

REPÚBLICA DE CUBA
UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS COMPUTACIONALES
Centro Geoinformática y Señales Digitales



MODELO DE CONTROL DE PROYECTOS BASADO
EN EL ANÁLISIS GEO-REFERENCIAL PARA LA
AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES

Tesis presentada en opción al Grado Científico de
Doctor en Ciencias Técnicas

GERDYS ERNESTO JIMÉNEZ MOYA

La Habana, 2017

REPÚBLICA DE CUBA
UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍAS COMPUTACIONALES
Centro Geoinformática y Señales Digitales



MODELO DE CONTROL DE PROYECTOS BASADO
EN EL ANÁLISIS GEO-REFERENCIAL PARA LA
AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES

**Tesis presentada en opción al Grado Científico de
Doctor en Ciencias Técnicas**

Autor: MSc. Gerdys E. Jiménez Moya

Tutores: Dr.C Pedro Y. Piñero Pérez

Dra.C Yeleny Zulueta Véliz

Consultor: Dr.C Antonio Romillo Tarke

La Habana, 2017

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de las Ciencias Informáticas, por permitirme ser parte de ella y darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A mis tutores, el Dr. C Pedro Y. Piñero Pérez y la Dra. C Yeleny Zulueta Véliz; por su amistad, sus acertadas recomendaciones y todo el apoyo brindado durante la investigación.

Al Dr. C Antonio Romillo Tarke, por sus sabios consejos para ayudar a encausar la investigación.

A los profesores y miembros del PEFICI, por su colaboración durante el proceso de formación doctoral y las sugerencias realizadas.

A mis compañeros del Centro GEYSED, por su contribución en la materialización de los resultados de este trabajo.

A los miembros del Laboratorio de Investigaciones de Gestión de Proyectos y del grupo de investigación Procesamiento de Señales y Geoinformación.

A los colegas de la Xetid, Softel, Desoft, Calisoft, Copextel, ISPJAE, ANTEL y de la UCI; por el tiempo dedicado en la evaluación y su contribución en las mejoras que le fueron incorporadas a la propuesta.

Al tribunal y a los oponentes de la predefensa por sus oportunas recomendaciones.

A mi esposa e hijos, por estar junto a mi y permitirme que les robase de su tiempo para dedicarlo a este trabajo.

A mis padres por todos sus esfuerzos y por enseñarme que cuando enfrentamos la vida con sacrificio, dedicación y humildad no existen metas imposibles.

A los compañeros y amigos que estuvieron pendientes de los avances de la investigación, pues de una forma u otra han contribuido en mi formación.

A mi esposa e hijos; Elianys, Julio Ernesto y Helen por ser mi mayor motivación.

A mis padres y mi hermana; Carlos, Nieves y Clarita.

A mis familiares y amigos de siempre.

SÍNTESIS

Las actividades de control constituyen tareas de alta prioridad para la toma de decisiones en las organizaciones dedicadas al desarrollo de proyectos. Para ello, la disciplina de gestión de proyectos provee diversos modelos teóricos, métodos y procedimientos que utilizan técnicas computacionales. Sin embargo, en las tareas de control no se emplean las potencialidades del análisis geo-referencial como soporte a la toma de decisiones en las organizaciones que ejecutan múltiples proyectos de manera simultánea y en diferentes escenarios geográficos. En este trabajo se propone un modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, que contribuye a mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones. Se presenta un método de evaluación dinámica que integra indicadores clave de la gestión de proyectos, un mecanismo para la evaluación de zonas geográficas mediante el uso de operadores OWA, un sistema basado en casos que utiliza la experiencia adquirida de proyectos terminados y una guía para la implementación de la propuesta. La instrumentación de sus componentes se realiza a través de un Sistema de Información Geográfica que se integra con la herramienta XEDRO GESPRO. Además, se aplicaron métodos cualitativos y cuantitativos para comprobar la validez del modelo; con los resultados obtenidos se realizó una triangulación metodológica que demostró la pertinencia y el valor científico de la investigación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	9
1.1 Análisis geo-referencial	9
1.2 Problemas de toma de decisiones	11
1.2.1 Caracterización de los problemas de toma de decisiones	12
1.2.2 Enfoques para problemas de toma de decisión dinámicos	15
1.2.3 Agregación de información	18
1.3 Tendencias sobre la toma de decisiones y el análisis geo-referencial en el control de proyectos	23
1.3.1 Modelo de capacidad y madurez integrado	24
1.3.2 Proyectos en entornos controlados PRINCE2	25
1.3.3 Guía de los fundamentos de la Dirección de Proyectos	26
1.3.4 Normas ISO para la gestión de proyectos	27
1.3.5 Laboratorio de Investigaciones en gestión de proyectos	29
1.3.6 Herramientas informáticas para la gestión de proyectos	31
1.3.7 Otras contribuciones para el control de proyectos	33
1.3.8 Análisis sobre las tendencias estudiadas	34
1.4 Sistemas basados en casos	35
1.5 Conclusiones del capítulo	38
2 MODELO DE CONTROL DE PROYECTOS BASADO EN EL ANÁLISIS GEO-REFERENCIAL	39
2.1 Principios, premisas y características del modelo	39

2.2	Componentes del modelo	41
2.2.1	Componente <i>Representación de información</i>	41
2.2.2	Componente <i>Evaluación de zonas geográficas</i>	53
2.2.3	Componente <i>Aprendizaje y retroalimentación</i>	57
2.3	Guía de implementación del modelo	63
2.4	Conclusiones del capítulo	68
3	VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	69
3.1	Estrategia para la validación del modelo	69
3.2	Instrumentación del modelo	70
3.3	Valoración de los expertos sobre el modelo	73
3.4	Grado de satisfacción de usuarios potenciales	75
3.5	Entrevista en profundidad para valorar los beneficios del modelo	77
3.6	Estudio de casos para la validación de la evaluación dinámica	79
3.7	Cuasiexperimentos para la comparación con otros métodos	86
3.8	Cuasiexperimentos para la validación del sistema basado en casos	89
3.9	Triangulación metodológica	95
3.10	Análisis del impacto económico y social	96
3.11	Conclusiones del capítulo	98
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	100
	PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR	101
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
	SIGLARIO	129
	ANEXOS	131

A	Entrevista realizada a gestores de proyectos	131
B	Operacionalización de las variables	132
C	Conjunto de términos lingüísticos	133
D	Funciones de pgRouting para obtener caminos mínimos	136
E	Ejemplos de medidas a tomar durante el control de proyectos.	138
F	Herramientas y tecnologías empleadas.	140
G	Características definidas para SIGESPRO	141
H	Vistas obtenidas de la instrumentación del modelo	142
I	Ingresos percibidos por servicios brindados	144
J	Método para el cálculo del coeficiente de competencia de los expertos	145
K	Cuestionario a expertos	147
L	Resultados de la valoración de los expertos	149
M	Cuestionario para evaluar la satisfacción de usuarios potenciales	150
N	Temas abordados en la entrevista en profundidad	152
Ñ	Indicadores obtenidos en tres cortes	154
O	Evaluaciones obtenidas en seis cortes	155

