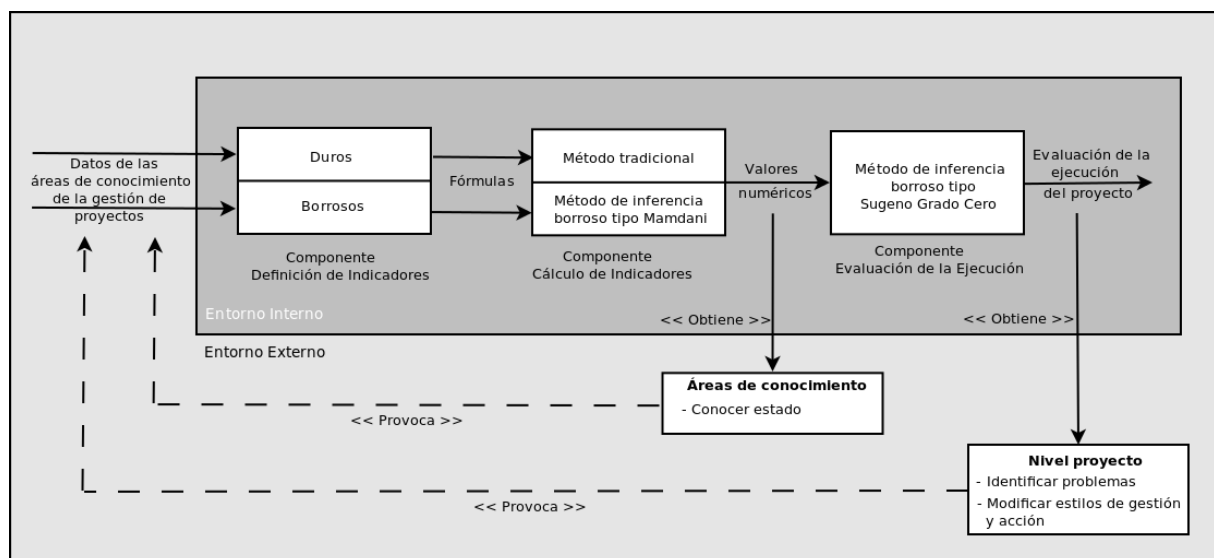


Figura 10. Vista general del modelo propuesto (Elaboración propia).

A continuación se detallan los componentes descritos previamente para mayor comprensión del modelo.

2.2.1 Componente Definición de Indicadores

Habiendo identificado a la herramienta GESPRO como fuente de datos de los procesos de planificación y ejecución de proyectos, se propone la definición de un conjunto de indicadores asociados que puedan ser calculados de modo automático y brinden la información requerida para el control y seguimiento de los proyectos que se gestionan con dicha herramienta. Dentro de este contexto se sugiere el uso de dos tipos de indicadores: **duros** (ver Figura 11) y **borrosos** (ver Figura 12).

"Un **Indicador** (o **sub-indicador**) **duro** es aquel cuyo valor numérico final depende del cálculo de fórmulas matemáticas compuestas por medidas existentes en una plataforma computacional".

J.A.Lugo,2012

Figura 11. Definición de indicador (o sub-indicador) duro (del autor).

"Un **Indicador borroso** es aquel cuyo valor numérico final se calcula a partir de la salida de un sistema de inferencia borroso de tipo Mamdani que emplea como variables de entrada a sub-indicadores duros que lo caracterizan".

J.A.Lugo,2012

Figura 12. Definición de indicador borroso (del autor).

La existencia de los indicadores borrosos se justifica en la necesidad de caracterizar adecuadamente determinados elementos que componen un área de conocimiento en cuestión, para finalmente obtenerse un valor numérico de mejor precisión.

En la Tabla 4 se caracterizan los indicadores propuestos por áreas de conocimiento a la que están enfocados, así como en base a su clasificación dura o borrosa.

Tabla 4. Caracterización de indicadores propuestos por área de conocimiento a la que está dirigido y tipo (del autor).

-Indicador-	-Integración-	-Tiempo-	-Costo-	-Calidad-	-Logística-	-RRHH-	-Borroso-
IE	✓	✓	-	-	-	-	-
IRE	✓	✓	-	-	-	-	-
IRP	-	✓	-	-	-	-	-
IRC	-	-	✓	-	-	-	-
ICD	-	-	-	✓	-	-	✓
IRL	-	-	-	-	✓	-	✓
IRRH	-	-	-	-	-	✓	✓
IREF	-	-	-	✓	-	-	✓

A continuación se detalla la definición de cada indicador:

1. *Índice de Ejecución del Proyecto (IE)*: Se define como el por ciento de realización de la ejecución dada la relación entre la sumatoria del impacto de los hitos de ejecución cerrados y la sumatoria total del impacto de los hitos de ejecución del proyecto. Adquiere valores entre 0 y 100.

Interpretación: a mayor por ciento, mayor nivel de ejecución. Se calcula según la ecuación (1):

$$IE = \frac{\text{Impacto_Hitos_Cerrados}}{\text{Impacto_Hito}} * 100 \quad (1)$$

2. *Índice de Rendimiento de la Ejecución (IRE)*: Relación entre la sumatoria del impacto de los hitos de ejecución cerrados y la sumatoria total del impacto de los hitos de ejecución del proyecto planificados hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa.

Interpretación: IRE < 1, baja; IRE = 0, atrasada; IRE = 1, buena; IRE > 1, adelantada. Se calcula según la ecuación (2):

$$IRE(dd/mm/aaaa) = \frac{\text{Impacto_Hitos_Cerrados}}{\sum_{i=1}^n \text{Impacto_Hitos_Planif}(i)} \quad (2)$$

Donde: n es la cantidad de hitos planificados desde la fecha de inicio del proyecto hasta la fecha de corte.

3. *Índice de Rendimiento de la Planificación (IRP)*³: Muestra el estado de avance o progreso del proyecto. Relación entre la sumatoria de los por cientos de ejecución real y la sumatoria de los por cientos de ejecución planificado de cada una de sus tareas según la fecha de corte dd/mm/aaaa.

Interpretación: IRP < 1, atraso; IRP = 0, atraso por no haber comenzado; IRP = 1, en tiempo; IRP > 1, adelantado. Se calcula según la ecuación (3):

$$IRP(dd/mm/aaaa) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ejec_Real_Tarea}(i)}{\sum_{i=1}^n \text{Ejec_Planif_Tarea}(i)} \quad (3)$$

Donde: n es la cantidad de tareas del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

4. *Índice de Rendimiento de Costos (IRC)*⁴: Muestra el estado del presupuesto del proyecto. Relación entre el costo planificado del proyecto (CPP) y el costo real (CR) según la fecha de corte dd/mm/aaaa.

Interpretación: IRC < 1, sobregirado; IRC ≥ 1, en presupuesto. Se calcula según la ecuación (4):

$$IRC(dd/mm/aaaa) = \frac{CPP(dd/mm/aaaa)}{CR(dd/mm/aaaa)} \quad (4)$$

³ El indicador IRP es internacionalmente conocido (por sus siglas en inglés - SPI) y calculado por algunas herramientas de gestión de proyectos como el Microsoft Project. Aquí se propone una variante que puede ser calculada de modo automático a partir de los datos presentes en la plataforma GESPRO.

⁴ El indicador IRC es internacionalmente conocido (por sus siglas en inglés - CPI) y calculado por algunas herramientas de gestión de proyectos como el Microsoft Project. Aquí se propone una variante que puede ser calculada de modo automático a partir de los datos presentes en la plataforma GESPRO.

Donde:

$$CPP \text{ dd/mm/aaaa} = \frac{\text{dd/mm/aaaa} - \text{Fecha_Inicio_Proyecto} + 1}{\text{Fecha_Fin_Proyecto} - \text{Fecha_Inicio_Proyecto} + 1} * \sum_{i=1}^n \text{Costo_Planif_Tarea}(i)$$

El valor numérico final de los indicadores borrosos que se proponen a continuación (ICD, IRL, IRRH, IREF) se calcula construyendo, para cada indicador, un sistema de inferencia borroso de tipo Mamdani en el cual se consideran como variables de entrada sus respectivos sub-indicadores. Cada variable es sometida a un conjunto de reglas para la clasificación del resultado lingüístico correspondiente a la evaluación (Bien, Regular o Mal) alcanzada por el indicador. Por último, aplicando el método de Mamdani se calcula el valor numérico final a partir de la evaluación alcanzada. En la sección 2.2.2.2 se detalla la aplicación de este método.

5. *Índice de Calidad del Dato (ICD)*: Propone el análisis de la completitud y correcta entrada de los datos a la herramienta de gestión de proyectos. Se calcula a partir de cuatro sub-indicadores:

- *Índice de Calidad del Dato de la Planificación (ICDP)*: Relación entre las tareas con fecha de fin no nulo (TFNND) y tiempo estimado no nulo distinto de cero (TENND) y la cantidad total de tareas del proyecto (TTP) hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (5):

$$ICDP(\text{dd/mm/aaaa}) = \frac{TFNND + TENND}{2 * TTP} \quad (5)$$

- *Índice de Calidad del Dato de la Ejecución (ICDE)*: Relación entre el índice de calidad del dato de ejecución de la tarea (ICDET) y la cantidad total de tareas del proyecto (TTP) hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (6):

$$ICDE(\text{dd/mm/aaaa}) = \frac{\sum_{i=1}^n ICDET(i)}{TTP} \quad (6)$$

Donde:

$$ICDET = \begin{cases} 1, & \text{porcentaje_ejec_real_tarea} = 0 \text{ OR tiempo_dedicado_tarea} > 0 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

n: cantidad de tareas del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

- *Índice de Calidad del Dato de la Evaluación (ICDV)*: Relación entre el índice de calidad del dato de evaluación de la tarea (ICDVT) y la cantidad total de tareas cerradas del proyecto (TTCP) hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (7):

$$ICDV(dd/mm/aaaa) = \frac{\sum_{i=1}^n ICDVT(i)}{TTCP} \quad (7)$$

Donde:

$$ICDVT = \begin{cases} 1, & \text{porciento_ejec_real_tarea} = 100 \text{ AND } \text{eval_tarea} \neq 'NE' \text{ AND } \text{tarea_cerrada} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

n: cantidad de tareas del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

- *Índice de Calidad del Dato de la Planificación General (ICDPG)*: Relación entre la cantidad de tareas con fecha de fin mayor que la fecha de fin del proyecto (TFFMFFP) y el total de tareas del proyecto (TTP). Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (8):

$$ICDPG = 1 - \frac{TFFMFFP}{TTP} \quad (8)$$

6. *Índice de Rendimiento de la Logística (IRL)*: Propone el análisis en torno al movimiento de recursos materiales asociados al proyecto, desde los proveedores hasta el usuario final. Se calcula a partir de cuatro sub-indicadores:

- *Índice de Cantidad de Recursos Recibidos (ICARR)*: Relación entre la cantidad total de recursos recibidos (CTRR) y la cantidad total de recursos planificados en el proyecto (CTRP) hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (9):

$$ICARR(dd/mm/aaaa) = \frac{CTRR}{CTRP} \quad (9)$$

- *Índice de Costo de Recursos Recibidos (ICORR)*: Relación entre el costo total de los recursos recibidos y el costo total de los recursos planificados en el proyecto hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (10):

$$ICORR(dd/mm/aaaa) = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Costo_Recurso_Recibido}(i)}{\sum_{i=1}^n \text{Costo_Recurso_Planificado}(i)} \quad (10)$$

Donde: n es la cantidad de recursos del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

- *Índice de Solicitudes Aprobadas (ISA)*: Relación entre la cantidad total de solicitudes de recursos aprobadas (CTSRA) y la cantidad total de recursos planificados en el proyecto (CTRP) hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (11):

$$ISA(dd/mm/aaaa) = \frac{CTSRA}{CTRP} \quad (11)$$

- *Índice de Solicitudes Rechazadas (ISR)*: Relación entre la cantidad total de solicitudes de recursos rechazadas (CTSRR) y la cantidad total de recursos planificados en el proyecto (CTRP) hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1.

Interpretación: cercano a 0, mejor. Se calcula según la ecuación (12):

$$ISR(dd/mm/aaaa) = \frac{CTSRR}{CTRP} \quad (12)$$

7. *Índice de Rendimiento de los Recursos Humanos (IRRH)*: Propone el análisis del desempeño del recurso humano en torno al desarrollo, impacto y prioridad de las tareas asignadas. Se calcula a partir de cuatro sub-indicadores:

- *Índice de Correlación del Recurso Humano con respecto al Trabajo (IRHT)*: Correlación entre la estandarización de los tiempos estimados (TE_Tarea) y los tiempos dedicados (TD_Tarea) de las tareas involucradas con el recurso humano (Tejeda Rodríguez, 2011). Adquiere valores entre -1 y 1.

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (13):

$$IRHT = CORR \frac{TE_{Tarea} - AVG(TE_{Tarea})}{STDV(TE_{Tarea})}, \frac{TD_{Tarea} - AVG(TD_{Tarea})}{STDV(TD_{Tarea})} \quad (13)$$

- *Índice de Rendimiento del Recurso Humano con respecto a la Eficacia (IRHE)*: Relación entre la cantidad de tareas cerradas evaluadas de Bien o Excelente (CTBERH) y el total de tareas cerradas del proyecto (CTC) involucradas con el recurso humano hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1. (Este índice está alineado con lo establecido por la norma cubana sobre gestión integral de capital humano - Vocabulario (ONN, 2007)).

Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (14):

$$IRHE(dd/mm/aaaa) = \frac{CTBERH}{CTC} \quad (14)$$

Donde:

$$CTBERH = 3 * CTC_{PABE} + 2 * CTC_{PNBE} + CTC_{PBBE}$$

$$CTC = 3 * CTC_{PA} + 2 * CTC_{PN} + CTC_{PB}$$

CTCPABE: Cantidad de Tareas Cerradas con Prioridad Alta evaluadas de Bien o Excelente.

CTCPNBE: Cantidad de Tareas Cerradas con Prioridad Normal evaluadas de Bien o Excelente.

CTCPBBE: Cantidad de Tareas Cerradas con Prioridad Baja evaluadas de Bien o Excelente.

CTCPA: Cantidad de Tareas Cerradas con Prioridad Alta.

CTCPN: Cantidad de Tareas Cerradas con Prioridad Normal.

CTCPB: Cantidad de Tareas Cerradas con Prioridad Baja.

- *Índice de Rendimiento del Recurso Humano con respecto a su Aprovechamiento (IRHA)*: Relación entre los totales de tiempo planificado (TTP) y disponible (TTD) asignados al recurso humano hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa.
Interpretación: IRHA < 0.75, sub-utilizado; 0.75 <= IRHA <=1, aprovechado; IRHA > 1, sobrecargado. Se calcula según la ecuación (15):

$$IRHA(dd/mm/aaaa) = \frac{TTP}{TTD} \quad (15)$$

- *Índice de Rendimiento de los Recursos Humanos con respecto a la Eficiencia (IRHF)*: Muestra el estado de avance o progreso del recurso humano en la realización de las tareas que tiene asignadas. Relación entre la sumatoria de los por cientos de ejecución real y la sumatoria de los por cientos de ejecución planificado para cada una de sus tareas según la fecha de corte dd/mm/aaaa. (Este índice está alineado con lo establecido por la norma cubana sobre gestión integral de capital humano - Vocabulario (ONN, 2007)).
Interpretación: IRHF < 1, atraso; IRHF = 0, atraso por no haber comenzado; IRHF =1, en tiempo; IRHF > 1, adelantado. Se calcula según la ecuación (16):

$$IRHF(dd/mm/aaaa) = \frac{\sum_{i=1}^n Ejec_Real_Tarea_RH(i)}{\sum_{i=1}^n Ejec_Planif_Tarea_RH(i)} \quad (16)$$

Donde: n es la cantidad de tareas asignadas al recurso humano, desde el comienzo del proyecto hasta la fecha de corte.