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial.	41
2.2	Componente Representación de información.	42
2.3	Comportamiento de los operadores de agregación empleados.	52
2.4	Componente Evaluación de zonas geográficas.	53
2.5	Componente Aprendizaje y retroalimentación.	58
2.6	Fases de la guía de implementación del modelo.	63
3.1	Estrategia para la realización de la entrevista en profundidad.	78
3.2	Esquema para la aplicación del método propuesto.	80
3.3	Comportamiento de la evaluación estática.	82
3.4	Comportamiento de la evaluación dinámica utilizando la t-norma producto.	83
3.5	Comportamiento de la evaluación dinámica utilizando la t-conorma suma probabilística.	83
3.6	Comportamiento de la evaluación dinámica utilizando la uninorma $3\mathbb{I}$	84
3.7	Cantidad de evaluaciones correctas e incorrectas por métodos.	87
C.1	Funciones de pertenencia: (a) Trapezoidales y (b) Triangulares.	133
C.2	Conjuntos borrosos empleados para la evaluación de los indicadores.	133
G.1	Árbol de características definido para SIGESPRO.	141
H.1	Vista de proyectos en ejecución y centros de desarrollo de la UCI.	142
H.2	Vista de los valores obtenidos del cálculo de los indicadores.	143
H.3	Vista de la evaluación de una zona geográfica.	143
O.1	Evaluaciones obtenidas en seis cortes consecutivos.	155

ÍNDICE DE TABLAS

1.1	Indicadores calculados por área de conocimiento.	31
1.2	Comparación entre herramientas de gestión de proyectos.	32
1.3	Contribuciones para la toma de decisiones en el control de proyectos.	33
2.1	Operadores de agregación propuestos.	52
2.2	Ejemplos de tematizaciones definidas para los indicadores.	53
2.3	Rasgos seleccionados de la base de conocimientos.	59
2.4	Propuesta de información del objeto espacial a mostrar en el SIG.	65
3.1	Composición de los expertos involucrados en la evaluación.	73
3.2	NBT normalizados obtenidos de la valoración de los expertos.	74
3.3	Escala nominal utilizada para evaluar el modelo.	74
3.4	Resultados del Alfa de Cronbach en la evaluación del instrumento.	75
3.5	Cuadro lógico de Iadov modificado.	76
3.6	Resultados del Algoritmo 2 y el Algoritmo 3.	82
3.7	Resultados del Algoritmo 4: Cálculo del índice discriminativo.	85
3.8	Resumen estadístico sobre la variable tiempo para evaluar.	87
3.9	Resultados de la prueba de Friedman para k muestras relacionadas.	88
3.10	Resultados de la prueba de Wilcoxon.	88
3.11	Resumen estadístico sobre la variable % de casos recuperados correctamente.	89
3.12	Resumen estadístico de los datos para la pre-prueba.	91
3.13	Resultados del estadístico W de Shapiro-Wilk para la pre-prueba.	92
3.14	Resumen estadístico de los datos para la Post-prueba.	93
3.15	Resultados del estadístico W de Shapiro-Wilk para la post-prueba.	94
3.16	Resultados de la triangulación metodológica inter-métodos.	95

3.17 Costo de licencias de los SIG por el período de un año.	96
3.18 Costo del esfuerzo total de desarrollo.	97
B.1 Operacionalización de variables.	132
C.1 Conjuntos borrosos utilizados para cada indicador.	135
F.1 Herramientas y tecnologías que componen el ambiente de producción. . . .	140
F.2 Requerimientos de <i>Hardware</i>	140
J.1 Fuentes de información de argumentación de los expertos.	145
J.2 Nivel de competencia de los expertos.	146
L.1 Resultados de la valoración de los expertos.	149
Ñ.1 Indicadores obtenidos de los proyectos para tres cortes.	154

INTRODUCCIÓN

La competitividad en el mercado mundial es una de las características que ha alcanzado una alta prioridad para las organizaciones dedicadas al desarrollo de proyectos [1–4]. A su vez, la complejidad y el volumen de estos ha crecido de manera considerable y acelerada [5–8]. De lo anterior se deriva la necesidad de lograr que el sistema de producción sea eficiente y eficaz.

Para ello, la disciplina de gestión de proyectos (GP) provee a las organizaciones de procedimientos y técnicas que contribuyen al desarrollo de los procesos relacionados con la toma de decisiones [9–11]. Estos permiten describir las actividades a realizar y abarca las etapas de definición, identificación de las alternativas y los criterios, evaluación de dichas alternativas y selección de la decisión final como parte de la resolución del problema [12]. Además, mediante la Dirección Integrada de Proyectos (DIP) se manejan aspectos clave que permiten predecir y controlar los costos, los plazos, los recursos, la calidad, así como los requerimientos de la gerencia en función de los objetivos de la organización [3, 13–15]. La DIP es el proceso de optimización de los recursos puestos a disposición de la organización para el desarrollo de proyectos [2, 13, 16]. Para lograr el éxito en la ejecución, es necesario evaluar por cortes un conjunto de indicadores que deben estar estrechamente relacionados con las áreas de conocimiento principales de la dirección de proyectos [1, 17, 18]. En este contexto, las instituciones generalmente agrupan sus proyectos en programas para mejorar el aprovechamiento de los recursos y para facilitar las actividades de control y seguimiento [19–23].

En el marco de la Feria Informática 2016, de una entrevista realizada por el autor a 12 gestores de proyectos de las organizaciones cubanas Desoft, Xetid, ZETI, Softel y de la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) se pudo evidenciar que; el 100 % de dichas instituciones ejecutan simultáneamente varios proyectos. En más del 72 % de los casos se realizan con recursos logísticos o humanos compartidos y estos pueden estar destinados

hacia entidades nacionales, extranjeras o en la informatización de la propia organización. También se pudo constatar que tienen varios equipos de desarrollo ubicados en diferentes regiones del país, lo que evidencia la diversidad en cuanto a la ubicación geográfica de los proyectos en ejecución. Por tanto, para llevar a cabo la DIP en dichas organizaciones se precisa realizar un manejo consecuente sobre los recursos, que puede estar condicionado por las características de la región geográfica donde se ejecuten los proyectos. Por lo anterior, sería favorable introducir el uso del análisis geo-referencial como complemento para la toma de decisiones durante el control de proyectos.

El análisis geo-referencial se define como un conjunto de procesos, que maniobrados sobre una colección de datos estructurados y según las necesidades de la organización, propicia la recopilación, elaboración y distribución de la información respecto a su ubicación espacial [24, 25]. Mediante su empleo es posible identificar los problemas durante su ejecución brindándole una mejor perspectiva a los decisores; lo que facilita la dirección y el control de las actividades en función de sus estrategias al combinar la información socio-económica y la dimensión geográfica [24, 26, 27]. También permite integrar la actuación del estado, la sociedad y la organización en dependencia de la zona geográfica donde se ejecute el proyecto [27, 28]. En general, puede plantearse que su utilización tiene un impacto directo en las actividades humanas; condicionado principalmente con la mejora de la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones que puede ser percibida mediante el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Los SIG son sistemas computacionales que permiten consultar de manera interactiva la información geográfica digital (latitud, longitud, altitud). Facilitan la combinación e integración de múltiples cartografías manejadas como capas de datos superpuestas, que se observan simultáneamente como características de un mismo espacio para la generación de información aplicable a proyectos u otras cuestiones específicas [29–32]. Los sistemas de este tipo intentan adelantarse a los métodos tradicionales para ofrecer un entorno adecuado para la captura, el almacenamiento y la gestión, tanto de la información geográfica como de la socio-económica. Propician el cambio de los

procedimientos tradicionales para el procesamiento de la información geográfica hacia nuevos procedimientos automatizados que contribuyen a la toma de decisiones con el uso del análisis geo-referencial.

La utilización de este tipo de sistemas para resolver diversos problemas ha resultado una práctica frecuente para varios organismos gubernamentales [33–35] e instituciones académicas de nivel superior [36–38]. En Cuba, su aplicación ha estado centrada en dos áreas principales [39–42]: en la salud y el medio ambiente.