8. *Índice de Rendimiento de la Eficacia (IREF)*: Muestra el estado de la eficacia del proyecto, dada por el análisis de la relación entre la realización de sus requisitos, la evaluación de sus tareas teniendo en cuenta la prioridad y sus no conformidades. Se calcula a partir de tres sub-indicadores:

- *Índice de Cumplimiento de Requisitos (ICREQ)*: Dada una fecha de corte dd/mm/aaaa muestra el estado de cumplimiento de los requisitos dado por la asignación de tareas para la realización de los mismos teniendo en cuenta sus prioridades. Adquiere valores entre 0 y 1. Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (17):

$$ICREQ(dd/mm/aaaa) = \alpha * \frac{\sum_{i=1}^n PReq_i * TAR_i}{\sum_{i=1}^n PReq_i} + 1 - \alpha * \frac{\sum_{i=1}^n PReq_i * RT_i}{\sum_{i=1}^n PReq_i} \quad (17)$$

Donde:

$$\alpha = \frac{FechaFinProyecto - dd/mm/aaaa}{FechaFinProyecto - FechaInicioProyecto}$$

n: cantidad de requisitos del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

TAR: Tareas asignadas al requisito.

$$TAR = \begin{cases} 1, & \text{Tiene tarea asignada} \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

PReq: Prioridad del Requisito donde $PReq \in [0,1]$.

RT: Requisito Terminado.

$$RT = \begin{cases} 1, & \text{Está terminado} \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

- **Índice de Calidad de las Tareas (ICT):** Relación entre la evaluación adquirida por la tarea cerrada (Eval_T_C) y la cantidad de tareas cerradas (CTC) del proyecto hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Adquiere valores entre 0 y 1. Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (18):

$$ICT(dd/mm/aaaa) = \frac{\sum_{i=1}^n Eval_{T_C}(i)}{5 * CTC} \quad (18)$$

Donde: n es la cantidad de tareas del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

$$Eval_{T_C} = \frac{Eval_T * (Prior_T + Tipo_T)}{6}$$

$Eval_T =$	5, Si Eval = 'E'	$Prior_T =$	3, Si Prioridad = 'Alta'	$Tipo_T =$	3, Si Tipo = 'Desarrollo'
	4, Si Eval = 'B'		2, Si Prioridad = 'Media'		2, Si Tipo = 'Gestión'
	3, Si Eval = 'R'		1, Si Prioridad = 'Baja'		1, En otro caso
	2, En otro caso				

- **Índice de Ocurrencia de No Conformidades (IONC):** Muestra el estado de ocurrencia de no conformidades (NC) del proyecto hasta la fecha de corte dd/mm/aaaa. Está dado por la relación de cantidad de requisitos (Req) asociados con no conformidades, evaluando el impacto de las no conformidades y la prioridad de sus requisitos asociados. Adquiere valores entre 0 y 1. Interpretación: cercano a 1, mejor. Se calcula según la ecuación (19):

$$IONC \text{ dd/mm/aaaa} = \beta * SNC + 1 - \beta * K \quad (19)$$

Donde:

$$\beta = \frac{Cantidad_NC_Con_Req_Asociados}{Total_NC_Proyecto} \quad K = \frac{Cantidad_NC_Cerradas}{Total_NC_Proyecto}$$

$$SNC = \frac{\sum_{i=1}^n Impacto_NC_Cerrada(i)}{\sum_{i=1}^n Impacto_NC_Proyecto(i)}$$

n: cantidad de no conformidades del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

$$Impacto_NC(i) = \frac{\sum_{j=1}^j Prioridad_Requisito_Afectado(i)}{\sum_{j=1}^j Prioridad_Requisito(i)}$$

j: cantidad de requisitos del proyecto, desde su fecha de inicio hasta la fecha de corte.

2.2.2 Componente Cálculo de Indicadores

El componente en cuestión está formado por dos métodos fundamentales, los cuales se explican a continuación.

2.2.2.1 Método tradicional

El método tradicional de cálculo es aquel donde se emplea la formulación matemática habitual para resolver los problemas de cálculo tradicional de un indicador o sub-indicador duro a partir de las medidas o índices que lo conforman y sus relaciones de operación (suma, resta, multiplicación, división, raíz cuadrada, etc.).

2.2.2.2 Método de inferencia borroso tipo Mamdani

Este método se utiliza para el cálculo de indicadores borrosos. El mismo está basado en un sistema de inferencia borroso de tipo Mamdani ya que emplea una técnica que lleva este mismo nombre para aproximar la salida a un valor numérico de mayor exactitud. Para aplicar el método propuesto se desarrolla el proceso descrito en la Figura 13. Se ha enumerado en la parte superior izquierda cada actividad del proceso.

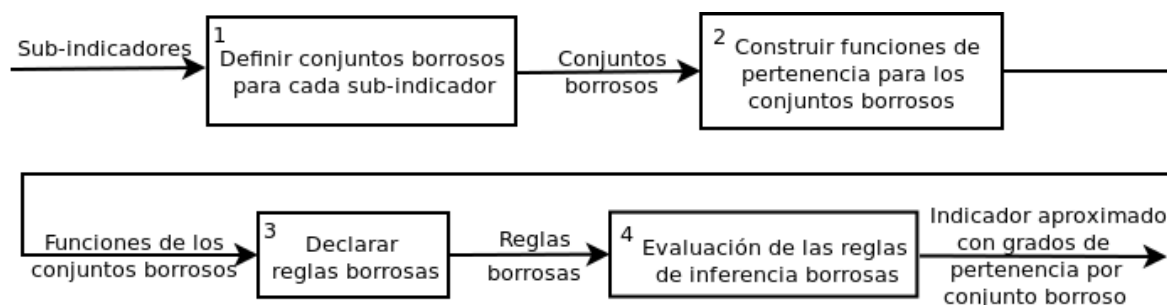


Figura 13. Proceso general sobre el cual se basa el cálculo numérico de un indicador de tipo borroso (del autor).

Descripción detallada del proceso:

Actividad 1: Para cada sub-indicador (en lo adelante SBI) existente es necesario especificar los términos lingüísticos que los representan y sus conjuntos borrosos.

Se define como conjunto borroso A (definido para un indicador o sub-indicador) en un universo de discurso U aquel que está caracterizado por una función de pertenencia $\mu(x)$ en donde cada elemento en el dominio se le asigna un grado de pertenencia al conjunto en el intervalo $[0,1]$ y se representa de la forma $\mu(x): U \rightarrow [0, 1]$. De esta manera un mismo elemento puede pertenecer a varios conjuntos simultáneamente solo que con cierto grado de pertenencia. Cada conjunto borroso tiene asociado además un término lingüístico de forma tal que la función de pertenencia asociada a un conjunto está ligada a las palabras: alto, medio y bajo. La Figura 14 propone cómo quedan definidos los conjuntos borrosos para los términos lingüísticos correspondientes con la evaluación de cada SBI.

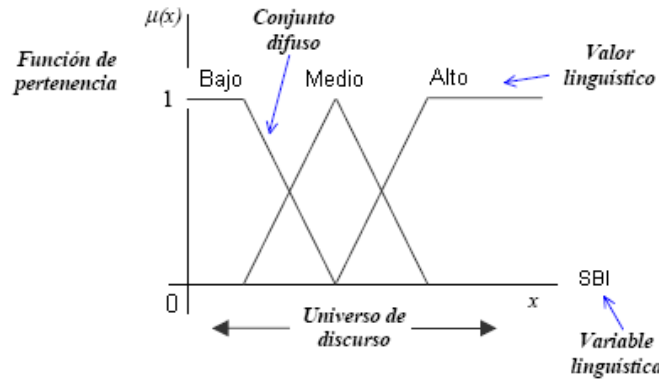


Figura 14. Conjuntos borrosos propuestos para la evaluación de cada SBI (del autor).

Actividad 2: Para la representación y construcción de las funciones de pertenencia se utilizan los modelos matemáticos: funciones triangulares y funciones trapezoidales tal y como se muestra en la Figura 15:

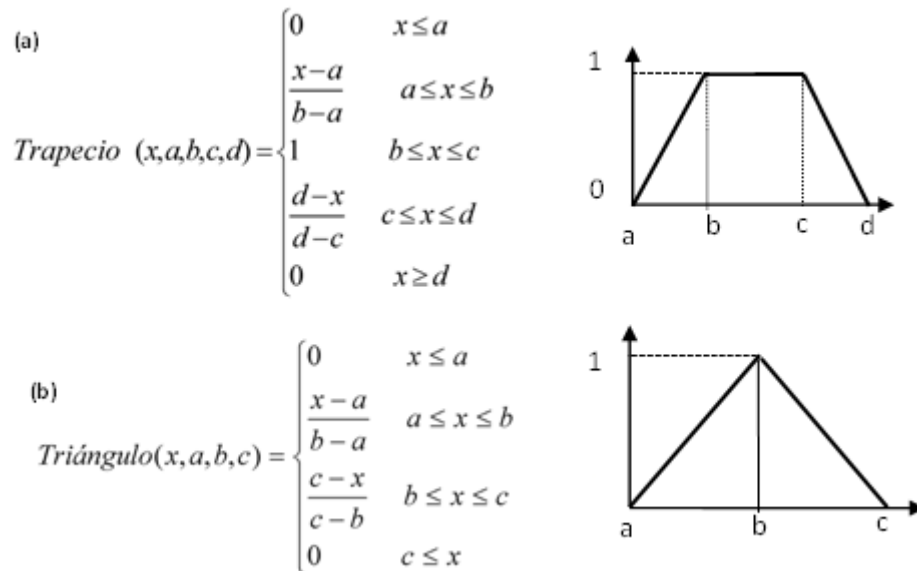


Figura 15 Definición clásica de funciones de pertenencia. (a) Trapezoidales y (b) triangulares (Piñero Pérez, 2005).

Ajustando las definiciones clásicas anteriores a los conjuntos borrosos de la Figura 14, la sección trapezoidal del extremo izquierdo de la gráfica (conjunto borroso "Bajo"), depende de dos parámetros $px1$ y $px2$, y queda denotada por la ecuación (20):

$$\mu_x = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < px1 \\ \frac{px2 - x}{px2 - px1}, & px1 \leq x \leq px2 \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases} \quad (20)$$

Donde x es el valor numérico que posee el SBI en cuestión.

La sección triangular del centro de la gráfica (conjunto borroso "Medio") depende de tres parámetros $py1$, $py2$ y $py3$, quedando denotada por (21):

$$\mu x = \begin{cases} \frac{(x - py1)}{(py2 - py1)}, & py1 \leq x < py2 \\ \frac{py3 - x}{py3 - py2}, & py2 \leq x \leq py3 \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases} \quad (21)$$

Donde x es el valor numérico que posee el SBI en cuestión.

La sección trapezoidal del extremo derecho de la gráfica (conjunto borroso "Alto"), depende de dos parámetros $pz1$ y $pz2$ y se define como (22):

$$\mu x = \begin{cases} \frac{(x - pz1)}{(pz2 - pz1)}, & pz1 \leq x < pz2 \\ 1, & x \geq pz2 \\ 0 & \text{En cualquier otro caso} \end{cases} \quad (22)$$

Donde x es el valor numérico que posee el SBI en cuestión.

La Tabla 5 muestra los conjuntos borrosos definidos para cada SBI:

Tabla 5. Conjuntos borrosos definidos para cada SBI (del autor).

-Indicador Borroso -	-SBI-	- Evaluación -											
		"Bajo"				"Medio"				"Alto"			
		a	b	c	d	a	b	c	a	b	c	d	
Índice de Calidad del Dato (ICD)	ICDP	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
	ICDE	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
	ICDV	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
	ICDPG	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
Índice de Rendimiento de la Logística (IRL)	ICARR	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.95	1	-	-	
	ICORR	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.95	1	-	-	
	ISA	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.95	1	-	-	
	ISR	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.95	1	-	-	
Índice de Rendimiento de los Recursos Humanos (IRRH)	IRHT	-	-	-0.9	-0.7	-0.8	-0.3	0.2	0	0.6	-	-	
	IRHE	-	-	0.25	0.35	0.3	0.5	0.8	0.7	0.8	-	-	
	IRHA	-	-	0.25	0.35	0.3	0.5	0.8	0.7	0.8	-	-	
	IRHF	-	-	0.9	1	0.9	1	1.1	1	1.1	-	-	
Índice de Rendimiento de la Eficacia (IREF)	ICREQ	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
	ICT	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
	IONC	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	

Actividad 3: Mediante la priorización de la evaluación de los SBIs, las variables lingüísticas y sus conjuntos borrosos son utilizados para describir relaciones en forma de reglas *IF-THEN* que se les conoce como reglas borrosas. Se define una regla borrosa **R** como una tupla (**P**, **Q**) donde **P** son los conjuntos borrosos que representan a los antecedentes y **Q** es el consecuente. En el trabajo se crearon un total de 14 reglas borrosas para el cálculo del indicador ICD, 11 reglas para el cálculo del indicador IRL, 78 reglas para el cálculo del indicador IRRH y 17 reglas para el cálculo del indicador IREF. La sintaxis y número de reglas varía en dependencia de la profundidad del análisis a realizar, se especificaron de forma manual y por el criterio de expertos. La totalidad de reglas se encuentran en (GESPRO, 2012). Las reglas que se definieron tienen la forma que sigue a continuación:

Regla 1: *IF* SBI_1 is Bajo *AND* SBI_2 is Bajo *AND* ... SBI_n is Bajo, *then* *Fuzzy_Indicator* is Mal;
 Regla 2: *IF* SBI_1 is Medio *AND* SBI_2 is Medio *AND* ... SBI_n is Medio, *then* *Fuzzy_Indicator* is Regular;
 Regla 3: *IF* SBI_1 is Alto *AND* SBI_2 is Alto *AND* ... SBI_n is Alto, *then* *Fuzzy_Indicator* is Bien;

Actividad 4: Mediante la agregación borrosa, las reglas evaluadas producen como única salida los grados de pertenencia a los conjuntos borrosos que se corresponden con la evaluación Mal, Regular o Bien alcanzada por el indicador. La Figura 16 muestra en detalle este proceso.

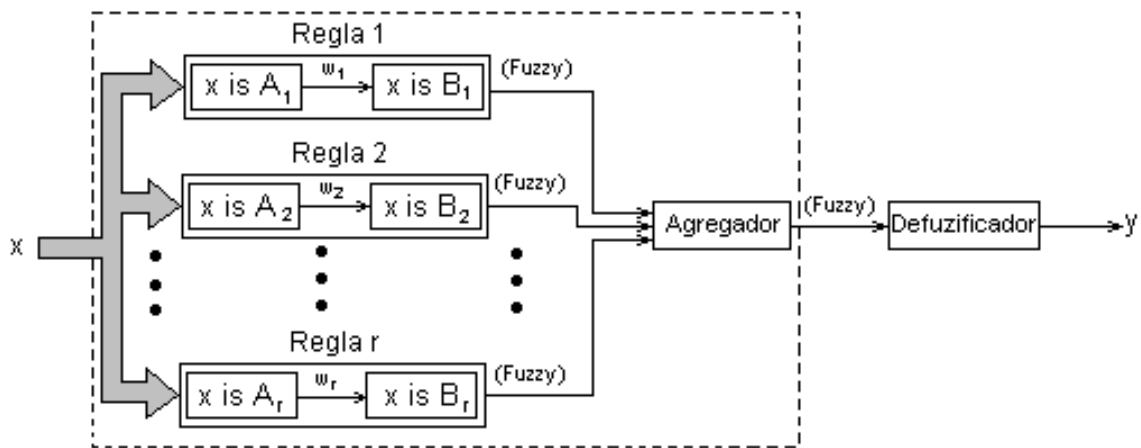


Figura 16. Esquema detallado sobre el funcionamiento de la agregación borrosa (del autor).

En la Tabla 6 se detallan los conjuntos borrosos definidos para la evaluación de cada indicador *borroso*. La gráfica utilizada para la representación de estos conjuntos coincide con la ilustrada en la Figura 14.

Tabla 6. Conjuntos borrosos definidos para la evaluación de los indicadores borrosos (del autor).

- Indicador Borroso-	- Evaluación -											
	"Bajo"				"Medio"			"Alto"				
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	
ICD	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	
IRL	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.95	1	-	-	
IRRH	-	-	0.2	0.4	0.3	0.5	0.75	0.7	0.85	-	-	
IREF	-	-	0.8	0.9	0.8	0.9	1	0.9	1	-	-	

El modelo de funcionamiento (ver Figura 17) del sistema borroso se basa en los siguientes principios:

- Se utilizará como TNorma, el Producto.
- Se utilizará como CoNorma, el Max.