Debido a la complejidad y al volumen de la información que se maneja en la DIP resulta fundamental el uso de las herramientas informáticas [6–8, 17, 20]. En el mercado existen diversos productos orientados a la GP que permiten viabilizar los procesos de las organizaciones [43, 44], entre los que se destacan: *MS Project*, *enquire*, *Clarizen*, *Odoo*, *Primavera Project* y *NetSuite*. Estos ofrecen diversos módulos con capacidades para definir, planear y administrar la cartera de proyectos basados en las mejores prácticas sugeridas por el Instituto de Administración de Proyectos (del inglés, *Project Managament Institute*, PMI) [20, 45] y el Instituto de Ingeniería de Software (del inglés, *Software Engineering Institute*, SEI) [46]. A pesar de que algunas cuentan con varias funcionalidades concebidas para realizar un seguimiento detallado de los proyectos en cada fase de su ciclo de vida, tienen varias limitaciones como las que a continuación se mencionan [1, 6, 8]:

- Los resultados obtenidos en los procesos de gestión generalmente se trabajan por separado para crear el informe de los proyectos y de la organización.
- No se incluye de manera explícita el análisis geo-referencial en la gestión de proyectos para mejorar la capacidad de ayuda en la toma de decisiones.
- No es posible aprovechar todo el potencial generado a través de la experiencia adquirida de proyectos terminados.

Por otra parte, para darle solución a los problemas relacionados con el control donde se analizan diversos indicadores, resulta ventajoso el uso de métodos de decisión multicriterio

[47–49], ya que estos permiten modelar diferentes niveles de logros en dependencia de los atributos empleados y de su respectiva prioridad para emitir una evaluación integral del proyecto. Además, para la toma de decisiones durante el proceso de control es recomendable que sea considerada la experiencia adquirida de proyectos terminados [1, 2, 50]. Para ello, es factible emplear métodos de solución basados en técnicas de Inteligencia Artificial (IA) [51]; algunos ejemplos lo constituyen los Sistemas basados en reglas (SBR) [52], las Redes neuronales artificiales (RNA) [53], los Sistemas de inferencia borrosos (SIB) [54] y los Sistemas basados en casos (SBC) [55] como parte de los sistemas basados en conocimiento. De estos, es posible utilizar los SBC porque permiten resolver nuevos problemas considerando la solución a problemas similares con un alto grado de interpretabilidad sobre la información recuperada [50, 56–58], lo cual es posible expresarlo a través de los casos almacenados de los proyectos terminados sin tener que definir expertos ni reglas generalizables para construir el conocimiento. Tienen la capacidad para aprender de manera sostenida, pues al resolver un nuevo problema queda disponible en su memoria la solución generada para futuros análisis.

En la literatura disponible sobre las investigaciones que emplean técnicas de IA y aportan soluciones útiles para la DIP se encuentran contribuciones como la de [59], [60], [61], [62], [47], [63], [64], [65], [48], [66], [67], [68], [69], [49] y [70]. Estas propuestas permiten obtener la evaluación del proyecto de manera estática, sin embargo no contemplan escenarios donde puedan variar los indicadores y las alternativas en diferentes momentos de decisión. Tampoco resuelven de forma práctica los problemas relacionados con el control mediante el empleo del análisis geo-referencial para la ayuda en la toma de decisiones.

A partir de los elementos mencionados se pueden constatar dificultades para localizar geográficamente los problemas en cuanto a la planificación y la ejecución de los recursos materiales y humanos destinados a los proyectos. En muchos casos los recursos humanos y la tecnología asignada a estos no son redistribuidos de manera eficiente hacia proyectos con mayor necesidad en otras regiones geográficas dentro y fuera del país. No se realiza un análisis geo-referencial basado en la dimensión geográfica de los proyectos que permita

evaluar las zonas geográficas y que emplee los indicadores de control. En el proceso de toma de decisiones no se aprovecha todo el conocimiento que se genera de las lecciones aprendidas en proyectos terminados. Se aprecia en el mercado la ausencia de herramientas desarrolladas con tecnologías de código abierto que permitan automatizar los procesos de control de proyectos mediante el empleo del análisis geo-referencial.

Teniendo en cuenta la situación expuesta se identifica el siguiente **problema científico**: *¿Cómo mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones en el control de proyectos basado en el análisis geo-referencial?*

A continuación se introduce formalmente para el contexto de este trabajo el concepto de *efectividad*: Es el equilibrio entre eficiencia y eficacia, es la capacidad para lograr un objetivo o fin deseado con la menor cantidad de recursos posible.

El **objeto de la investigación** es *el proceso de control de proyectos*. El **campo de acción** es *el análisis geo-referencial en el control de proyectos*.

El **objetivo general** de la presente investigación es: *Desarrollar un modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, que contribuya a mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones en el control de proyectos*.

Los **objetivos específicos** son:

1. Construir el marco teórico de la investigación, relacionado con el análisis geo-referencial, el empleo de métodos de decisión multicriterio y los sistemas basados en casos para la ayuda a la toma de decisiones durante el control de proyectos.
2. Desarrollar un modelo de control de proyectos que utilice el análisis geo-referencial, técnicas de evaluación multicriterio y un sistema basado en casos mediante el empleo de tecnologías de código abierto.
3. Desarrollar un Sistema de Información Geográfica para el control de proyectos que soporte la implementación del modelo.
4. Instrumentar el modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial en la Suite XEDRO GESPRO 13.05.
5. Validar el modelo desarrollado a través de métodos cualitativos y cuantitativos.

Para guiar la investigación se formuló la siguiente **hipótesis**: *El desarrollo y aplicación consecuente de un modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, que emplee técnicas de evaluación multicriterio y un sistema basado en casos, mejorará la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones en el control de proyectos.*

La operacionalización de las variables se define en el Anexo B.

Los **métodos** y **técnicas** empleados fueron los siguientes:

Métodos teóricos:

- **Análisis y síntesis:** se emplea para arribar a conclusiones luego de estudiar el proceso de control de proyectos y los métodos disponibles para la toma de decisiones. Permitió identificar la naturaleza o esencia sobre los principales indicadores que pueden ser utilizados en el proceso de control.
- **Inductivo - deductivo:** se utiliza para identificar los aspectos particulares a partir de los generales y viceversa sobre los métodos de toma de decisiones multicriterio, así como para caracterizar el proceso de control de proyectos. Además, a partir del problema identificado permitió plantear objetivos específicos y una hipótesis que es resuelta en el transcurso de la investigación.
- **Histórico - Lógico:** se emplea para llevar a cabo un estudio crítico sobre los estándares para la gestión de proyectos en cuanto a la realización del proceso de control. Se analizan las tendencias actuales sobre el empleo del análisis geo-referencial, los métodos de decisión multicriterio y los sistemas basados en casos para el control de proyectos.
- **Modelación:** se utiliza para lograr la integración sistémica del modelo propuesto a través de la relación entre sus componentes y la guía de implementación definida.

Métodos empíricos:

- **Observación:** se utiliza para identificar las formas de actuación de los decisores durante la toma de decisiones ante la dispersión en cuanto a la ubicación geográfica de los proyectos.

- **Encuestas:** se emplea para medir la valoración de los expertos, el grado de satisfacción de los usuarios potenciales y el impacto de la aplicación del modelo en el proceso de toma de decisiones.
- **Entrevistas:** se utilizan para conocer sobre el proceso de control en organizaciones cubanas dedicadas al desarrollo de proyectos y para valorar los beneficios del modelo a partir de su instrumentación mediante el SIG.
- **Análisis documental:** se emplea para el estudio de la bibliografía especializada disponible a nivel nacional e internacional. Permitió obtener la información necesaria para definir los elementos que componen el modelo y la guía de implementación propuesta.
- **Experimental:** se utiliza para comprobar los resultados derivados de las técnicas y métodos propuestos.
- **Triangulación metodológica:** se utiliza para combinar los resultados luego de aplicar varios instrumentos, así como para analizar las coincidencias y divergencias de los resultados obtenidos del proceso de validación.

La **novedad científica** del trabajo se expresa en: la concepción y fundamentación de un modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, que emplea técnicas de evaluación multicriterio y un sistema basado en casos para mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones en el control de proyectos.

Los **aportes prácticos** son:

- La guía de implementación del modelo.
- Una base de conocimientos de proyectos terminados que fue extendida para el análisis geo-referencial.
- Un Sistema de Información Geográfica (SIGESPRO) que permite realizar el análisis geo-referencial en el control de proyectos mediante la instrumentación del modelo en la herramienta informática XEDRO GESPRO.

La investigación se presenta con una Introducción, tres Capítulos, Conclusiones y Recomendaciones según la distribución siguiente:

Capítulo 1: Se construye el marco teórico sobre las principales tendencias en el control de proyectos, a partir de la evaluación y el uso del análisis geo-referencial. Se exponen las características de los problemas de decisión y el uso de operadores para la agregación de información. Se caracterizan los SBC y se analiza su aplicación para el aprendizaje y la retroalimentación durante la toma de decisiones.

Capítulo 2: Se describe la concepción del modelo para el control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, el cual está sustentado en los elementos teóricos que fueron analizados en el Capítulo 1. Se exponen sus características y la relación entre sus componentes. A través de su realización se formula la evaluación dinámica de proyectos y entidades desarrolladoras, la método de evaluación de las zonas geográficas y se emplea una base de conocimientos de proyectos terminados para facilitar el aprendizaje y la retroalimentación mediante un SBC.

Capítulo 3: Se describe la estrategia definida para la validación de la propuesta a partir del empleo de varios métodos. Se presentan los resultados de la instrumentación del modelo mediante la implementación de SIGESPRO. Se analizan los resultados obtenidos de la valoración de los expertos, la satisfacción de usuarios potenciales, la entrevista en profundidad, el estudio de casos y de varios cuasiexperimentos que fueron empleados para demostrar las mejoras percibidas en las variables del problema. Luego se argumenta el impacto económico y social de la propuesta.

Finalmente se exponen las conclusiones generales y las recomendaciones.

Capítulo 1

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En el presente capítulo se construye el marco teórico sobre las principales tendencias en el control de proyectos, a partir de la evaluación y el uso del análisis geo-referencial. Se exponen las características de los problemas de decisión y el uso de operadores para la agregación de información. Se caracterizan los SBC y se analiza su aplicación para el aprendizaje y la retroalimentación durante la toma de decisiones.

1.1. Análisis geo-referencial

El análisis geo-referencial según [71], puede definirse como el conjunto de técnicas y modelos que hacen un uso explícito de la referencia geográfica. En particular; el manejo de la posición, la superficie, la distancia y la interacción a través del propio espacio juegan un papel importante para la interpretación de los resultados en cualquier tipo de análisis geo-referencial [24].

Desde otro enfoque se puede plantear que, el análisis geo-referencial es el estudio cuantitativo de aquellos fenómenos que se manifiestan en un área geográfica determinada [72]. En esencia, se deben formalizar los métodos para el análisis, fundamentados sobre la base cuantitativa del dato geográfico de entrada para proveer un entorno adecuado que permita realizar el análisis.

Según Baily y colaboradores [73], mediante el empleo del análisis geo-referencial pueden formularse diversas cuestiones geográficas relativas a: la forma y distribución, la posición, la asociación espacial y la variación del dato geográfico.

A continuación se mencionan algunos grupos en los que pueden clasificarse los métodos o formas de análisis geo-referencial [24, 72, 74]:

- Consulta espacial: el tipo de análisis más simple es la consulta directa de la

información que contiene el dato espacial. Proporciona información inmediata a partir de la observación de los datos y la propiedad fundamental que se emplea para este fin es la posición del elemento geográfico.

- **Análisis topológico:** las consultas realizadas a las capas de datos espaciales pueden tener relación no solo con su posición sino con otros elementos de la misma capa. La existencia de topología puede emplearse para realizar consultas que respondan a cuestiones como, por ejemplo, cómo llegar desde una posición hasta una coordenada concreta por la red vial.
- **Medición:** la existencia de una referencia geográfica para cada uno de los elementos permite cuantificar otra serie de parámetros también espaciales. El más básico de estos parámetros es la distancia, que puede ser una distancia simple entre dos puntos dados o bien una distancia entre elementos complejos tales como polígonos o líneas, o incluso combinaciones entre ellos. Otros parámetros que también pueden medirse son el área, el perímetro y la longitud de un recorrido no lineal.
- **Combinación:** uno de los procedimientos más habituales es la combinación o superposición de varias capas de información. La propia estructura de la información geográfica en capas facilita notablemente estos procedimientos y convierte a los SIG en plataformas ideales para llevar a cabo diversos análisis donde se combina la información de diversas variables.
- **Transformaciones:** se pueden incluir dentro de este grupo una serie de procedimientos que modifican los elementos de entrada de diversas formas. Por ejemplo, la creación de áreas de influencia convierte los distintos elementos geográficos en áreas que reflejan la influencia en base a parámetros tales como distancias o costes. Se tiene así una transformación geométrica, ya que la forma del objeto se transforma en una nueva que indica la zona que se ve afectada.
- **Estadística descriptiva:** la estadística clásica tiene sus equivalentes en los datos espaciales, y permiten clasificar cuantitativamente los datos analizados. Se incluyen

aquí descriptores de centralidad y dispersión, de dependencia espacial o el estudio de patrones espaciales, entre otros.

- Inferencia: otro análisis estadístico de gran importancia en los SIG es el que permite inferir comportamientos de las variables y estudiar, por ejemplo, la forma en que estas van a evolucionar a lo largo del tiempo.
- Modelización: la creación de modelos espaciales dentro de un SIG permite realizar una representación del mundo real que puede ser utilizada para elaborar mapas, realizar consultas y diferentes análisis sobre un área geográfica determinada.
- Toma de decisiones: la realización de actividades en el medio tiene una componente espacial. Son muchos los parámetros que influyen en ellas, y en función de estos, dichas actividades se desarrollarán de una forma u otra. La estructura de la información geográfica en capas dentro de un SIG, favorece el estudio de forma combinada sobre los efectos generados por distintos factores.

Estas formas de análisis no son independientes entre sí, pues coinciden en muchos aspectos para su aplicación. En este sentido, constituye la principal ventaja de la utilización de los SIG, su capacidad para combinar estos métodos para dar solución a diversos problemas mediante el empleo del dato geográfico. En este trabajo serán utilizados varios de estos métodos para elaborar un modelo basado en el análisis geo-referencial para la ayuda a la toma de decisiones durante el control de proyectos.

1.2. Problemas de toma de decisiones

La toma de decisiones consiste en elegir la mejor opción o alternativa entre un conjunto posible de opciones o alternativas. Los problemas de toma de decisión presentan los siguientes elementos [12, 75, 76]: (1) Uno o varios objetivos por alcanzar, (2) Un conjunto de alternativas o decisiones posibles para alcanzar dichos objetivos, (3) Un conjunto de factores o estados del entorno que definen el contexto donde se desarrolla el problema de

decisión y (4) Un conjunto de valores de utilidad asociados a los pares formados por cada alternativa y estado del entorno.