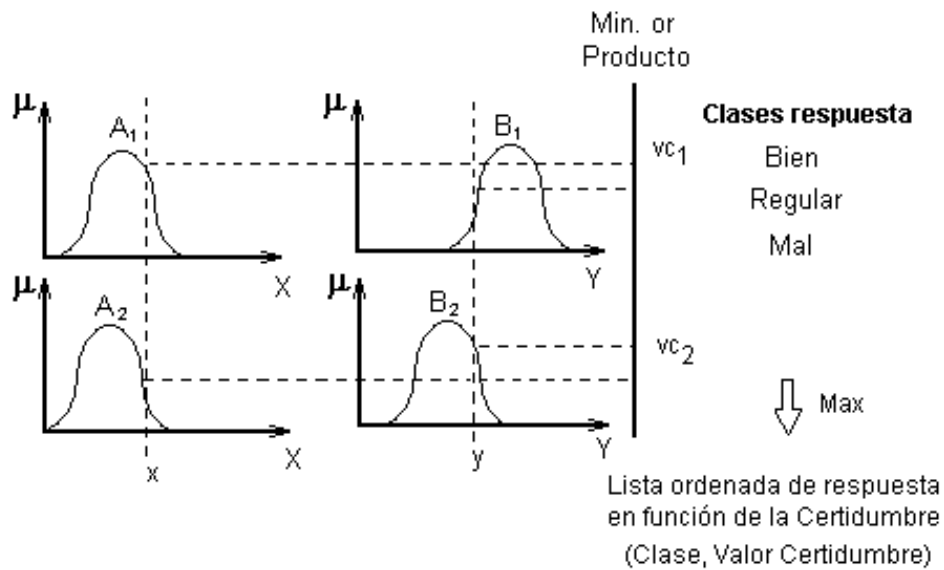


Figura 17. Modelo de funcionamiento del sistema borroso creado (del autor).

A partir de la salida suministrada por el agregador borroso se transforman los grados de pertenencia por conjunto borroso en el valor numérico aproximado de un indicador con sus grados de pertenencia por conjunto borroso. Para calcular el valor numérico se aplica el método Mamdani descrito en la Figura 18.

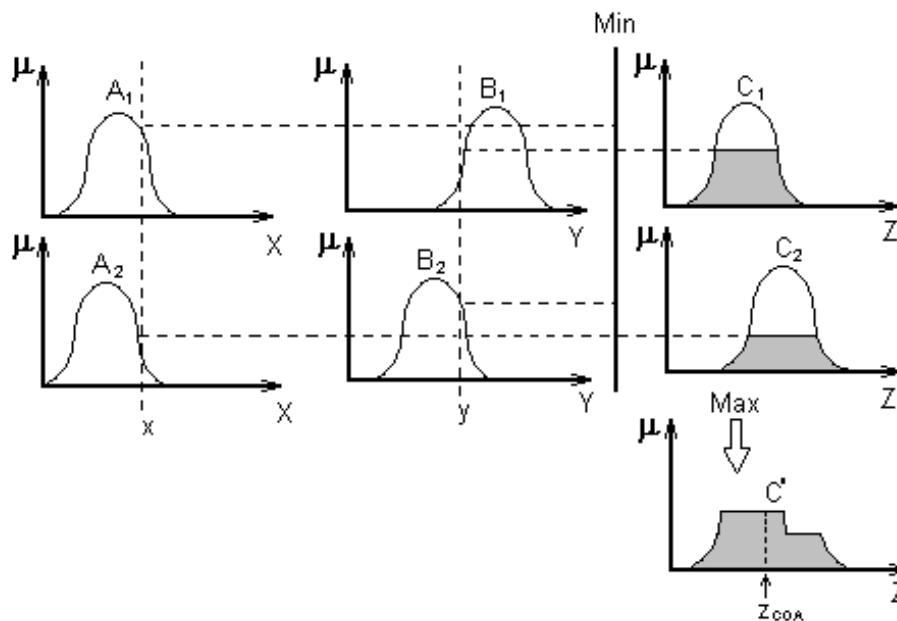


Figura 18. Sistema de Inferencia Borroso Mamdani usando Mín y Máx (Piñero Pérez, 2005).

2.2.3 Componente Evaluación de la Ejecución

Este componente utiliza un método de inferencia borroso de tipo Sugeno Grado Cero para emitir la evaluación de la ejecución del proyecto en un corte. Hace uso de los valores numéricos de siete de los ocho indicadores propuestos. Para aplicar el método planteado se desarrolla el proceso descrito en la Figura 19. Se ha enumerado en la parte superior izquierda cada actividad del proceso.

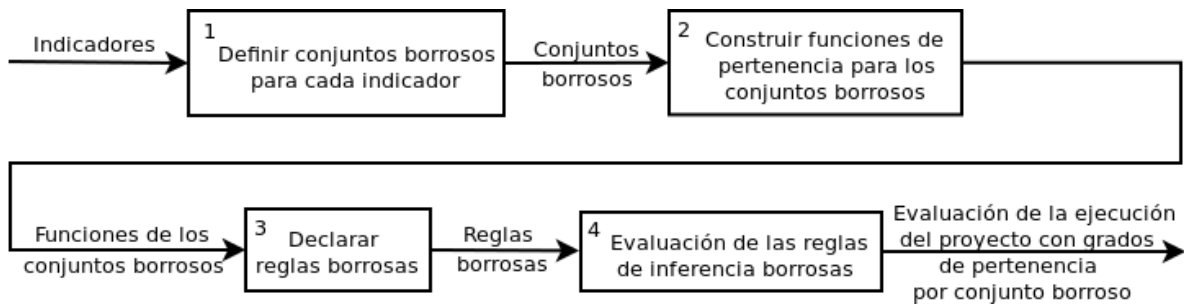


Figura 19. Proceso general donde se obtiene la evaluación de la ejecución del proyecto en un corte partiendo del uso de indicadores (del autor).

Descripción detallada del proceso:

Actividad 1: Se definen los conjuntos borrosos correspondientes con la evaluación Bajo, Medio o Alto de los indicadores IRE, IRP, IRC, ICD, IRL, IRRH e IREF. La forma en la que se propone queden definidos estos conjuntos coincide con los que se ilustran en la Figura 14.

Actividad 2: La representación y construcción de funciones de pertenencia concuerda con las que se describen en la actividad 2 de la sección anterior.

La Tabla 7 muestra cómo quedan definidos los conjuntos borrosos para los términos lingüísticos correspondientes con la evaluación de cada indicador:

Tabla 7. Conjuntos borrosos definidos para cada indicador (del autor).

- Indicador-	- Evaluación -										
	"Bajo"				"Medio"			"Alto"			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
IRE	-	-	0.5	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	-	-
IRP	-	-	0.9	1	0.9	1	1.1	1	1.1	-	-
IRC	-	-	0.9	1	0.9	1	1.1	1	1.1	-	-
ICD	-	-	0.5	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	-	-
IRL	-	-	0.5	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	-	-
IRRH	-	-	0.2	0.5	0.4	0.6	0.8	0.6	0.8	-	-
IREF	-	-	0.5	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7	0.9	-	-

Actividad 3: Mediante la priorización de la evaluación de los indicadores, las variables lingüísticas y sus conjuntos borrosos son utilizados para escribir las reglas borrosas. En el trabajo se crearon un total de 27 reglas borrosas para evaluar el proyecto. El enunciado de estas reglas se encuentran en (GESPRO, 2012). Las reglas que se definieron tienen la forma:

Regla 1: *IF* IND₁ is Bajo *AND* IND₂ is Bajo *AND* ... IND_n is Bajo, *then* "Ejecución_Proyecto Mal";

Regla 2: *IF* IND₁ is Medio *AND* IND₂ is Medio *AND* ... IND_n is Medio, *then* "Ejecución_Proyecto Regular";

Regla 3: *IF* IND₁ is Alto *AND* IND₂ is Alto *AND* ... IND_n is Alto, *then* "Ejecución_Proyecto Bien";

Actividad 4: Mediante la agregación borrosa, las reglas evaluadas producen como única salida los grados de pertenencia a los conjuntos borrosos que se corresponden con la evaluación Mal, Regular o Bien alcanzada por el proyecto. Para obtener la evaluación cualitativa final del proyecto se aplica el método Sugeno Grado Cero descrito en la Figura 20. El modelo de funcionamiento del sistema borroso se basa en los siguientes principios:

- Se utilizará como TNorma, el Producto.
- Se utilizará como CoNorma, el Max.

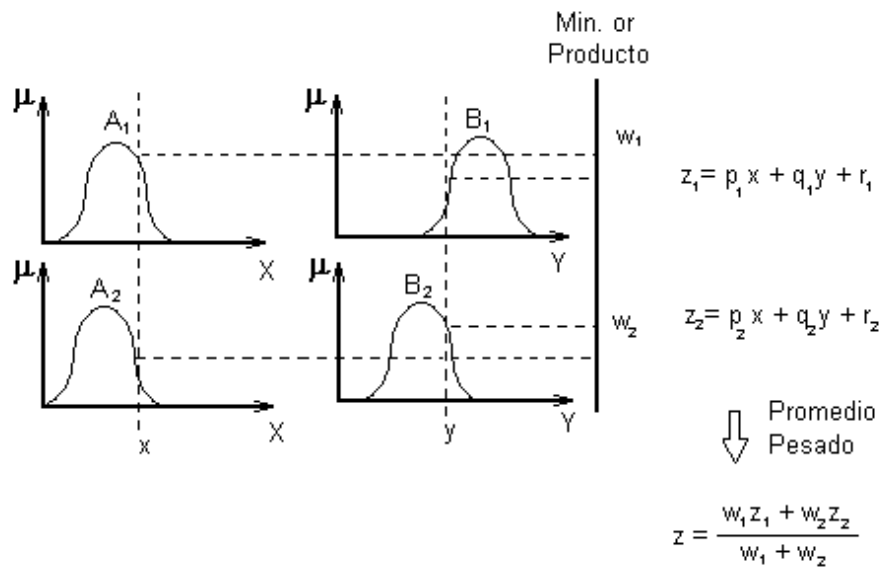


Figura 20. Sistema borroso Sugeno Grado Cero, usando min o producto como T-normas (Piñero Pérez, 2005).

2.3 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se propone un modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa, dando cumplimiento así al segundo y tercer objetivos específicos de la investigación. Al ser un modelo para el control de la ejecución de proyectos, los límites de la presente investigación se encuentran a este nivel, es decir, los indicadores y métodos de evaluación desarrollados están enfocados al proyecto, no a cualquier otra dependencia inferior o superior al mismo, como pudiera ser la tarea, empresa o ministerio, por citar algunos ejemplos, para los cuales se debe seguir otra estrategia. Apoyado en el análisis de potencialidades y limitaciones del modelo se llegan a las siguientes conclusiones:

- Potencialidades:
 - Facilidad de aplicación en la herramienta GESPRO, lo cual permite su flexibilización, evaluación y mejora continua.
 - Se proponen ocho indicadores que reflejan claramente el estado de las áreas de conocimiento de tiempo, costo, calidad, logística y rendimiento de los recursos humanos, coincidiendo con las más importantes según la tendencia identificada durante la fundamentación teórica.

- El modelo propuesto es completamente automatizado, desde el análisis de los datos primarios, hasta la caracterización y evaluación de la ejecución de los proyectos a partir de sus indicadores.
 - El modelo propuesto tiene la novedad de aplicar la lógica borrosa a los procesos de control y seguimiento de proyectos en el entorno cubano. Esto permite el manejo y reflejo de la incertidumbre presente en la información.
- Limitaciones:
- El modelo propuesto no incluye la evaluación de la ejecución del proyecto por intervalos, para lo cual es necesario tener en cuenta la prioridad del proyecto.
 - La declaración de reglas borrosas es estática y basada en expertos.
 - No se refleja el área de conocimiento de gestión de riesgos, para la cual pudiera ser recomendable definir sub-indicadores específicos que tributen a un indicador general de riesgo en el proyecto. Este último a su vez pudiera servir de entrada al componente evaluación de la ejecución del modelo propuesto.

CAPÍTULO 3: APLICACIÓN DEL MODELO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente capítulo tiene como objetivo analizar los resultados obtenidos luego de la aplicación del modelo propuesto en la versión 12.05 del Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO. En el contenido se comienza por describir una síntesis de la aplicación del modelo. A continuación, se presentan las potencialidades y debilidades del modelo aplicado mediante su caracterización y la observación de los resultados alcanzados en una encuesta dirigida a usuarios de varios roles involucrados con la explotación del modelo en diferentes escenarios. Se comparan facilidades para la toma de decisiones de la herramienta GESPRO previas y posteriores a la aplicación de este modelo. Antes de concluir, se muestra la incidencia económica y social de la propuesta en el entorno UCI. Finalmente se enuncian las conclusiones parciales del capítulo.

3.1 Síntesis de la aplicación del modelo

El modelo se aplicó en la versión 12.05 del Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO, el cual está siendo utilizado por la red de centros de desarrollo de la UCI y otras entidades nacionales para la gestión de sus proyectos desde junio del año 2011 hasta la actualidad. Para su explotación, se construyó un paquete de reportes donde la información mostrada parte de los niveles existentes en la propia estructura funcional de la universidad: Centro, Proyecto y Persona (principio de cascada).

Entre los reportes construidos para el nivel Centro se encuentra el de “Evaluación General de los Proyectos del Centro” (ver Figura 21), el cual propone la evaluación de la ejecución Bien (B), Regular (R) o Mal (M) de los proyectos en una fecha de corte utilizando el sistema de inferencia borroso de tipo Sugeno Grado Cero implementado. Nótese los grados de pertenencia de la evaluación recibida por los proyectos.

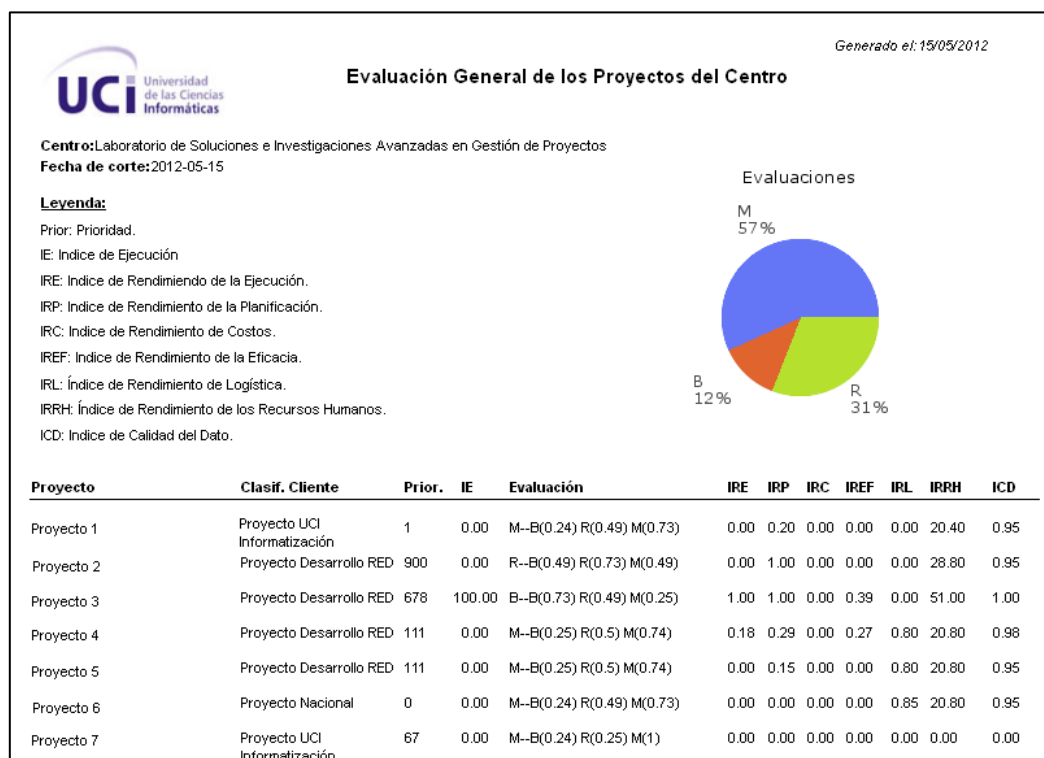


Figura 21. Reporte Evaluación General de los Proyectos del Centro (GESPRO, 2012).

También implementados para el nivel Centro, los reportes “Índice de Calidad del Dato” (Figura 22), “Índice de Rendimiento de la Logística” (Figura 23) e “Índice de Desempeño de los Recursos Humanos” (Figura 24), ofrecen el valor numérico y la evaluación de los indicadores ICD, IRL e IRRH de los proyectos respectivamente. Estos resultados son obtenidos a partir del sistema de inferencia borroso de tipo Mamdani construido, que utiliza como variables de entrada los valores de los sub-indicadores correspondientes.