1.2.1. Caracterización de los problemas de toma de decisiones

Las características y el tipo de información que define el marco del problema de decisión inciden en el modelo de resolución que debe ser empleado. En la vida real existe una gran variedad de situaciones de decisión, la teoría de la decisión ha establecido una serie de criterios que permiten clasificar los problemas de decisión según [12, 76, 77]: el *ambiente de decisión*, el *número de criterios*, la *cantidad de dominios* empleados para expresar las preferencias, el *número de expertos* y la consideración o no de los *cambios en el tiempo*. La descripción de cada variante se realiza a continuación:

Ambiente de decisión: el ambiente de decisión se define por las características y el marco en el que se va a llevar a cabo la toma de decisiones. La teoría clásica de la decisión distingue tres ambientes [78]:

- Ambiente de certidumbre: un problema de decisión está definido en un ambiente de certidumbre cuando se conocen con exactitud los elementos o factores que intervienen en el problema. Esta situación permite asignar valores cuantitativos de utilidad a cada una de las alternativas presentes.
- Ambiente de riesgo: un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo cuando alguno de los elementos o factores que intervienen están sujetos a las leyes del azar. En estos casos, los problemas pueden ser resueltos utilizando la teoría de la probabilidad.
- Ambiente de incertidumbre: un problema de decisión está definido en un ambiente de incertidumbre cuando la información disponible sobre las alternativas puede ser incompleta, vaga o imprecisa. Esto implica que la utilidad asignada a cada alternativa tenga que ser valorada de forma cualitativa. La incertidumbre surge a partir de la imprecisión propia del comportamiento humano o la inherente a ciertos escenarios que por su naturaleza son inciertos.

En el control de proyectos, las decisiones deben ser tomadas en situaciones donde la información puede ser vaga, imprecisa e incierta. Generalmente, la incertidumbre es de naturaleza no probabilística y puede surgir al intentar valorar fenómenos relacionados con las evaluaciones subjetivas del proyecto. Existen herramientas para tratar este tipo de incertidumbre, entre las cuales se encuentran la teoría de los conjuntos difusos [79, 80], los conjuntos aproximados [81–83], los conjuntos difusos intuicionistas [84, 85], entre otros. En este trabajo resulta de interés conocer la incertidumbre de la información que se utiliza como datos de entrada para la evaluación del proyecto.

Número de criterios: el número de criterios o atributos que se tienen en cuenta en los procesos de decisión para obtener la solución permite clasificar a los problemas de decisión en dos tipos [86, 87].

- Problemas con un sólo criterio o atributo: son los problemas en los que, para evaluar las alternativas, se tiene en cuenta un único criterio o atributo que representa la valoración dada a esa alternativa. La solución se obtiene como la alternativa que mejor resuelve el problema a partir de un solo criterio.
- Problemas multicriterio o multiatributo: son los problemas en que, para evaluar las alternativas, se tienen en cuenta dos o más criterios o atributos que definen cada alternativa. La alternativa de solución será aquella que mejor resuelva el problema y que considere todos los criterios.

Los problemas de Toma de Decisión Multicriterio (TDMC) [78, 87, 88] son más complejos de resolver que los problemas de un solo criterio. Cada criterio puede establecer un orden particular y diferente sobre el conjunto de alternativas. En la literatura existen varios trabajos [78, 89, 90], donde se especifica que a partir del conjunto de órdenes de preferencia, se hace necesario establecer algún mecanismo que permita construir una orden global de preferencias. Este enfoque resulta de interés para obtener una evaluación integral del proyecto, pues se permite combinar el resultado de los indicadores para medir el comportamiento de las principales áreas de la gestión de proyectos.

Dominios empleados para expresar las preferencias: es el conjunto de valores utilizados por los expertos para emitir sus preferencias. En los problemas de toma de decisiones la información puede ser expresada mediante dominios numéricos, intervalares y lingüísticos [91–95]. Por tanto, según el dominio o la combinación de varios de estos los problemas pueden clasificarse en homogéneos o heterogéneos.

- Homogéneos: todas las preferencias son emitidas en el mismo dominio de información [84, 91].
- Heterogéneos o no homogéneos: las preferencias son emitidas para más de un dominio de información [92–98].

La selección de un dominio de información específico puede estar determinada por la naturaleza de los criterios, la pertenencia de los expertos a áreas de conocimiento diferentes o al nivel de conocimiento que estos poseen sobre el problema analizado. Por tanto, algunas de las variables involucradas pudieran ser de tipo numérico (cuantitativo), mientras que otras son de tipo lingüístico (cualitativo). Para ello, es importante tener en cuenta que el modelo matemático que se utilice para efectuar el estudio sea capaz de manejar estos tipos de datos o combinar ambos de forma coherente. En este trabajo se pretenden utilizar datos de entrada homogéneos mediante dominios numéricos.

Número de Expertos: según el número de expertos que toman parte en el proceso de toma de decisión, los problemas se pueden clasificar en dos tipos [99]:

- Unipersonales o individuales: se refiere a problemas donde las alternativas son valoradas por un único experto. Por tanto, para cada alternativa x_i , se tendrá una valoración y_i del experto en un dominio de expresión determinado (numérico, lingüístico o intervalares).
- Multiexperto: las decisiones son tomadas por un conjunto (finito) de expertos [78]. Así, cada experto, e_k , proporciona su preferencia y_i^k , sobre la alternativa, x_i .

Un problema de toma de decisión donde participan varios expertos, es más complejo que otro en el que la toma de decisión se realiza de forma individual.

Consideración de los cambios en el tiempo: si se tienen en cuenta o no los cambios en el tiempo los problemas de decisión se clasifican en dos tipos.

- Estáticos: el punto de vista clásico de la toma de decisión es estático debido a que generalmente se tienen en cuenta las preferencias emitidas en un único momento de decisión sobre un único conjunto de alternativas y de acuerdo a un único conjunto de criterios de importancia fija.
- Dinámicos: en un problema de Toma de Decisión Dinámico (TDD), se tienen en cuenta múltiples momentos de decisión, ya sea para tomar una única decisión al final del proceso o para tomar decisiones en cada uno de los múltiples momentos [100,101]. Las alternativas y criterios no son necesariamente fijos, es decir, en cada momento de decisión el conjunto de alternativas y criterios puede ser diferente. En este tipo de problemas, las valoraciones anteriores de las alternativas, influirán en la valoración final.

En este trabajo se desea emplear ambos tipos de situaciones, tanto estáticas como dinámicas, para obtener la evaluación del proyecto y de la organización en un corte así como de su evolución durante todo el ciclo de vida.

1.2.2. Enfoques para problemas de toma de decisión dinámicos

La naturaleza dinámica del ambiente donde se realizan los cortes al proyecto, es uno de los factores fundamentales que influye en la complejidad del proceso de toma de decisión en el contexto de la investigación. Los problemas de TDD suelen demandar procesos que pueden extenderse a lo largo de varios períodos o momentos de decisión, donde los elementos del problema pueden sufrir cambios [100, 102, 103]. Por ejemplo, se pueden contemplar nuevos indicadores mientras que otros pueden ser eliminados o no estar disponibles, su importancia relativa también puede cambiar en los distintos cortes o momentos de decisión.

La solución de un problema de TDD es un proceso continuo donde las decisiones en diferentes períodos tienen relación entre ellas [102]. En la literatura pueden encontrarse diversos problemas de este tipo relacionados con la selección de proveedores, la evaluación de inversiones, el diagnóstico médico, la evaluación del personal, la evaluación de la eficiencia en sistemas militares, la selección de lugares de aterrizaje [102, 104, 105], entre otros.