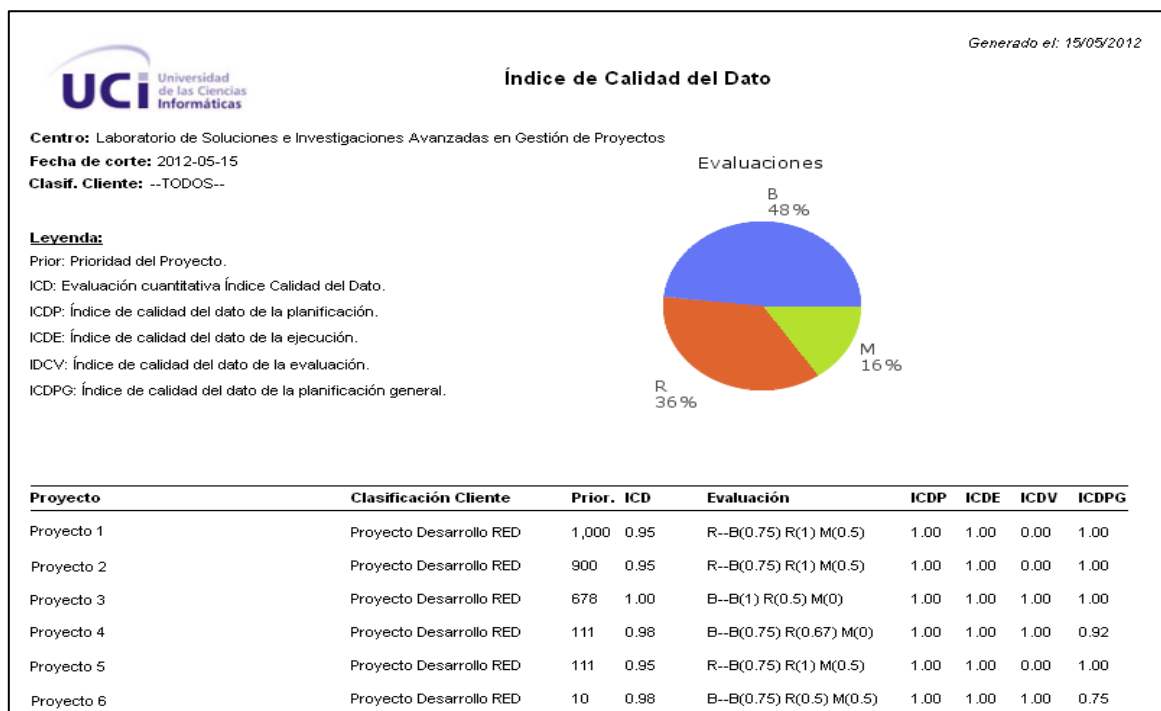


Figura 22. Reporte Índice de Calidad del Dato. Se evalúa automáticamente el ICD de cada proyecto partiendo del cómputo de los sub-indicadores ICDP, ICDE, ICDV e ICDPG (GESPRO, 2012).

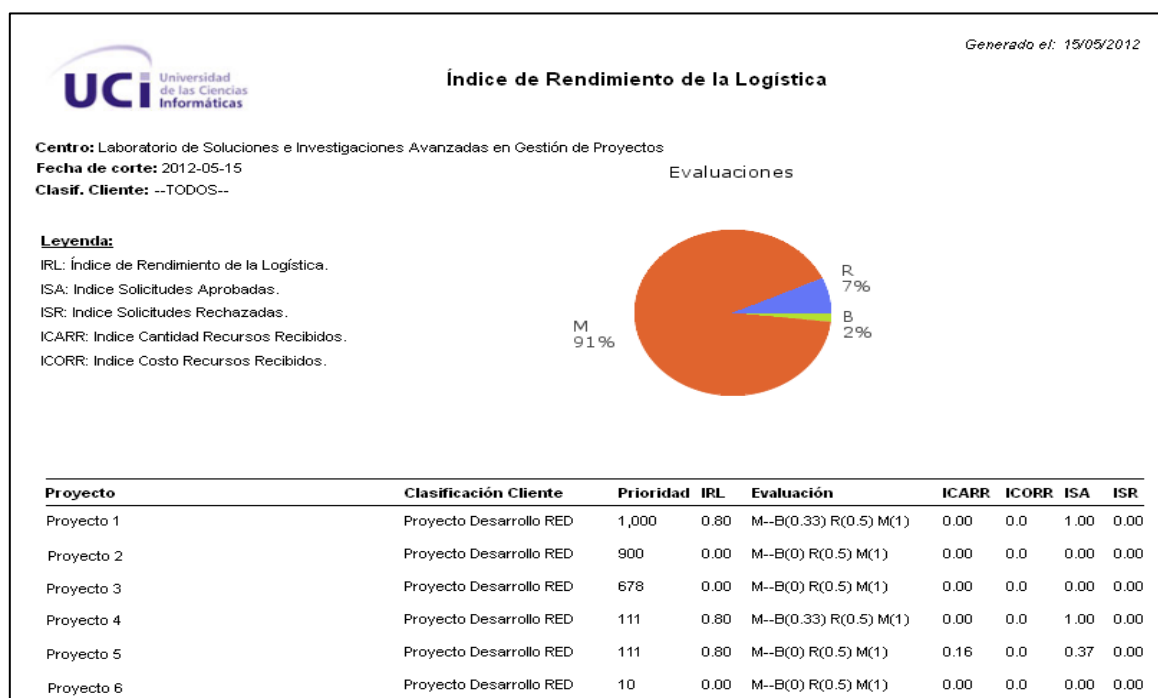
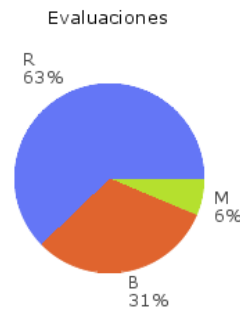


Figura 23. Reporte Índice de Rendimiento de la Logística. Se evalúa automáticamente el IRL de cada proyecto partiendo del cómputo de los sub-indicadores ICARR, ICORR, ISA e ISR (GESPRO, 2012).

Centro: Laboratorio de Soluciones e Investigaciones Avanzadas en Gestión de Proyectos
 Fecha de corte: 2012-05-21
 Clasif. Cliente: --TODOS--

Legenda:

IRRH: Índice de Rendimiento de los RRHH.
 IRHT: Índice de Correlación del Recurso Humano con respecto al Trabajo.
 IRHE: Índice de Rendimiento del Recurso Humano con respecto a la Eficacia.
 IRHA: Índice de Rendimiento del Recurso Humano con respecto a su Aprovechamiento.
 IRHF: Índice de Rendimiento del Recurso Humano con respecto a la Eficiencia.



Proyecto	Clasificación Cliente	Prioridad	IRRH	Evaluación	IRHT	IRHE	IRHA	IRHF
Proyecto 1	Proyecto Desarrollo RED	2	50.18	R--B(0.6) R(0.93) M(0.9)	0.17	0.9	0.69	0.86
Proyecto 2	Proyecto Desarrollo RED	2	78.55	B--B(0.57) R(0.53) M(0.1)	0.30	1.0	1.10	1.00
Proyecto 3	Proyecto Desarrollo RED	2	50.08	R--B(0.73) R(0.97) M(0.9)	0.30	1.0	3.06	0.64
Proyecto 4	Proyecto Desarrollo RED	2	50.08	R--B(0.8) R(0.97) M(0.2)	0.34	1.0	0.94	0.49
Proyecto 5	Proyecto Desarrollo RED	2	50.10	R--B(0.61) R(0.96) M(0.9)	0.22	0.8	1.49	0.88
Proyecto 6	Proyecto Exportación	2	51.00	R--B(0.16) R(0.6) M(0.1)	1.00	0.0	1.58	1.01

Figura 24. Reporte Índice de Desempeño de los Recursos Humanos. Se evalúa automáticamente el IRRH de cada proyecto partiendo del cómputo de los sub-indicadores IRHT, IRHE, IRHA e IRHF (GESPRO, 2012).

Para el nivel Proyecto, se construyeron reportes sobre tendencias de las medidas que conforman los indicadores IRE, IRC e IRP del proyecto para los hitos de ejecución y tareas respectivamente así como el estado de cada tarea con respecto al IRP e IRC (Figura 25 y Figura 26).

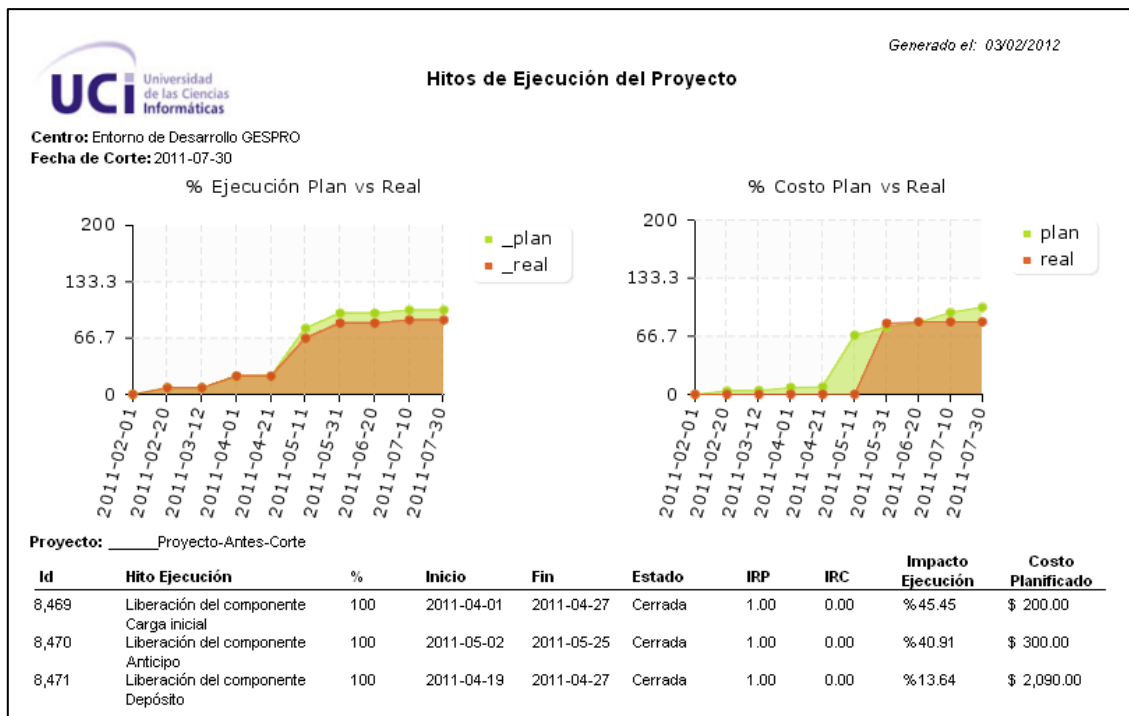


Figura 25. Reporte Hitos de Ejecución del proyecto. Muestra el IRP de cada hito y el estado de avance del proyecto en cuanto al tiempo y costos asociados (GESPRO, 2012).

3.2 Potencialidades y debilidades del modelo aplicado

Según (Rodríguez Batista, 2005) los resultados concluidos y aplicados constituyen una fuente del impacto, pero la identificación de los impactos por parte de los usuarios del nuevo conocimiento permite alcanzar una valoración más cercana del impacto social obtenido, toda vez que éstos mantienen una interacción mayor con el sector social beneficiado que los propios productores del nuevo conocimiento.

3.2.1 Indicadores

Como parte de las actividades efectuadas para evaluar el potencial del modelo aplicado, se elaboró una encuesta (ver Anexo 1, 2da parte) con la intención de ser aplicada en el 60 % de los escenarios donde se encontraba implantado GESPRO 12.05. El objetivo de la misma fue conocer los criterios existentes acerca de la calidad de los indicadores propuestos dada por la facilidad de cálculo, comprensibilidad y confiabilidad de los mismos, características que deben poseer según Pressman (Pressman, 2001) para ser considerados óptimos.

Para la validación de la fiabilidad del cuestionario confeccionado (Aragón González, 2012) se aplicó una ensayo piloto a ocho expertos (ver Anexo 2) y utilizando la herramienta SPSS (SPSS-Inc, 2004) se ejecutó la prueba del coeficiente Alfa de Cronbach (Cronbach, 1951) sobre los datos recolectados. Este tipo de prueba es muy recomendable aplicarla a cuestionarios con respuestas de tipo Likert, donde cada ítem o pregunta se responde de acuerdo a números que representan grados de acuerdo o desacuerdo (Alto, Medio o Bajo en este caso). Los resultados de la prueba se muestran en la Figura 28.

Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	Cronbach's Alpha Based on Standardized Items	N of Items
.873	.873	2

Figura 28. Resultados obtenidos en la prueba Alfa de Cronbach para validar la fiabilidad del cuestionario confeccionado para conocer sobre la validez de los indicadores propuestos (SPSS-Inc, 2004).

Según la literatura se considera que valores del alfa superiores a 0.7 son suficientes para garantizar la fiabilidad de la escala. El coeficiente obtenido fue de 0.873 donde se analizaron solamente la correlación de 2 preguntas, ya que la primera pregunta relacionada con la facilidad de cálculo de los indicadores tuvo cero varianza (todos los expertos respondieron de la misma manera). Dado el resultado positivo obtenido en esta prueba se consideró oportuno aplicar el citado cuestionario.

La encuesta estuvo dirigida a inspectores de la Oficina de Gestión de Proyectos (OGP), jefes de proyecto, revisores de calidad, asesores de planificación y control, así como directores de centros (ver Anexo 3). En la Figura 29 y Figura 30 se pueden observar el por ciento de encuestados

involucrados por centro así como la distribución de roles que intervinieron en la misma respectivamente.

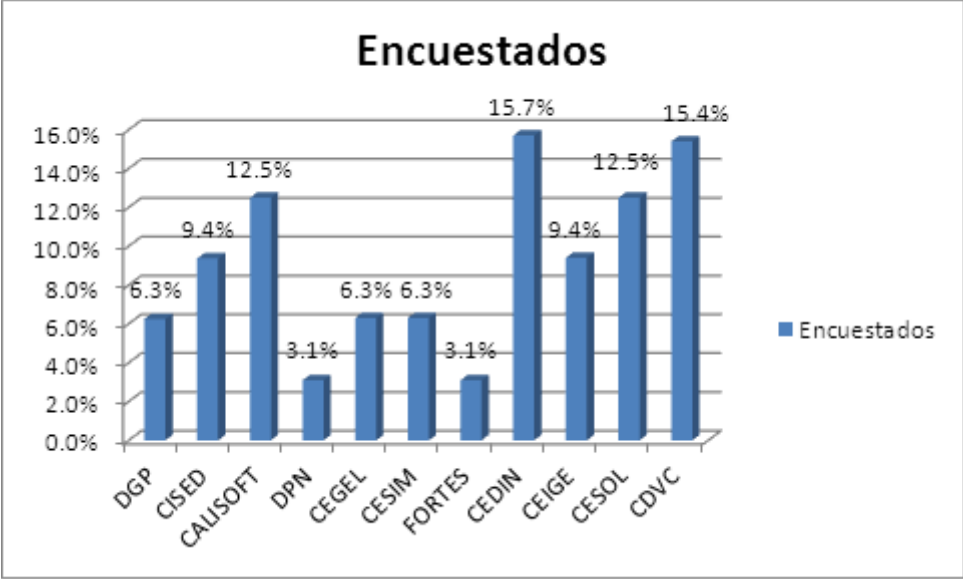


Figura 29. Por ciento de encuestados involucrados por centro (del autor).

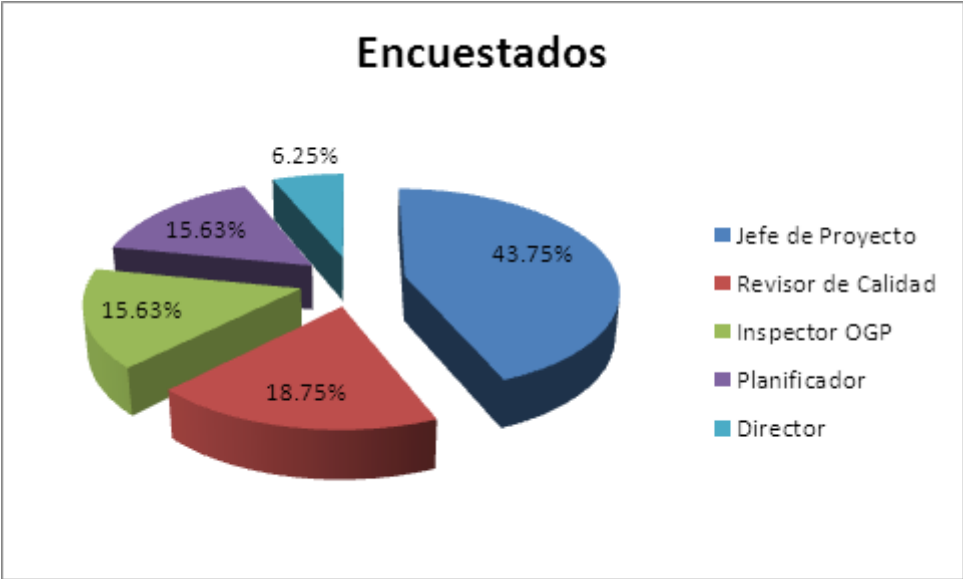


Figura 30. Distribución de roles que intervinieron en la encuesta (del autor).

Los resultados de esta encuesta (ver Figura 31) arrojaron que la mayoría de los usuarios consideraron como “Alta” la facilidad de cálculo de los indicadores dado que los mismos son procesados por la propia plataforma y puestos a su disposición. Sin embargo, la consideración “Alta” fue disminuyendo conforme se iban acercando a los criterios relacionados con la comprensibilidad y confiabilidad.

La causa de este comportamiento en la comprensibilidad se puede deber además a las necesidades de capacitación que aún existen en estos escenarios. En el caso de la confiabilidad los motivos estuvieron en que algunos encuestados consideran que aún se necesita continuar mejorando en

lograr que los usuarios cobren conciencia de registrar sus actividades sobre la plataforma, pues hasta tanto esta disciplina no se logre los indicadores no tendrán la fidelidad necesaria para tomar decisiones.

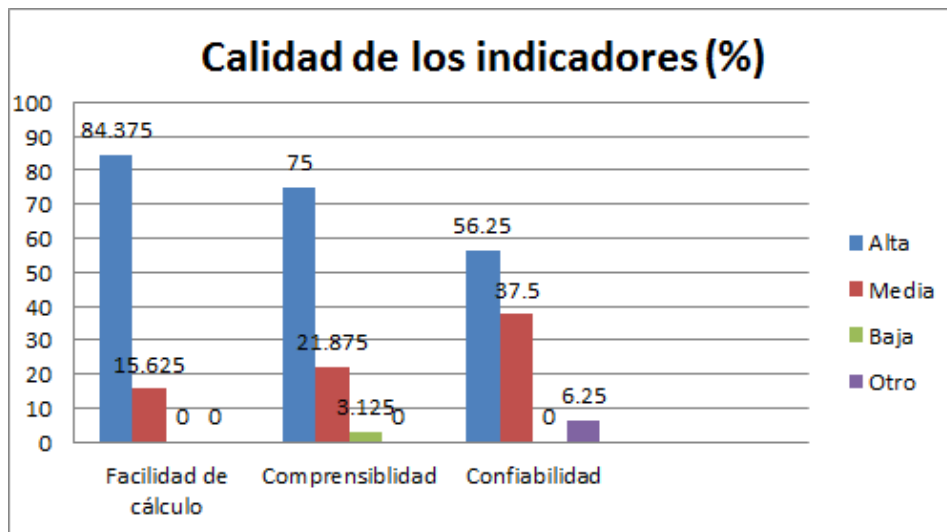


Figura 31. Resultados de la encuesta sobre la calidad de los indicadores (del autor).

3.2.2 Método de evaluación de la ejecución

Otro de los aspectos analizados para evaluar el potencial del modelo aplicado fue caracterizar el método de evaluación de la ejecución de proyectos propuesto. Para esto se tuvieron en cuenta las siguientes características:

- Cubrimiento de las áreas de conocimiento.
- Mecanismo de recolección de datos.
- Utilización de indicadores.
- Tipo de procesamiento.
- Tiempo de respuesta.
- Tolerancia a la incertidumbre.
- Mecanismo de generación de reportes.

3.2.2.1 Cubrimiento de las áreas de conocimiento

Según lo analizado en el capítulo 1, PMBOK (PMI, 2009) propone nueve áreas de conocimiento en torno a la gestión de proyectos. Su propia metodología sugiere que el control y seguimiento de proyectos se puede realizar mediante el uso de indicadores para cada una de estas áreas.

El método de evaluación de la ejecución de proyectos propuesto utiliza como entrada seis de las nueve áreas de conocimiento propuestas por el PMBOK. Estas entradas están representadas por los indicadores calculados relacionados con Integración, Tiempo, Costo, Calidad, Logística y Rendimiento de los Recursos Humanos (ver Tabla 4). Considerando que el total de áreas de conocimiento a las cuales se les puede aplicar control y seguimiento se limitan a ocho, ya que el área de conocimiento

de Gestión de Comunicaciones se utiliza para informar el control y seguimiento del proyecto, el porcentaje de cubrimiento del método de evaluación estaría en el orden del 75 %. Esta magnitud es significativa (ver Figura 32) si se tiene en cuenta además que entre las áreas cubiertas se incluyen las principales para su control referidas en la literatura (Costo, Tiempo, Calidad, Logística y Rendimiento de los Recursos Humanos).

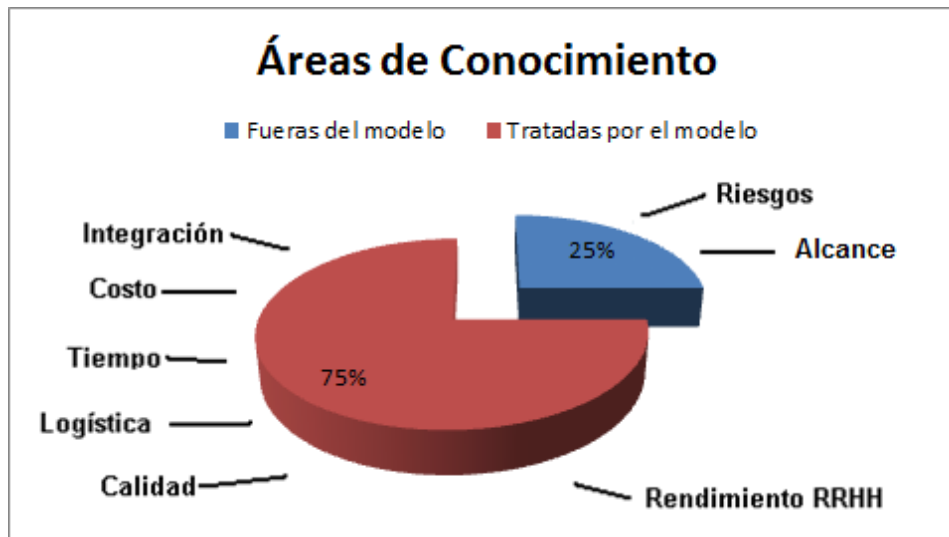


Figura 32. Por ciento de cubrimiento de áreas de conocimiento de la gestión de proyectos que brinda el modelo propuesto (del autor).

3.2.2.2 Mecanismo de recolección y procesamiento de información

El mecanismo de recolección de datos y procesamiento de la información funciona de forma automatizada. Para esto se implementaron un total de 502 funciones en lenguaje PL/PGSQL sobre la base de datos de GESPRO con el fin de calcular los algoritmos definidos para cada uno de los componentes del modelo.

No obstante, a dos meses de desplegarse el modelo en los centros productivos de la UCI se identificó los siguientes problemas:

1. El reporte Evaluación General de los Proyectos del Centro (el más complejo ya que resume toda la información sobre los indicadores y evaluación de la ejecución de cada proyecto del centro) tardaba un promedio de 6 horas en ejecutarse.
2. Los usuarios no podían utilizar el módulo de Reportes nuevamente hasta tanto no cargara la información del reporte anterior.

Esto provocó descontento entre los usuarios. Entre las causas que daban origen al problema se sospechaba encontrar una relación entre la magnitud de información que manejaban los centros y el

tiempo que tardaban los algoritmos en su ejecución. La Tabla 8 muestra el estudio que se realizó en noviembre del año 2011 para aceptar o rechazar tal hipótesis.

Tabla 8. Relación entre tamaño de la base de datos (BD) de GESPRO y tiempo de ejecución del reporte Evaluación General de los proyectos del Centro. Noviembre del 2011 (del autor).

- Centro -	- Tamaño BD GESPRO (Mb) -	- Tiempo ejecución (Horas) -
CISED	4.7	3.8
CENIA	2.8	1.4
CESOL	4.5	3.7
CIDI	3.4	2.6
TLM	8.5	7.7
ISEC	2.4	1.4
CEGEL	7.9	6.3
CEIGE	14.8	8.9
FORTES	12.9	8.8
CEDIN	8.7	7.8
CDAE	3.5	2.6
DATEC	5.6	4.9
GEYSED	7.8	6.2
CESIM	6.3	4.8
CDFRAR	2.1	1.3
CDFRCA	1.6	0.9
CDFRGR	3.8	2.6
CDVC	4.5	3.7
CDHOL	2.6	1.4

La Figura 33 muestra el resultado gráfico de la prueba de correlación de Pearson que se efectuó para los datos recolectados correspondientes con las variables tamaño de la base de datos y tiempo de ejecución. El análisis de la tendencia demostró la hipótesis de que los algoritmos implementados se enfrentaban a una “subida” de tiempo en su ejecución en tanto mayor fuera la cantidad de datos a procesar desde la plataforma.

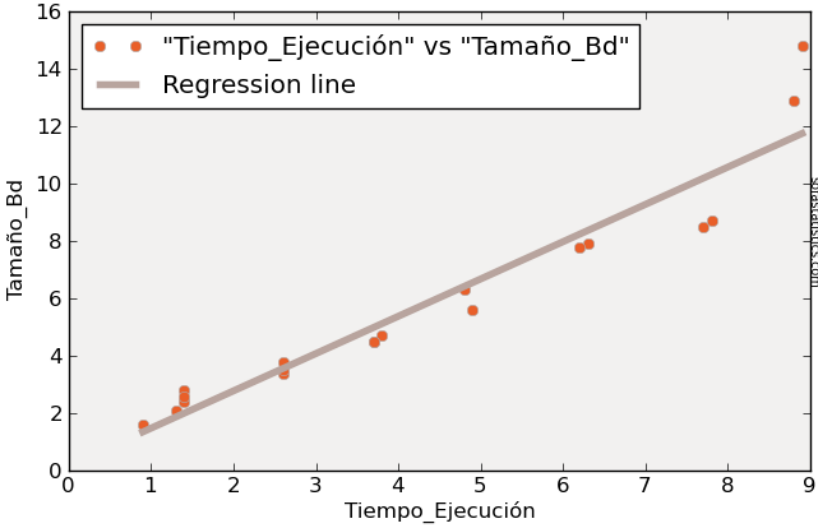


Figura 33. Prueba de correlación de Pearson. Variables Tiempo de Ejecución y Tamaño de la Base de Datos de GESPRO (SOFA, 2012).

Actualmente, el tiempo de respuesta del reporte Evaluación General de los Proyectos del Centro (Figura 21) está registrado en el orden de los segundos. Este resultado fue posible gracias a la implementación de un *script* en lenguaje Bash denominado GESPROStatBash, que con la ayuda de tareas programadas del sistema operativo de los servidores, pre calcula los indicadores hacia una línea base teniéndolos listos para su visualización a solicitud de los clientes. La Figura 34 muestra el proceso descrito, así como una gráfica con los tiempos promedio de pre calculado de indicadores y consultas a la línea base conforme crecen los cortes y la información.

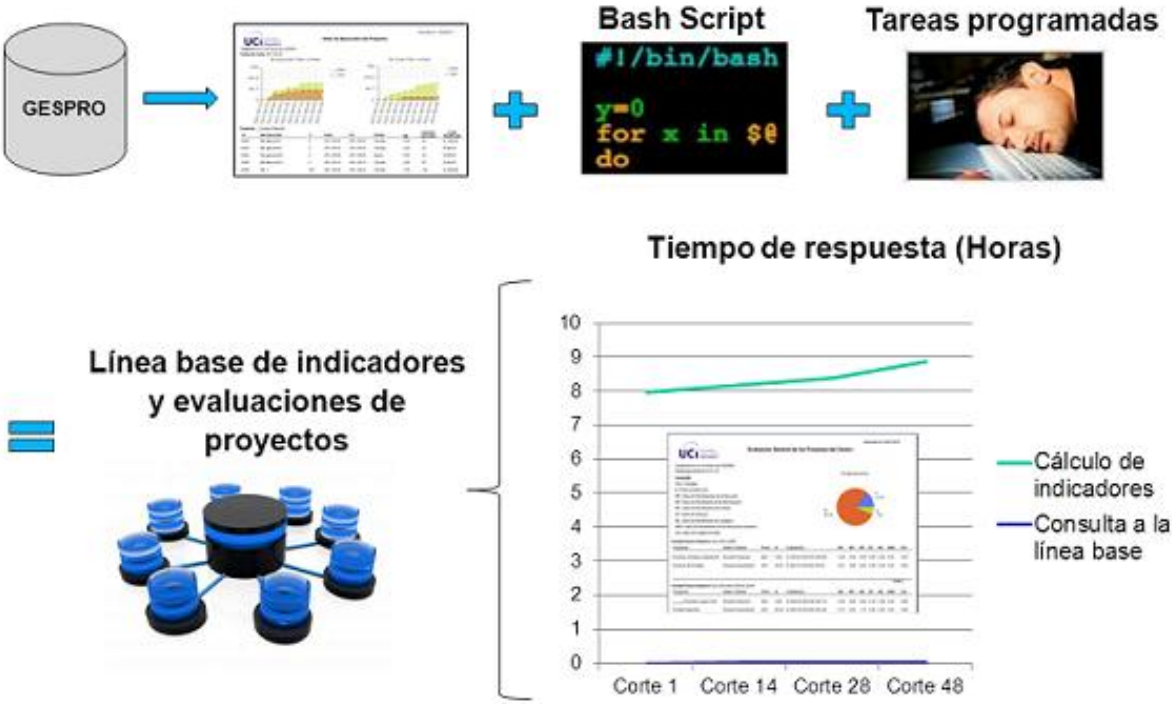


Figura 34. GESPROStatBash: utilizado para disminuir el tiempo de respuesta del reporte más complejo empleado para la explotación del modelo (del autor).

3.2.2.3 Tolerancia a la incertidumbre

Tendencias analizadas en el marco teórico de la investigación demostraban que el tratamiento a la incertidumbre se consideraba un requisito indispensable a tener en cuenta durante la gestión de proyectos. Más aún en términos de comunicación de resultados si se quiere mejorar la toma objetiva de decisiones. Sin embargo, sobre ninguna de las herramientas de gestión de proyectos que se encontraron en el marco del estudio que se realizó en este trabajo (ver Figura 9), se aplicaban modelos que tuvieran en cuenta este principio.

Gracias a la aplicación del modelo en la herramienta GESPRO 12.05, específicamente mediante la implementación de sistemas de inferencia borrosos como el de Mamdani para el cálculo de indicadores borrosos y el de Sugeno Grado Cero para evaluar la ejecución del proyecto en el corte a partir de los indicadores propuestos, este producto se logró situar por encima del resto de las herramientas de gestión de proyectos existentes a nivel mundial en cuanto al tratamiento de la

incertidumbre durante el procesamiento de la información y la comunicación de resultados (ver Anexo 4).

Sin embargo, aún existen aspectos de mejora para el modelo y su tolerancia a la incertidumbre. Aunque el análisis borroso de los datos se realiza de forma automática, el mismo está basado en el conocimiento de los expertos. La producción de reglas borrosas tiene un carácter estático. Esto significa que el modelo propuesto necesita ser revisado periódicamente en la medida que cambien los criterios de los expertos. Solo así podrá ser mejorado continuamente y con ello la declaración de las reglas. De esta manera, tanto la evaluación de la ejecución de los proyectos como la evaluación de indicadores borrosos, tendrán vistas a obtener una mejor aproximación de sus resultados.

Otra variante para la mejora de las reglas borrosas que establecen la base del modelo lo constituye la aplicación de técnicas de aprendizaje no supervisado. Aunque para esto se necesitaría la construcción de bases de conocimiento especializadas que sustenten la ejecución de este tipo de algoritmos no objeto de interés por la presente investigación mas sí para trabajos futuros.