En general, las características que distinguen un problema de TDD son las siguientes [100, 102–104, 106]: (1) La dimensión tiempo es considerada, es decir, se tienen en cuenta diferentes momentos de decisión, (2) Las alternativas pueden variar en el tiempo, (3) Los criterios pueden variar en el tiempo y (4) El comportamiento temporal de una alternativa se tiene en cuenta para su comparación con otra alternativa.

Para modelar el carácter cambiante de las alternativas, Weiss implementó el Proceso de Análisis Jerárquico (del inglés, *Analysis Hierarchical Process*, AHP) [107] para representar situaciones donde las alternativas aparecen en el problema de forma secuencial y no simultáneamente [108]. Satty aportó además, que si las alternativas evolucionan durante varios períodos junto con las preferencias de los decisores entonces se requieren respuestas diferentes y continuas a través del tiempo [109]. Este elemento está relacionado con la retroalimentación en la continuidad y la relación entre los resultados de las decisiones en los diferentes momentos de tiempo [106]. A continuación se revisan los dos enfoques fundamentales que han sido desarrollados para la resolución de problemas TDD: **Enfoque multiperíodo:** las soluciones bajo esta propuesta, tienen como característica que las preferencias son recogidas en múltiples períodos y son empleadas en su totalidad para tomar una única decisión al finalizar el proceso [101]. En principio, el problema de TDD es descompuesto en múltiples problemas no dinámicos de TDMC para resolver cada uno de ellos mediante los métodos clásicos de toma de decisión [78, 87].

La propuesta de Xu [101], define específicamente un problema multiperíodo donde se procede al cálculo de las valoraciones colectivas de las alternativas en cada período con el empleo del operador de agregación suma ponderada. Luego se realiza el cálculo de los pesos

en cada período, que pueden ser directamente definidos por los decisores o identificados a través de métodos basados en series aritméticas, geométricas o distribuciones normales. Finalmente, para cada alternativa se calcula una valoración colectiva que tendría en cuenta las valoraciones obtenidas con anterioridad para cada período, estas serán agregadas con el operador suma ponderada dinámica. El orden de las alternativas se obtiene según al orden decreciente de las evaluaciones dinámicas y si es preciso se selecciona la mejor.

En la literatura, siguiendo este esquema de resolución, pueden encontrarse las propuestas de [110], [111], [112], [113], [114] y de [115], entre otras. Sus modificaciones están basadas fundamentalmente en la Técnica para Ordenar Preferencias por su Similitud a la Solución Ideal (del inglés, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*, TOPSIS) [77].

En general, las soluciones multiperíodos se orientan en agregar las valoraciones recogidas en varias iteraciones y utilizarlas para emitir una evaluación final. Se consideran como enfoques de TDD mientras la solución tenga en cuenta todas las valoraciones anteriores, pero no son apropiados cuando se enfrentan a problemas que incluyen una gran cantidad de alternativas y criterios y donde además se requiere un número elevado de iteraciones, siendo este uno de los elementos que caracteriza los procesos de control de proyectos. Otras de las limitaciones es que para emitir la evaluación final, necesitan almacenar y agregar toda la información recopilada en todos los períodos.

Enfoque General de TDD: este enfoque es útil para el tipo de problemas donde se requiere una solución en cada una de estas iteraciones o al final de todas ellas, pero en cada solución final o intermedia debe tener en cuenta las soluciones anteriores [100, 103, 105].

Para tratar estas situaciones, surge la propuesta de Campanella y Ribeiro [100], que para la resolución de un problema de TDD propone, inicialmente el cálculo de una evaluación no dinámica de cada alternativa a través de algún método convencional de toma de decisión. A partir del segundo momento de decisión, se calcula una evaluación dinámica para cada alternativa y se emplean operadores de agregación asociativos que evitan el almacenamiento de toda la información generada del problema de decisión,

siendo necesario guardar únicamente la evaluación dinámica de cada alternativa en el período anterior y el actual. También, se puede establecer una política de retención que module la información de las alternativas que serían almacenadas de un período a otro. Por otra parte, el modelo general de Campanella y Ribeiro [100] formaliza la TDD como extensión de los modelos clásicos de TDMC, esta característica lo convierte en un enfoque general no dependiente de dominios de información u operadores de agregación. Esta propuesta es adaptable a cualquier problema de TDD: los que requieren una única decisión final con enfoque multiperíodo; los que requieren diferentes y sucesivas decisiones donde la última estaría influenciada por las anteriores; e incluso problemas de consenso. Otro elemento relevante lo constituye la propiedad de asociatividad del operador de agregación, pues esta evita que sea necesario almacenar la información correspondiente a todos los períodos analizados aunque no garantiza la obtención de evaluaciones iguales para diferentes alternativas de manera independiente al comportamiento que hayan tenido en diferentes períodos. Por estos motivos el enfoque general de TDD se considera pertinente para ser empleado en la solución de este trabajo.

1.2.3. Agregación de información

La agregación de información de manera eficiente y flexible para el procesamiento de grandes volúmenes de información constituye uno de los principales temas de investigación para la resolución de problemas de decisión [116–118]. En esta sección, dada la importancia de la selección de los operadores de agregación en los problemas de TDD, se revisan sus propiedades para su selección en dependencia del comportamiento que desee reflejar el decisor. Estas se pueden clasificar en dos grupos fundamentales [119]: matemáticas y de comportamiento.

Un operador de agregación es definido formalmente a partir de sus propiedades matemáticas como [120]:

DEFINICIÓN 1.2.1 *Una función $\Psi : [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ es llamada operador de agregación si cumple las propiedades siguientes:*

Monotonía: $\Psi(x_1, \dots, x_n) \leq \Psi(y_1, \dots, y_n)$ siempre que $x_i \leq y_i$ para todo $i \in \{1, \dots, n\}$,

Identidad: $\Psi(x) = x$ para todo $x \in [0, 1]$,

Contorno: $\Psi(0, \dots, 0) = 0$ y $\Psi(1, \dots, 1) = 1$.

Existen diversos estudios donde se pueden encontrar descripciones detalladas sobre las propiedades matemáticas de los operadores de agregación [80, 118, 119, 121, 122]. Entre ellas, es de interés analizar algunas de las que pudieran ser deseables en la solución de este trabajo.

Continuidad: Ψ es una función continua en cada una de sus variables.

Con esta propiedad se asegura que la existencia de pequeñas variaciones en los datos no provoque grandes saltos en el resultado.

Conmutatividad: Para todo $(x_1, \dots, x_n) \in [0, 1]$, $\Psi(x_1, \dots, x_n) = \Psi(x_{\sigma(1)}, \dots, x_{\sigma(n)})$ siendo σ una permutación cualquiera de $\{1, \dots, n\}$.

Esta propiedad establece que el orden de los datos de entrada no debe afectar al resultado obtenido, siendo todos ellos tratados de la misma forma. Se deberá por lo tanto exigir en aquellos casos donde las valoraciones de los criterios que se pretenden agregar tengan todos la misma importancia.

Asociatividad: Para todo $n, m \in \mathbb{N}$, $\forall x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m$ se cumple que

$$\Psi(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m) = \Psi(\Psi(x_1, \dots, x_n), \Psi(y_1, \dots, y_m))$$

Esta propiedad permite extender operadores definidos sobre dos variables a cualquier número de argumentos de forma inmediata y consistente [123].