3.3 GESPRO 12.05: ¿Un mejor sistema?

En este apartado se pretende demostrar que con la aplicación del modelo propuesto hubo una mejora en la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO. Para lograr lo anterior se realizó una comparación entre las versiones 10.04 y 12.05 del propio sistema en cuanto a:

- Facilidades que brinda para conocer información sobre el estado de los proyectos por áreas de conocimiento.
- Tiempo requerido para la toma de decisiones mediante su utilización.
- Subjetividad de la información ofrecida para la toma de decisiones.

3.3.1 Facilidades para la toma de decisiones

Con el objetivo de comparar las facilidades que brinda GESPRO para conocer información sobre el estado de los proyectos por áreas de conocimiento se propuso la creación de una métrica denominada “Calidad de Información” (CALFOR). La métrica CALFOR puede ser utilizada para caracterizar cuantitativamente la calidad de la información que ofrece la herramienta para un área de conocimiento en cuestión, donde valores superiores con respecto a otra medición indica mayor facilidad en la toma de decisiones para esa área. La métrica se define según (23):

$$CALFOR = \frac{(UI + UG + CR)}{3} \quad (23)$$

Donde:

UI: Utiliza indicadores

UG: Utiliza gráficos

CR: Cantidad de Reportes

$$UI = \begin{matrix} 100, & Sí \\ 0 & No \end{matrix}$$

$$UG = \begin{matrix} 100, & Sí \\ 0 & No \end{matrix}$$

La Tabla 9 muestra los valores de las variables UI, UG y CR así como de la métrica CALFOR para diferentes versiones de la herramienta GESPRO, antes y después de ser aplicado el modelo respectivamente. En la comparación se tuvieron en cuenta aquellas áreas de conocimiento de la gestión de proyectos tratadas o no por el modelo (Figura 32) con vistas a señalar aspectos de mejora tanto para la herramienta como para el propio modelo.

Tabla 9. Comparación de facilidades para la toma de decisiones en diferentes versiones de GESPRO vista por áreas de conocimiento (AC) (del autor).

- GESPRO 10.04 -					- GESPRO 12.05 -			
AC	UI	UG	CR	CALFOR	UI	UG	CR	CALFOR
Integración	0	0	0	0	100	100	2	67.3
Tiempo	0	0	14	4.7	100	100	12	70.6
Costos	0	0	0	0	100	100	2	67.3
Calidad	0	0	0	0	100	100	7	69
Logística	0	0	0	0	100	100	10	70
RRHH	0	0	11	3.7	100	100	35	78.3
Riesgos	0	0	0	0	0	100	6	35.3
Alcance	0	0	0	0	0	100	10	36.7

En la Figura 35 se puede apreciar el incremento de la calidad de información brindada por la herramienta por áreas de conocimiento luego de ser aplicado el modelo en la versión 12.05 de GESPRO. Si bien las principales áreas beneficiadas fueron aquellas favorecidas con la propuesta de un indicador, también cabe señalar que las áreas correspondientes a la gestión de riesgos y alcance (fuera del modelo) obtuvieron una mejora ya que se construyeron reportes donde se incluyeron gráficos todo lo cual facilitó una mejor toma de decisiones con ayuda de la herramienta.

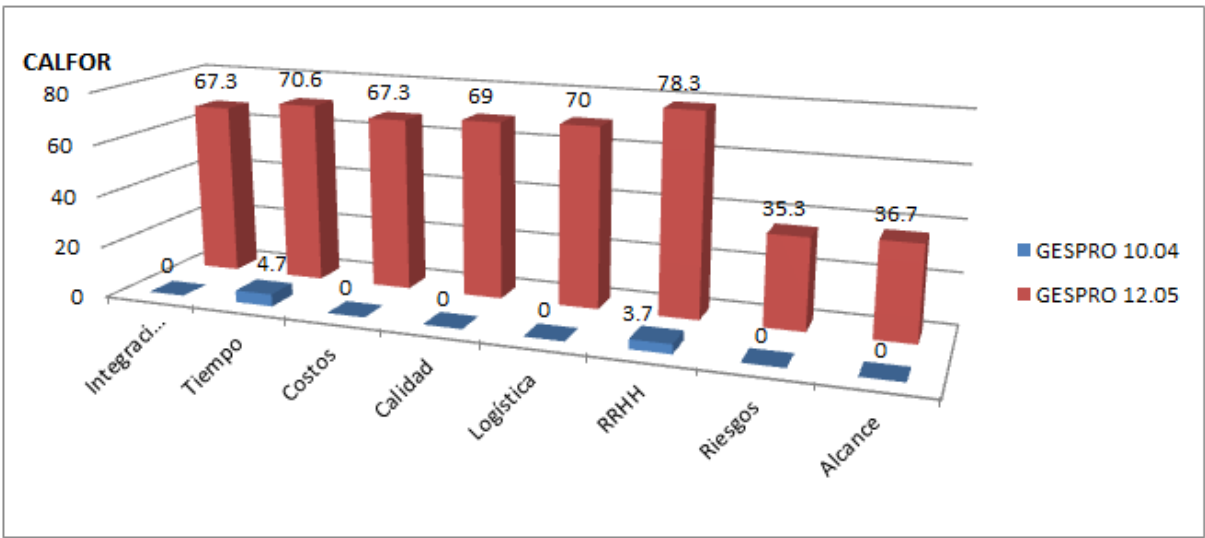


Figura 35. Cantidad de información brindada por GESPRO 12.05 luego de ser aplicado el modelo (del autor).

3.3.2 Tiempo requerido

Uno de los mayores problemas a los que se enfrentan los usuarios de cualquier tipo de herramientas de gestión de proyectos es el tiempo que emplean para lograr tomar decisiones efectivas con la información que logra ofrecer la plataforma. Con la aplicación del modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa en la herramienta GESPRO 12.05 se logró disminuir el tiempo necesario para la toma de decisiones por parte de sus usuarios.

La afirmación anterior se obtuvo gracias a los resultados de la aplicación de una encuesta, donde se compararon opiniones de los usuarios en cuanto a los tiempos empleados para informar el estado y evaluar la ejecución de un proyecto (ver Anexo 1, primera parte, preguntas 1 y 3) en diferentes versiones de la herramienta GESPRO (antes y después de ser aplicado el modelo). Los escenarios y roles que intervinieron en la encuesta aplicada coincidieron con los mostrados en la Figura 29 y Figura 30 respectivamente.

Los encuestados manifestaron su opinión evaluando el tiempo considerado seleccionando una de las posibles opciones donde:

- Casos en blanco (existía desconocimiento), se registró con el número 5.
- Más de 8 horas, se registró con el número 4.
- 1 - 8 horas, se registró con el número 3.
- 10 - 20 minutos, se registró con el número 2.
- 20 - 50 segundos, se registró con el número 1.

Para determinar si había diferencias significativas o no, se aplicó el test no paramétrico de Wilcoxon para dos muestras relacionadas con el método de Monte Carlo para un 99% de intervalo de confianza. En la ejecución del test se utilizó el paquete estadístico SPSS. La Figura 36 muestra los estadígrafos básicos y de percentiles obtenidos para cada una de las muestras.

Descriptive Statistics								
	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
Informar_Estado_GESPRO_10.04	32	3.3750	.79312	2.00	5.00	3.0000	3.0000	4.0000
Evaluar_Ejecución_GESPRO_10.04	32	3.2188	.90641	2.00	5.00	3.0000	3.0000	3.0000
Informar_Estado_GESPRO_12.05	32	1.6875	.78030	1.00	5.00	1.0000	2.0000	2.0000
Evaluar_Ejecución_GESPRO_12.05	32	1.6563	.86544	1.00	5.00	1.0000	1.5000	2.0000

Figura 36. Estadígrafos obtenidos para cada una de las muestras relacionadas (SPSS-Inc, 2004).

Los resultados demostraron que la media de los usuarios consideró que el tiempo para informar el estado del proyecto con ayuda de la herramienta, varió en el orden de las horas a los minutos en la nueva versión del sistema. Asimismo ocurrió con el tiempo empleado por los usuarios para evaluar la ejecución del proyecto, donde de manera general predominó una tendencia de este a disminuir del orden de las horas a los segundos. Se apreció además, para cada una de las muestras, una

disminución en los valores de la desviación estándar lo que significó una mayor uniformidad en las opiniones de los encuestados sobre estos tiempos hacia la más reciente versión.

En la Figura 37 se muestran los resultados finales de la aplicación del test de Wilcoxon para cada una de las muestras utilizando el método de simulación de Monte Carlo con un 99% de su intervalo de confianza.

			Informar_ Estado_ GESPRO_12. 05 - Informar_ Estado_ GESPRO_10. 04	Evaluar_ Ejecución_ GESPRO_12. 05 - Evaluar_ Ejecución_ GESPRO_10. 04
Z			-4.879 ^a	-4.796 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)			.000	.000
Monte Carlo Sig. (2-tailed)	Sig.		.000	.000
	99% Confidence Interval	Lower Bound	.000	.000
		Upper Bound	.000	.000
Monte Carlo Sig. (1-tailed)	Sig.		.000	.000
	99% Confidence Interval	Lower Bound	.000	.000
		Upper Bound	.000	.000

a. Based on positive ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test

c. Based on 10000 sampled tables with starting seed 2000000.

Figura 37. Resultados del test de Wilcoxon bajo simulación de Monte Carlo para el criterio “tiempo” (SPSS-Inc, 2004).

Los valores inferiores a 0.05 obtenidos indicaron diferencias significativas tanto en la variable tiempo para informar estado como en la variable tiempo para evaluar la ejecución del proyecto por parte del usuario con ayuda de la herramienta. Esto significó que la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO 12.05 aumentó en relación a su anterior versión la 10.04.

3.3.3 Subjetividad de la información

La subjetividad en la información es otro de los problemas a los que se enfrentan los usuarios de cualquier tipo de herramientas de gestión de proyectos. Según la Real Academia Española (RAE, 2012), la subjetividad está relacionada “a nuestro modo de pensar o de sentir y no al objeto en sí mismo”. La ausencia de indicadores e incertidumbre de la información en estos entornos automatizados incrementa la subjetividad ya que cualquier intento de resumen o comunicación de la misma iría cargado de un fuerte componente humano y no se basaría en la evidencia, que al ser tratada adecuadamente permitiría obtener resultados más objetivos.

Con la aplicación del modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en indicadores y lógica borrosa en la herramienta GESPRO 12.05, se logró disminuir la subjetividad en la toma de decisiones por parte de sus usuarios.

La afirmación anterior se obtuvo gracias a los resultados de la aplicación de la encuesta analizada hasta el momento (ver Anexo 1, primera parte, pregunta 2), donde se compararon opiniones de los usuarios en cuanto a la subjetividad de los informes emitidos por la herramienta para evaluar la ejecución del proyecto en diferentes versiones de la misma (antes y después de ser aplicado el modelo).

Los encuestados manifestaron su opinión evaluando la subjetividad seleccionando una de las posibles opciones donde:

- Casos en blanco (existía desconocimiento), se registró con el número 4.
- Alta, se registró con el número 3.
- Media, se registró con el número 2.
- Baja, se registró con el número 1.

Para determinar si había diferencias significativas o no, se aplicó el test no paramétrico de Wilcoxon para dos muestras relacionadas con el método de Monte Carlo para un 99% de intervalo de confianza. En la ejecución del test se utilizó el paquete estadístico SPSS. La Figura 38 muestra los estadígrafos básicos y de percentiles obtenidos para cada una de las muestras.

	N	Mean	Std. Deviation	Minimum	Maximum	Percentiles		
						25th	50th (Median)	75th
Subjetividad_GESPRO_10.04	32	2.7813	.65915	1.00	4.00	2.0000	3.0000	3.0000
Subjetividad_GESPRO_12.05	32	1.3438	.74528	1.00	4.00	1.0000	1.0000	1.0000

Figura 38. Estadígrafos descriptivos sobre el criterio subjetividad de cada muestra analizada (SPSS-Inc, 2004).

Los resultados obtenidos para este caso demostraron que para la media y el 75 % de los usuarios existió una variación de la subjetividad de Alta a Baja. En la Figura 39 se muestran los resultados finales de la aplicación del test de Wilcoxon para cada una de las muestras analizadas bajo este criterio utilizando el método de simulación de Monte Carlo con un 99% de su intervalo de confianza.

		Subjetividad_GESPRO_12.05 - Subjetividad_GESPRO_10.04
Z		-.4460 ^a
Asymp. Sig. (2-tailed)		.000
Monte Carlo Sig. (2-tailed)	Sig.	.000
	99% Confidence Interval	Lower Bound Upper Bound
		.000 .000
Monte Carlo Sig. (1-tailed)	Sig.	.000
	99% Confidence Interval	Lower Bound Upper Bound
		.000 .000

a. Based on positive ranks.

b. Wilcoxon Signed Ranks Test

c. Based on 10000 sampled tables with starting seed 2000000.

Figura 39. Resultados test de Wilcoxon bajo simulación de Monte Carlo para el criterio "subjetividad" (SPSS-Inc, 2004).

Los resultados finales del test arrojan valores menores a 0.05 lo cual indica que hubo diferencias significativas para la variable analizada entre ambas versiones de la herramienta. Esto demuestra que se produjo una disminución del factor subjetividad en la versión 12.05 del sistema GESPRO.

3.4 Incidencia económica y social de la propuesta en el entorno UCI

Con la aplicación del modelo propuesto en el Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO 12.05 se han beneficiado en el entorno de la UCI un total 19 centros de desarrollo de tecnologías de la información donde se gestionan como promedio⁵ un total de 200 proyectos. En la Tabla 10 se puede apreciar, para algunos de estos centros, la cantidad de proyectos por tipo de clasificación cliente favorecidos con la aplicación de este modelo.

Tabla 10. Proyectos beneficiados con la aplicación del modelo (Junio 2012) (DGP, 2012).

-Centro-	-E. Admin.-	-Des. Red-	-Exp.-	-Nac.-	-UCI Inf.-	-Subproy.-	-Total-
CDAE	1	8	4	4	2	0	19
Holguín	0	1	0	1	0	0	2
Villa Clara	1	0	1	2	0	0	4
GEYSED	0	5	4	9	2	0	20
CEGEL	1	2	4	6	0	0	13
CISED	0	18	11	2	0	0	31
CEDIN	0	1	5	3	0	0	9
CESIM	0	7	4	13	0	1	25
CEIGE	1	5	3	7	1	0	17
ISEC	0	1	14	2	0	0	17
CENIA	0	5	7	6	17	0	35
CIDI	0	5	1	10	1	1	18
FORTES	0	2	10	1	4	0	17
TLM	0	1	14	7	0	0	22
CESOL	0	6	0	8	1	1	16
DATEC	0	4	10	16	1	2	33
Totales	4	71	92	97	29	5	298

Leyenda:

E. Admin: Proyectos de Estructura administrativa.

| Nac: Proyectos nacionales.

Des.Red: Proyectos para el Desarrollo de la red de la UCI.

| Exp: Proyectos de exportación.

UCI Inf: Proyectos para la informatización de la universidad.

| Subproy: Subproyecto.

⁵ Basado en el uso de la herramienta desde la aplicación del modelo en junio del 2011 hasta junio del 2012.

Además, un promedio⁶ de 6000 usuarios de la herramienta GESPRO 12.05, con diferentes niveles de especialización y roles resultaron favorecidos como consumidores potenciales de la tecnología introducida. En la Figura 40 y Figura 41 se detallan las cifras por tipo de usuario para algunos centros de la red según datos de la Dirección General de Producción (DGP, 2012).