En cuanto a las propiedades de comportamiento, estas están mayormente relacionadas con el sentido intuitivo en el que un operador combina las preferencias. El estudio de este elemento ha llevado a las siguientes variantes de clasificación [80, 118]:

Operadores de promedio: Los resultados están acotados para toda x , $\min(x) \leq f(x) \leq \max(x)$. Son operadores comprendidos entre el mínimo y el máximo. Describen una actitud de compensación o promedio de valores, devuelve un valor comprendido entre

ambos extremos. Esta clasificación incluye la media aritmética y sus transformaciones isomórficas (quasi-aritmética, geométrica, armónica y las *power*-medias, así como sus contrapartes ponderadas) [117, 118]. Uno de los operadores más utilizados es la suma ponderada, el cual está dado por la siguiente definición:

DEFINICIÓN 1.2.2 *La suma ponderada (SP) está definida para un vector de pesos $W = (w_1, \dots, w_n)$, $w_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ tal que:*

$$X(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i \quad (1.1)$$

Otro grupo de operadores ampliamente utilizado es la familia de los OWA (*Ordered Weighted Averaging*) [117, 124] en el cual, los pesos no están asociados a un valor predeterminado sino a una posición determinada. Su definición formal está dada por:

DEFINICIÓN 1.2.3 *Un operador OWA se define como una función de dimensión n del tipo $F : R^n \rightarrow R$ a la que se le asocia un vector $W = (w_1, \dots, w_n)$, donde $w_i \in [0, 1]$, $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ siendo:*

$$OWA(x_1, \dots, x_n) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot y_j \quad (1.2)$$

donde y_j es el j -ésimo mayor valor del conjunto $\{x_1, \dots, x_n\}$.

Dentro de la familia de operadores OWA se encuentra el operador ME-OWA [125], refiriéndose las siglas ME a la máxima entropía, el Step-OWA u operadores de tipo escalón [126], el OWA ponderada (del inglés, *Weighted Ordered Weighted Averaging*, WOWA) [127], la media ponderada inmediata (del inglés, *Immediate Weighted Average*, IWA) [128] y el operador OWAWA (del inglés, *Ordered Weighted Averaging Weighted Averaging*, OWAWA) [129], entre otros.

Otra de las familias de operadores OWA de gran importancia son los Neat-OWA [126, 130] y se caracterizan por la dependencia de los pesos con respecto a los valores a agregar.

Como parte de estos, también se encuentran los operadores de mayoría MA-OWA [131], estos resuelven uno de los principales problemas de toma de decisión, pues en el proceso de agregación contempla todas las opiniones o criterios expuestos de manera tal que se reflejen la mayoría de estos en el proceso de evaluación sin desestimar la representación minoritaria en la agregación.

Operadores conjuntivos: Los resultados están acotados para toda $x, f(x) \leq \min(x)$. Exigen que todos los criterios agregados se satisfagan de forma simultánea, y por lo tanto el resultado de la agregación estará acotado superiormente por el menor de los distintos grados de satisfacción agregados. Ejemplos básicos de este tipo de operadores son las normas triangulares (o t-normas) que cumplen las propiedades de asociatividad, simetría y tienen el valor 1 como elemento neutro [121]. Entre las t-normas se incluyen el mínimo y el producto, se definen formalmente como:

DEFINICIÓN 1.2.4 *Una norma triangular o t-norma T es un mapping, $T : [0, 1] \times [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$, con las siguientes propiedades $a, b, c, d \in [0, 1]$.*

- I) *Conmutatividad:* $T(a, b) = T(b, a)$.
- II) *Monotonía:* $T(a, b) \geq T(c, d)$ if $a \geq c$ and $b \geq d$.
- III) *Asociatividad:* $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$.
- IV) *Elemento Neutral:* $T(a, 1) = a$.

Operadores disyuntivos: En contraste con los operadores anteriores, los operadores disyuntivos están acotados para toda $x, f(x) \geq \max(x)$, es decir, generan un resultado que está acotado inferiormente por el mayor de los elementos agregados. Las conormas triangulares o (t-conormas) [121] pertenecen a este grupo y ejemplo de ellas son el máximo y la suma probabilística, se definen formalmente como:

DEFINICIÓN 1.2.5 *Una conorma triangular o t-conorma S es un mapping $S : [0, 1] \times [0, 1] \longrightarrow [0, 1]$, donde para todo $a, b, c, d \in [0, 1]$ se cumplen las propiedades i, ii, iii y*

- V) *Elemento Neutral:* $S(a, 0) = a$.

Operadores mixtos o híbridos: Estos operadores no pertenecen a los dos primeros grupos. En esta clasificación se incluyen las uninormas [116] y las nulnormas [131, 132].

DEFINICIÓN 1.2.6 Una uninorma U es un operador binario conmutativo, asociativo y monótono con elemento neutro $e \in [0, 1]$ [131, 133], que se obtiene mediante la combinación de una t -norma en $[0, e]$ y una t -conorma en $[e, 1]$ [118].

$$U(x, y) = \begin{cases} \varphi^{-1}(T_U(\varphi(x), \varphi(y))), & x, y \in [0, e] \\ \psi^{-1}(S_U(\psi(x), \psi(y))), & x, y \in [e, 1] \end{cases} \quad (1.3)$$

donde $\varphi(x) = x/e$ y $\psi(x) = (x - e)/(1 - e)$.

En [134], Yager propuso la siguiente uninorma a partir de una generalización del Operador-3- Π [131]:

$$U_{\Pi}(x, y) = \frac{\frac{xy}{e}}{\frac{xy}{e} + \frac{\bar{x}y}{1-e}} \quad (1.4)$$

donde $\bar{x} = 1 - x$.

Esta clasificación de los operadores de agregación, está estrechamente relacionada con el comportamiento del refuerzo [105, 135]. Un operador de agregación Ψ tiene refuerzo hacia arriba si $\Psi(x_1, \dots, x_n) \geq \max_i[\Psi(x_i)]$. Por el contrario, tiene refuerzo hacia abajo si $\Psi(x_1, \dots, x_n) \leq \min_i[\Psi(x_i)]$. En contraste, el refuerzo total comprende ambos comportamientos.

Según lo expuesto anteriormente, se evidencia que las t -normas y t -conormas presentan refuerzos hacia abajo y hacia arriba respectivamente mientras que entre los operadores con refuerzo total se encuentran los pertenecientes a las familias aditiva y producto de operadores FIMICA (Agregación con Identidad Fija, Monotonía, Identidad y Conmutatividad) y las uninormas [135].

1.3. Tendencias sobre la toma de decisiones y el análisis geo-referencial en el control de proyectos

Los problemas de toma de decisiones tienen un alto impacto en la gestión de proyectos [9–11]. En particular, tienen una estrecha relación con el análisis de las alternativas que surgen de los cortes realizados al proyecto como parte del proceso de control.

En cuanto al control, un clásico de la dirección lo cataloga como [136] “...la medida y la corrección del desempeño de las actividades de los subordinados para asegurar que los objetivos y planes de la organización se estén llevando a cabo...”. Por su parte, Stoner plantea que “... se trata de un proceso para garantizar que las actividades reales se ajusten a las actividades planeadas...” [137].

Dentro de la DIP, Heredia [13] y Valencia [138] definen como objetivo principal del subsistema de control la observación, con el fin de corregir los errores o defectos detectados para comparar los resultados obtenidos con lo programado. El directivo debe contar con la información necesaria para analizar y estudiar los planes. Debe ser capaz de determinar las dificultades que ocurrieron, los puntos débiles que se presentaron, las causas de los incumplimientos, pero también las fortalezas y aciertos. Luego, en correspondencia, se deben tomar las medidas que garanticen evitar la repetición de los errores y potenciar los logros positivos. Para garantizar lo anterior, Encinosa y Rose plantean que en el proceso de control se deben desarrollar las siguientes actividades [20, 139]:

1. Diseño y establecimiento de planes, normas y objetivos a alcanzar.
2. Medición del desempeño y comparación con los planes, normas y objetivos.
3. Definición de acciones para corregir y rectificar las desviaciones detectadas.