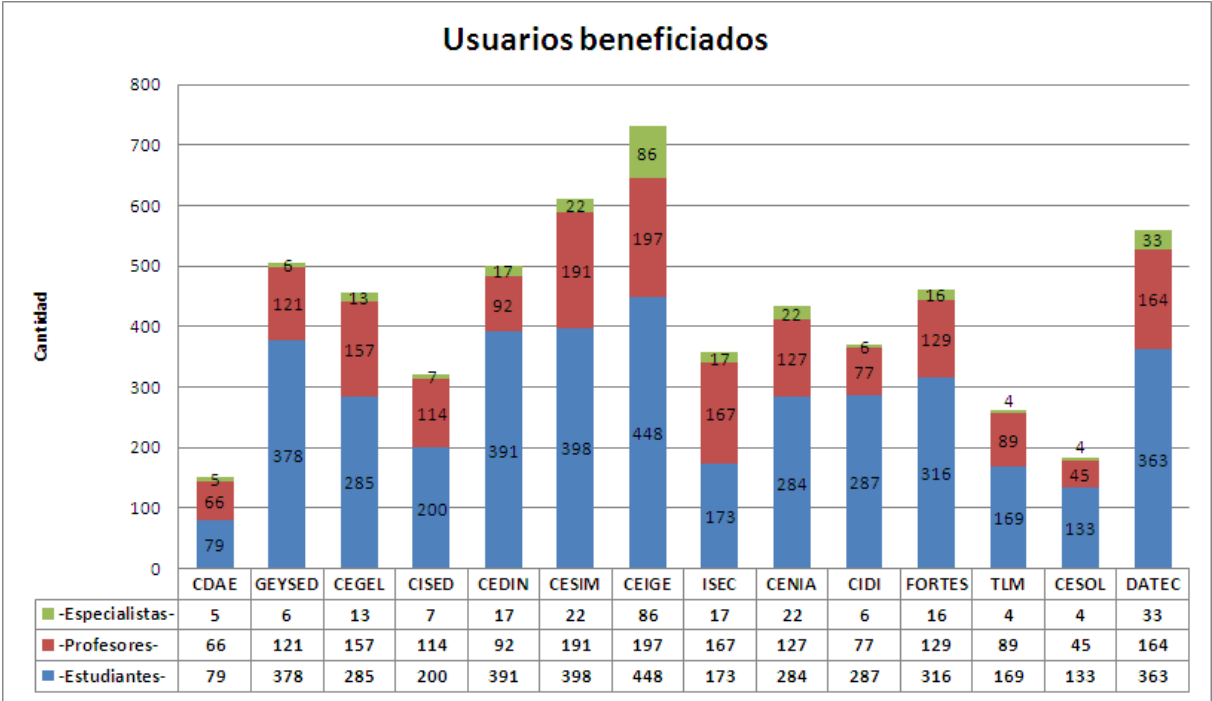


Figura 40. Usuarios potencialmente beneficiados con la aplicación del modelo en GESPRO 12.05 en la red de centros de desarrollo de la UCI (del autor).

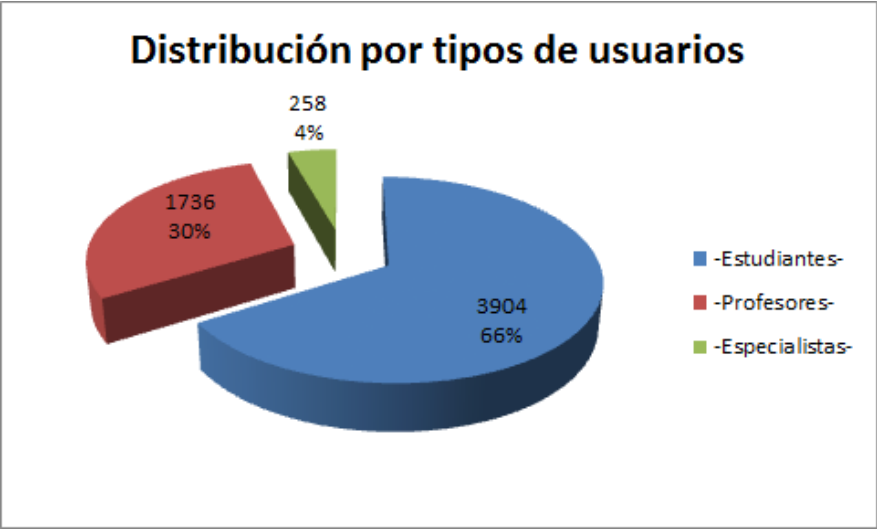


Figura 41. Vista de los usuarios beneficiados entre profesores, especialistas y estudiantes (del autor).

⁶ Basado en el uso de la herramienta desde la aplicación del modelo en junio del 2011 hasta junio del 2012.

Por otra parte, gracias al uso del modelo aplicado, la toma de decisiones con ayuda de la herramienta GESPRO 12.05 se realiza hoy de forma íntegra, ágil y cómoda, elevando la calidad de vida de sus usuarios. Utilizando como complemento los resultados del test de Wilcoxon para la variable tiempo obtenida de la encuesta realizada (ver sección 3.3.2), esto además se puede corroborar analizando las valoraciones que se desprenden de la entrevista realizada a Pérez Pupo (Pérez Pupo, 2012), jefe de proyecto del centro CEDIN:

“Para la conformación del informe de estado de un proyecto en la versión 10.04 de GESPRO, era necesario generar una gráfica con el estado de los indicadores⁷. Para ello, se tenían que recoger manualmente los datos primarios de esos indicadores en reportes que generaba el GESPRO, copiarlos uno por uno (cada número) y pegarlos en celdas específicas de un Excel para luego calcular los indicadores a través de fórmulas que se definieran en este. El gráfico de pastel resultado de los valores copiados del reporte se pegaba en la plantilla del informe de estado del proyecto en una sección específica del mismo. Por último, para el informe también era necesario conocer la cantidad de tareas abiertas, cerradas, resueltas, etc. en el período, para ello se iba a otra sección del GESPRO para con esos datos, llenar una tabla de estado de las tareas del proyecto.”

Señalar que la acción descrita anteriormente se efectuaba solamente para conocer el estado del proyecto en cuanto al avance de sus tareas y tener una idea gráfica de este avance.

Otro elemento positivo en el análisis de la incidencia económico-social es que el modelo propuesto se imparte en cinco cursos de la cuarta edición de la Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos (UCI EVA Postgrado, 2012) los cuales son:

- Curso Básico de Gestión de Proyectos.
- Herramientas para la Gestión de Proyectos.
- Dirección Integrada de Proyectos.
- Gestión de Recursos Humanos.
- Gestión de la Calidad.

De esta forma, el modelo se retroalimenta de las opiniones de los estudiantes fortaleciendo de modo constante su concepción y mejora continua.

3.5 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se presenta la aplicación del modelo en la versión 12.05 del Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO. A partir de los resultados descritos se llega a las siguientes conclusiones:

- Se logró demostrar la potencialidad del modelo dado por la aceptación de los indicadores propuestos, el amplio cubrimiento de las áreas de conocimiento de la gestión de proyectos, el

⁷ Se refiere a otros indicadores que se le solicitaban a este centro seleccionado entre los pilotos del Programa de Mejora de la universidad.

elevado nivel de automatización y disponibilidad de la información, así como su tolerancia a la incertidumbre. Esto último logró ubicar a GESPRO por encima del resto de las herramientas analizadas en el marco teórico.

- Se mejoró la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta debido al incremento de la calidad de la información por áreas de conocimiento ofrecida.
- Se definió una nueva métrica (CALFOR) para establecer este tipo de comparaciones. Esta puede ser utilizada en marcos similares con el fin de validar resultados introducidos.
- La mejora de la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO se produjo además por la disminución de la subjetividad y de los tiempos requeridos al momento de controlar y evaluar la ejecución de los proyectos dado por la evidencia expresada en los indicadores calculados y procesados de modo automático según la aplicación de algoritmos borrosos.
- Un total de 298 proyectos dentro del marco universitario se vieron beneficiados con la aplicación del modelo propuesto al momento de concluir la presente investigación.
- El modelo fomenta la investigación y mejora continua al ser dispuesto a disposición de una amplia gama de usuarios: un promedio de 6000 como clientes de la herramienta GESPRO y 650 insertados en el programa de formación de postgrado de la Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos.
- Se cumplió el cuarto objetivo específico de la investigación propuesto a partir del análisis de los resultados de la aplicación del modelo en la versión 12.05 del Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO.

CONCLUSIONES

Del contenido presentado en el trabajo, su análisis y de los antecedentes revisados en la literatura, se pudieron obtener las siguientes conclusiones principales:

1. El control de la ejecución de proyectos por indicadores es una práctica común abordada por los modelos de gestión de proyectos más importantes existentes a nivel mundial.
2. Si bien la práctica anterior es común, la literatura de estos modelos aún no aborda la necesidad de tratar ciertos indicadores como de tipo borrosos. En este sentido,
3. algunos autores comienzan a preocuparse por la necesidad de realizar el tratamiento de la incertidumbre derivada de los procesos de la gestión de proyectos pero no se materializan esfuerzos concretos aplicados sobre herramientas de gestión de proyectos.
4. Como solución a la problemática anterior se propuso la creación de un modelo donde se definieron tres componentes fundamentales relacionados con la definición y cálculo de indicadores, así como para la evaluación de la ejecución de los proyectos teniendo en cuenta la incertidumbre presente en la información para lo cual,
5. el modelo propuesto tiene la novedad de aplicar algoritmos basados en lógica borrosa.
6. La aplicación de este modelo en la versión 12.05 del Paquete de Gestión de Proyectos GESPRO, elevó el nivel de automatización y redujo los tiempos necesarios y la subjetividad en la generación de informes para evaluar la ejecución de proyectos. Para esto,
7. se implementaron ocho indicadores relacionados con las áreas de conocimiento de la gestión de proyectos más importantes identificadas en la literatura: IE, IRE, relacionados con Integración y Tiempo; IRP, Tiempo; IRC, costos; ICD, IREF, Calidad, IRL, Logística e IRRH relacionado con el Rendimiento de los Recursos Humanos, a través de los cuales,
8. la toma de decisiones puede realizarse bajo el principio de cascada mediante el uso de reportes.
9. La introducción de gráficas de tendencias de estos indicadores en los reportes implementados, permitió elevar la experiencia de usabilidad del usuario en cuanto a calidad de la información mostrada por área de conocimiento.
10. De los últimos cinco puntos analizados se puede concluir que mejoró la capacidad de ayuda a la toma de decisiones de la herramienta GESPRO.
11. A partir de la aceptación del modelo propuesto por los resultados introducidos, resultan beneficiados proyectos de la universidad, usuarios de GESPRO y alumnos de postgrado de la Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos.

RECOMENDACIONES

- Incluir sub-indicador sobre el uso de real de recursos durante el cálculo final del indicador de logística.
- Fomentar cursos de capacitación en torno a la utilización del modelo propuesto. Concientizar a los usuarios de la herramienta GESPRO en cuanto a la necesidad del uso de esta plataforma y la entrada responsable de los datos.
- Incluir al modelo indicadores relacionados con las áreas de conocimiento de Riesgos y Alcance.
- Evaluar la factibilidad de uso del modelo en otros escenarios ajenos a la producción de *software*.
- Construir una base de casos de proyectos terminados con el fin de aplicar algoritmos de *soft computing* para el aprendizaje y mejora de reglas de inferencia borrosas para la evaluación de indicadores borrosos y proyectos de manera general.
- Crear un procedimiento como metodología de control y seguimiento de proyectos para uso del modelo en el escenario de la UCI.
- Extender la aplicación del modelo propuesto al entorno empresarial cubano utilizando a GESPRO como herramienta base.

BIBLIOGRAFÍA

- Alhama Belamaric, R., 2006. Las ciencias sociales para la gestión empresarial. Discusión actual. *Revista Bimestre Cubana*, Issue 25.
- Alhama Belamaric, R., 2010. *Capital humano. Autorrealización y reconocimiento social*. La Habana: Ciencias Sociales.
- Antunes, R., 2001. *¿Adiós al trabajo?*. Brasil: Cortez Editora.
- Aragón González, N., 2011. *Normas Cubanas para la Gestión de Proyectos* [Entrevista] (12 Diciembre 2011).
- Aragón González, N., 2012. *Medición de la satisfacción del cliente* [Entrevista] (9 Junio 2012).
- ASAPM, 2012. *ASAPM Book Reviews*. [En línea] Disponible en Web: http://www.asapm.org/asapmag/r_reviews.asp
- Atlassian.com, 2011. *Atlassian Jira*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.atlassian.com/software/jira/overview>
- Bello, R. & Verdegay, J., 2010. Los conjuntos aproximados en el contexto de la Soft Computing. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas (RCCI)*, Enero-Junio, Volumen Vol. 4, pp. 5-24.
- Bhatt, M., 2009. *Project Classification Using Soft Computing*. s.l., International Conference on Advances in Computing, Control, & Telecommunication Technologies, pp. 537 - 539.
- Bugzilla.org, 2011. *Bugzilla*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.bugzilla.org/>
- Cai, J. & et.al, 2009. Improving supply chain performance management: A systematic approach to analyzing iterative KPI accomplishment. *Decision Support Systems*, 46(2), pp. 512-521.
- Castro Ruz, R., 2010. Discurso pronunciado en la clausura del Sexto Período Ordinario de Sesiones de la Séptima Legislatura de la Asamblea Nacional del Poder Popular. *Granma*, 18 Diciembre, pp. 3-6.
- Castro Ruz, R., 2011. *Informe Central al VI Congreso del Partido Comunista de Cuba*, La Habana: Consejo de Estado.
- Chen, C., 2007. *Soft Computing-based Life-Cycle Cost Analysis Tools for Transportation Infrastructure Management*, Blacksburg, Estados Unidos: Virginia Polytechnic Institute.
- Cronbach, L. J., 1951. Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 2(16), pp. 297-334.
- CubaIndustria, 2012. *NORMAS CUBANAS ONLINE*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.nonline.cubaindustria.cu/>
- De Heredia, R., 1995. *Dirección Integrada de Proyecto - DIP*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Delgado Victore, R., 2003. *La Dirección Integrada de Proyectos haciendo uso de las Nuevas Tecnologías de la Informática y las Comunicaciones*. La Habana: CETA ISPJAE.
- Delgado Victore, R., 2010. *Evaluación de proyectos mediante la utilización de la lógica borrosa* [Entrevista] (15 Diciembre 2010).
- Delgado Victore, R. & et.al, 2011. *La Dirección Integrada de Proyecto como Centro del Sistema de Control de Gestión en el Ministerio del Poder Popular para la Comunicación y la Información*. Caracas,Venezuela: CENDA, Cuba.

Deming, W., 1982. *Out of the Crisis*. Cambridge, MA: MIT Center for Advanced Engineering Study.

DGP, 2012. *Dirección General de Producción UCI*. [En línea] Disponible en Web: <http://gespro.dgp.prod.uci.cu> [Último acceso: 23 Junio 2012].

Donghai, Y., 2008. *Dymamic Planning and Scheduling in Manufacturing Systems With Machine Learning Approaches*, Hong Kong, China: The University of Hong Kong.

DotProject.net, 2011. *Comunidad dotProject*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.dotproject.net/>

Dweiri, F. & Kablan, M., 2006. Using fuzzy decision making for the evaluation of the project management internal efficiency. *Decision Support Systems*, 42(2).

Elsevier, 2012. *Scirus for Scientific Information Only*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.scirus.com>

Fernández Ramírez, J. L., 2012. © *LiderDeProyecto.com*. [En línea] Disponible en Web: http://www.liderdeproyecto.com/articulos/introduciendo_a_prince2.html

Fernández Sosa, I., 2012. El reordenamiento laboral tiene que ser un proceso con vida. *Granma*, 20 Abril, pp. 3-4.

Fuat Guneri, A. & e., 2011. An approach based on ANFIS input selection and modeling for supplier selection problem. *Expert Systems with Applications*, 38(12), pp. 14907-14917.

Gajate, A., 2011. *Modelado y control neuroborroso de sistemas complejos. Aplicación a Procesos de Mecanizado de Alto Rendimiento*, Salamanca, España: VII Simposio CEA de Control Inteligente, Logroño.

Gao, H., 2010. *A fuzzy-ANP approach to project management performance evaluation indices system*. Harbin, IEEE, pp. 273 - 277.

Garre Rubio, M., 2006. *Aplicación de Técnicas de Clustering para la Estimación del Esfuerzo en Proyectos de Software*, Madrid, España: Universidad de Alcalá.

GESPRO, 2012. *Repositorio de Código Fuente GESPRO*. [En línea] Disponible en Web: <http://git.dt.prod.uci.cu/>

GForge.org, 2011. *GForge*. [En línea] Disponible en Web: <http://gforge.org/gf/>

Hernández León, R. A. & Coello González, S., 2002. Estrategia de investigación. En: *El Paradigma Cuantitativo de la Investigación Científica*. Ciudad de La Habana: EDUNIV, pp. 79-82.

Hughes, B. & Cotterell, M., 1999. *Software Project Management*. Segunda ed. Berkshire, England: McGraw-Hill.

Humphrey, W. S., 1996. *Introduction to the Personal Software Process*, Carnegie Mellon University: Addison-Wesley.

Humphrey, W. S., 2000. *The Personal Software Process (PSP)*, Pittsburgh: Carnegie Mellon, Software Engineering Institute.

Humphrey, W. S., 2000. *The Team Software Process (TSP)*, Pittsburgh: Carnegie Mellon, Software Engineering Institute.

IEEE, 2004. *IEEE Software Engineering Standards*. St.610: IEEE.

IPMA, 2012. © 2012 *IPMA: International Project Management Association*. [En línea] Disponible en Web: <http://ipma.ch/about/>

ISO, 2003. *Quality Management systems - Guidelines for quality management in projects*, s.l.: International Standard Organization.

ISO21500.org, 2011. *ISO/DIS 21500 Website*. [En línea] Disponible en Web: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=50003

Jordan Borjas, E., Enamorado, O. & et.al, 2011. *Herramientas para la Gestión de Proyectos en la UCI* [Entrevista] (14 Noviembre 2011).

Jowers, L. J., 2007. *Fuzzy Systems Simulation: Models, Foundations and Systems Development*, Birmingham: University of Alabama.

Juran, J. M. & Gryna, F., 1988. *Juran's Quality Control Handbook, Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.

Khodakarami, V., 2009. *Applying Bayesian Networks to model Uncertainty in Project Scheduling*, Londres: Queen Mary, University of London.

Lang, J.-P., 2011. *Redmine.org*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.redmine.org>

LiderDeProyecto.com, 2011. *LiderDeProyecto.com*. [En línea] Disponible en Web: http://www.liderdeproyecto.com/noticias/pmi_webinar_buenas_practicas_en_administracion_de_proyectos_hacia_la_norma_iso.html

Li, S. & et.al, 2010. *Application of Organizational Project Management Maturity Model Based on BP Neural Network*. s.l., International Conference on E-Business and E-Government (ICEE), pp. 2656-2660.

Lugo García, J. A. e., 2011. *SVNStatBash: Colección Automática de Medidas en Entornos de Gestión de Proyectos de Software*. La Habana, Cuba, XIV Convención y Feria Internacional INFORMÁTICA 2011..

Lugo García, J. A. & et.al, 2010. *Repositorio Central de Medición y Análisis para la Universidad de Ciencias Informáticas*. La Habana, Cuba, V Taller de Calidad, Ingeniería, Arquitectura y Gestión de Software. UCIENCIA 2010, pp. 1- 14.

Lugo García, J. & et.al, 2009. Gestión de indicadores en proyectos de software. Perspectivas actuales y futuras. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, Diciembre, III(3-4), pp. 19-25.

Lugo García, J. & et.al, 2011. Colección automática de métricas hacia un repositorio de mediciones. *Revista Facultad Ingeniería Universidad Antioquia. Medellín, Colombia*, Issue 58, pp. 199-207.

Mamdani, E. H., 1977. Applications of fuzzy logic to approximate reasoning using linguistic synthesis. *IEEE Transactions on Computers*, 26(12), p. 1182–1191.

Mendel, Jerry M., 1995. *Fuzzy Logic Systems for Engineering: A Tutorial*. Los Angeles, EE.UU, IEEE, pp. 345-377.

MicrosoftTeamFoundation.com, 2011. *Microsoft Team Foundation Server*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions/team-foundation-server/overview>

MicrosoftTeamSystem.com, 2011. *Visual Studio Team System*. [En línea] Disponible en Web: <http://msdn.microsoft.com/es-es/library/fda2bad5%28v=vs.80%29.aspx>

Núñez Jover, J., 2006. La democratización de la ciencia y el problema del poder. En: *La Política: Miradas Cruzadas*.. La Habana: Ciencias Sociales.

Oktaba, H., 2008. *Software Process Improvement for Small and Medium Enterprises*. 1st ed. London: IGI Global.

ONN, 2007. *Norma Cubana NC 3000:2007*, La Habana: Oficina Nacional de Normalización.

Pacelli, L., 2004. *The Project Management: 18 Major Project Screw-Ups, and How to Cut Them Off at the Pass*. New Jersey: Prentice Hall.

Partido Comunista de Cuba (PCC), 2011. *Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución*. La Habana: PCC.

Peidro, D. & e., 2009. Fuzzy optimization for supply chain planning under. *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), pp. 2640-2657.

Pérez Pupo, I., 2012. *La toma de decisiones con GESPRO 10.04* [Entrevista] (21 Junio 2012).

Pino, F. J. & et.al, 2010. Assessment methodology for software process improvement in small organizations. *Information and Software Technology*, 52(10), pp. 1044-1061.

Piñero Pérez, P., 2005. *Un modelo para el aprendizaje y la clasificación automática basado en técnicas de soft computing*, Santa Clara: Universidad Martha Abreu.

Piñero Pérez, P., 2010. *Evaluación en la gestión de proyectos* [Entrevista] (15 Diciembre 2010).

Piñero Pérez, P. & et.al, 2006. Un modelo para la ayuda a la toma de decisiones basado en técnicas de Soft Computing. *Bioingeniería y Física Médica Cubana*, pp. 11-24.

Piñero Pérez, P. & et.al, 2010. *Paquete de Herramientas para la Gestión de Proyectos GESPRO*. Cuba, Patente nº 1540-2010.

Piñero Pérez, P., Lugo García, J. & et.al, 2010. *Paquete para la Dirección Integrada de Proyectos GESPRO*. La Habana(La Habana): UCI.

PMI, 2009. *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (PMBOK)*. Pennsylvania, EEUU: PMI Publications.

PostgreSQL Global Development Group, 2011. *PostgreSQL.org*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.postgresql.org>

Pressman, R. S., 2001. *Ingeniería de Software: un enfoque práctico*. 5ta Ed. ed. México: McGraw-Hill.

PRINCE2.com, 2012. *PRINCE2 Certified Training Courses*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.prince2.com/prince2-training-courses.asp>

PRINCE2, 2009. *"Managing Successful Projects with PRINCE2"*. London: Renouf Pub Co Ltd.

RAE, 2012. *Real Academia Española*. [En línea] Disponible en Web: http://buscon.rae.es/drae/?type=3&val=subjeto&val_aux=&origen=REDRAE [Último acceso: 21 Junio 2012].

Ramos Blanco, K. & et.al, 2011. Experiencias del programa de mejora de procesos en la Universidad de las Ciencias Informáticas. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 5(2), pp. 1-16.

Rodríguez Batista, A., 2005. Impacto social de la ciencia y la tecnología en Cuba: una experiencia de medición a nivel macro.. *Revista CTS*, 2(4), pp. 147-171.

Rodríguez Figueredo, H. & e., 2009. El movimiento del software libre en Cuba. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, pp. 5-13.

Santiawatthana, C., 2010. *Project Manager Performance Evaluation Using a Fuzzy Weighted Average Model*, Taiwan, China: Southern Taiwan University.

- Scimago Lab, 2012. *SCImago Journal & Country Rank*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.scimagojr.com/>
- SEI, 2010. *CMMI for Dev v1.3.*. Pittsburgh: Carnegie Mellon University.
- Sharafi, M., 2008. A Model for Project Scheduling with Fuzzy Precedence Links. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2(4).
- SOFA, 2012. *Statistics Open For All*. [En línea] Disponible en Web: <http://www.sofastatistics.com/home.php> [Último acceso: 22 Junio 2012].
- SPSS-Inc, 2004. *SPSS 13.0 Brief Guide.*, Chicago, EEUU: IBM Company.
- Stang, D. B., 2010. *IT Project & Portfolio Management Magic Quadrant*, Stamford. USA: Gartner, Inc..
- Sugeno, M., 1977. *Fuzzy Measures and fuzzy integrals*. North-Holland, Amsterdam, A Survey, pp. 89-102.
- Sun, Z., 2000. *A Fuzzy Expert System for Design Performance Prediction and Evaluation*, Edmonton, Canadá: University of Alberta.
- Tejeda Rodríguez, Y., 2011. *Correlación entre dos variables aleatorias* [Entrevista] (15 Abril 2011).
- Trac.org, 2011. *Trac*. [En línea] Disponible en Web: <http://trac.edgewall.org/>
- UCI EVA Postgrado, 2012. *Entorno Virtual de Aprendizaje. Formación Postgraduada.*. [En línea] Disponible en Web: <http://evapostgrado.uci.cu/course/category.php?id=15> [Último acceso: 2 Junio 2012].
- Wu, C., 2011. A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 17(4), pp. 256-274.
- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy Sets. *Information and Control*, Volumen vol, 8, pp. 338-353.
- Zadeh, L.A., 1973. Outline of A New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Volumen vol.3, pp. 28-44.
- Zadeh, L.A., 1994. Fuzzy logic, neural networks and soft computing. *Communications of the ACM*, Volumen vol. 37, pp. 77-84.

ANEXOS

Anexo 1. Encuesta aplicada.



Laboratorio de Gestión de Proyectos Instrumento para diagnóstico

Nombre de la persona: _____

Área donde labora: _____

Rol: () Inspector OGP () Revisor de Calidad () Jefe de Proyecto () Director () Otro

Terminologías

Informes de estado: Son aquellos que muestran cómo se encuentra el proyecto en alguna de las áreas de conocimiento que plantea el PMBOK (ej.: Integración, Tiempo, Costo, Calidad, Logística, Rendimiento de Recursos Humanos).

Subjetividad: La subjetividad se asocia con las apreciaciones personales, lo contrario a la objetividad, que se basa en hechos y/o evidencias.

Evaluación del estado del proyecto: Se otorga a partir del informe de estado.

Desarrollo

Por favor, le rogamos responda las siguientes preguntas, agradeciéndole de antemano por su colaboración:

1- Indique qué tiempo se tarda en generar *informes de estado* del proyecto:

GESPRO 10.04	GESPRO 12.05
() Más de 8 horas. Tiempo aproximado: _____	() Más de 8 horas. Tiempo aproximado: _____
() Entre 1 hora y 8 horas. Tiempo aproximado: ____	() Entre 1 hora y 8 horas. Tiempo aproximado: ____
() De 10 a 20 minutos. Tiempo aproximado: ____	() De 10 a 20 minutos. Tiempo aproximado: ____
() Entre 10 y 20 segundos.	() Entre 10 y 20 segundos.

2- Indique el grado de subjetividad del informe para evaluar el proyecto:

GESPRO 10.04	GESPRO 12.05
() Alto	() Alto
() Medio	() Medio
() Bajo	() Bajo

3- Indique qué tiempo se tarda para *evaluar el estado del proyecto*:

GESPRO 10.04	GESPRO 12.05
() Más de 8 horas. Tiempo aproximado: _____	() Más de 8 horas. Tiempo aproximado: _____
() Entre 1 hora y 8 horas. Tiempo aproximado: ____	() Entre 1 hora y 8 horas. Tiempo aproximado: ____
() De 10 a 20 minutos. Tiempo aproximado: ____	() De 10 a 20 minutos. Tiempo aproximado: ____
() Entre 10 y 20 segundos.	() Entre 10 y 20 segundos.

2da parte

Luego de haber cursado los cursos de capacitación correspondientes sobre el uso de los indicadores que se proponen en la plataforma GESPRO para el control y seguimiento de los proyectos, por favor, responda las siguientes preguntas.

Desarrollo

4- Según su criterio cómo describiría la *facilidad de cálculo* de los indicadores:

() Alta

() Media

() Baja

() Otro criterio (Argumente): _____

5- Según su criterio cómo describiría la *comprensibilidad* de los indicadores:

() Alta

() Media

() Baja

() Otro criterio (Argumente): _____

6- Según su criterio cómo describiría la *confiabilidad* de los indicadores:

() Alta

() Media

() Baja

() Otro criterio (Argumente): _____

Anexo 2. Expertos involucrados en la validación de la encuesta.

-Código-	-Nombre(s) y Apellidos-	-Correo-e-	-Título-	-Rol-
EXP-01	Pedro Y. Piñero Pérez	ppp@uci.cu	Dr.C.	J' Lab. GESPRO
EXP-02	Roberto Delgado Victore	robertodv@uci.cu	Dr.C.	Asesor Lab. GESPRO
EXP-03	Marielis Izquierdo Matías	mmatias@uci.cu	Ms.C.	J' Proyecto GESPRO
EXP-04	Surayne Torres López	storres@uci.cu	Ms.C.	Analista GESPRO
EXP-05	Yeleyne Maure Díaz	ymaure@uci.cu	Ing.	Programador GESPRO
EXP-06	Ernesto A. Mederos Franqueiro	eamederos@uci.cu	Ing.	Programador GESPRO
EXP-07	Javier Menéndez Riso	jmenendez@uci.cu	Ing.	Programador GESPRO
EXP-08	Gerdys Ernesto Jiménez Moya	gejimenez@uci.cu	Ing.	J' Proyecto

Anexo 3. Usuarios involucrados en la encuesta.

-Código-	-Nombre(s) y Apellidos-	-Correo-e-	-Centro-	-Rol-
E01	Michael González Jorrín	michaell@uci.cu	DGP	Inspector OGP
E02	Marlenes Brau Araujo	marlenes@uci.cu	DGP	Inspector OGP
E03	Yayneris Zambrana Hernández	yzambrana@uci.cu	CISED	Jefe de Proyecto
E04	María Lourdes Morilla Faurés	mlmorilla@uci.cu	CISED	Jefe de Proyecto
E05	Dolennis Concepción Hidalgo	dconcepcion@uci.cu	CISED	Revisor de Calidad
E06	Anisbert Suárez Batista	abatista@uci.cu	CALISOFT	Revisor de Calidad
E07	Dennis Neuland Agüero	dneuland@uci.cu	CALISOFT	Revisor de Calidad
E08	Ernesto Jordan Borjas	ejordan@uci.cu	CALISOFT	Revisor de Calidad
E09	Odannis Enamorado Pérez	oenamorado@uci.cu	CALISOFT	Revisor de Calidad
E10	Joanni Acanda Velázquez	jacanda@uci.cu	DPN	Inspector OGP
E11	Juniedi García Vejerano	jgarcia@uci.cu	CEGEL	Jefe de Proyecto
E12	Dailín Benavides Jorge	dbenavides@uci.cu	CEGEL	Director
E13	Jacqueline Marín Sánchez	jmarin@uci.cu	CESIM	Revisor de Calidad
E14	Lenia Palau Yú	lpalau@uci.cu	CESIM	Jefe de Proyecto
E15	Yanko Hernández Valdés	yanko@uci.cu	FORTES	Planificador
E16	Ariangna Garcés Gilart	agarcés@uci.cu	CEDIN	Jefe de Proyecto
E17	Iliana Pérez Pupo	iperez@uci.cu	CEDIN	Jefe de Proyecto
E18	Irina Marrero Borges	imarrero@uci.cu	CEDIN	Jefe de Proyecto
E19	Energys Mesa Morales	emesa@uci.cu	CEDIN	Jefe de Proyecto
E20	Ana Silvia Tellería	atelleria@uci.cu	CEDIN	Jefe de Proyecto
E21	Laura Rodríguez Campoamor	laurarc@uci.cu	CEIGE	Planificador
E22	Cealys Alvarez Trujillo	calvarez@uci.cu	CEIGE	Planificador
E23	Wendy Gracia Valdés	wgracia@uci.cu	CEIGE	Planificador
E24	Daniel Hernández Bahr	dbahr@uci.cu	CESOL	Jefe de Proyecto
E25	Abel A. Fírvida Donéstevéz	aafirvida@uci.cu	CESOL	Jefe de Proyecto
E26	Miguel Albalat Águila	malbalat@uci.cu	CESOL	Jefe de Proyecto
E27	Angel Goñi Oramas	agoni@uci.cu	CESOL	Jefe de Proyecto
E28	Ridosbey Milián Iglesias	ridosbeym@vcl.uci.cu	CDVC	Inspector OGP
E29	Ana María García Pérez	anamaria@vcl.uci.cu	CDVC	Director
E30	Yosbel Reyes Fonfría	fonfria@vcl.uci.cu	CDVC	Inspector OGP
E31	Mareilys Luna Pérez	mluna@vcl.uci.cu	CDVC	Jefe de Proyecto
E32	Arián Abel Couso Linares	couso@vcl.uci.cu	CDVC	Planificador

Anexo 4. Análisis comparativo de herramientas de gestión de proyectos teniendo en cuenta el tratamiento a la incertidumbre en la información.