Además, el uso de indicadores de gestión permite enfocar la proyección estratégica de la organización para realizar su gestión a corto, mediano y largo plazo [1, 17, 18]. En este sentido como plantea Díaz [140] “...los valores encauzan la visión estratégica en los procesos cotidianos. Nos llevan en el día a día a alcanzar los resultados deseados...”. Del

estudio de la experiencia adquirida de los controles realizados se deben realizar análisis de tendencias para la toma de decisiones. Para ello, es necesario disponer de técnicas, métodos y herramientas informáticas que faciliten el cálculo de la evaluación del proyecto y/o de la organización. El conjunto de varios proyectos de una organización, que tienen un mismo fin u objetivo, suelen ser agrupados para su control mediante un programa. La dirección de programas está dada por la administración coordinada y centralizada del conjunto de proyectos relacionados para facilitar el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización [20, 21, 23, 141].

Para generalizar el conocimiento relacionado con el control de proyectos, en los epígrafes siguientes se analizan los principales estándares para la gestión de proyectos.

1.3.1. Modelo de capacidad y madurez integrado

El SEI desarrolla y distribuye el Modelo de capacidad y madurez integrado (del inglés *Capability Maturity Model Integration*, CMMI) [19, 46]. CMMI es un modelo de mejora de procesos para el desarrollo de productos y servicios. Define 22 áreas de procesos distribuidas en cinco niveles de madurez. Entre estas se encuentra Monitorización y control del proyecto (del inglés, *Project Management Control*, PMC) como área prevista para desarrollar el control aun cuando también prevé la realización de acciones correctivas como parte de las actividades de control y seguimiento [19]. Esta área pertenece al nivel dos de madurez y tiene como propósito proporcionar una comprensión sobre el progreso del proyecto para que se puedan tomar las acciones correctivas apropiadas. Otras de las áreas involucradas en el uso de indicadores son Medición y análisis, Planeación del proyecto, Aseguramiento de la calidad y Dirección integrada de proyectos. El autor sobre el análisis de CMMI, considera que un elemento interesante lo constituye la importancia que provee el modelo a la selección de herramientas informáticas para automatizar las actividades de GP. Además resaltan la necesidad de utilizar indicadores derivables de la obtención de métricas como apoyo a la toma de decisiones. Este escenario, donde se combinan los indicadores para obtener las evaluaciones durante el proceso de control de proyectos,

puede ser tratado como un problema de decisión multicriterio. Sugieren que a partir de la interpretación de los resultados se realicen análisis de tendencias para contribuir a la mejora continua de la organización, aunque para ello no especifican métodos que permitan obtener una evaluación integral del proyecto o de una zona geográfica mediante el uso del análisis geo-referencial para la toma de decisiones.

1.3.2. Proyectos en entornos controlados PRINCE2

Proyectos en entornos controlados (del inglés *Projects in Controlled Environments*, PRINCE2) [142] es un método para la gestión de proyectos desarrollado por la Agencia Central de Informática y Telecomunicaciones del Reino Unido. El proceso Controlar una Fase (del inglés *Controlling a Stage*, CS) es el referido al control de proyectos y cuenta con dos salidas fundamentales. Una de ellas es el Informe de desarrollo, el cual refleja un resumen de la fase contra el plan de la fase, también maneja la información sobre las tolerancias y los problemas potenciales. La otra salida se corresponde con el Informe de excepción, este se crea únicamente si la fase que culmina no terminará de acuerdo con el plan previsto. Además ofrece una visión general sobre las causas que provocan que la fase se salga de la tolerancia aunque para ello la organización debe definir sus alternativas a implementar para poner el proyecto nuevamente en marcha [21, 143, 144].

Destaca la gestión de programas como el ente superior para realizar el análisis estratégico de la organización y para ello establece una relación directa con el proceso de control de los proyectos [21, 144]. Define que el Director del programa es el máximo responsable sobre los procesos mencionados, así como de las acciones que se realizan tanto en el nivel táctico como en el estratégico.

De acuerdo con la descripción anterior, el control de proyectos dentro de PRINCE2 se encuentra representado en un proceso que está dirigido a controlar una fase determinada del proyecto. Sin embargo, no define un mecanismo formal para realizar el análisis de las fases anteriores a pesar de que sugieren que sean almacenados los indicadores obtenidos del proceso de control. El control de la fase describe las tareas diarias de seguimiento que

realiza el Jefe de proyecto y el Director del programa, pero no se realiza una evaluación integral donde se obtenga una evaluación resultante de la combinación de las áreas clave de la GP. A pesar de la evolución de esta metodología, resulta muy complicada por su alta curva de aprendizaje para equipos de proyectos con poca experiencia. Excluye el área de gestión del rendimiento de los recursos humanos lo que limita la toma de decisiones cuando existen recursos compartidos al no incorporar el análisis geo-referencial. Otro factor poco favorable es el asociado al precio para adquirir una certificación como practicante de esta metodología, el cual varía en dependencia del tipo de certificación.

1.3.3. Guía de los fundamentos de la Dirección de Proyectos

El PMI desarrolla, promueve y distribuye la Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos (del inglés, *Project Management Body of Knowledge*, PMBOK) y es considerada como referencia en el ámbito de la dirección de proyectos [45]. En esta se define la dirección de proyectos y otros conceptos relacionados, se describe el ciclo de vida de la dirección de proyectos así como la relación entre sus procesos [20, 45].

Particularmente, el control de proyectos en PMBOK — analizado desde la perspectiva anterior de grupos de procesos— ocupa un lugar decisivo e integrador dada la naturaleza de la dirección de proyectos. Este grupo, interactúa con los demás procesos durante todo el ciclo de vida a diferencia de los demás que ocurren en un momento puntual. Plantean que el desempeño del proyecto debe observarse y medirse de manera sistemática, a fin de identificar variaciones respecto al plan durante la dirección del proyecto.

Específicamente el proceso definido como Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto es el más cercano al control y consiste en revisar, analizar y regular el avance para cumplir con los objetivos de desempeño. Monitorear implica realizar informes de estado, mediciones del avance y proyecciones de manera tal que se garantice la retroalimentación sobre la base de las lecciones aprendidas. Los informes de desempeño suministran información sobre la evaluación del proyecto en lo relativo al alcance, el cronograma, los costos, los recursos, la calidad y los riesgos, que pueden utilizarse como entrada

para otros procesos [20, 45]; por ejemplo para la evaluación de programas. Define que dentro de un programa, los proyectos deben relacionarse mediante el resultado común o de su capacidad colectiva para facilitar los recursos a través de una estructura de gobernabilidad compartida. Lo anterior facilita la resolución de los conflictos relacionados con la restricción de recursos y el ajuste de las metas estratégicas de la organización.

Los sistemas de información en el PMBOK están orientados hacia la utilización de herramientas informáticas que permitan realizar las actividades de gestión de proyectos. Hace referencias al uso de indicadores como mecanismo para el control; donde en algunas áreas relacionadas con el alcance, los costos y la calidad proponen su formulación matemática pero en otras solamente hacen mención a la necesidad de que sean definidas por la organización, lo que incide desfavorablemente en la interpretación de los resultados. No conciben la obtención de evaluaciones históricas que permitan realizar análisis de tendencias y tomar decisiones sobre el proyecto o una zona determinada a partir de su ubicación geográfica.

1.3.4. Normas ISO para la gestión de proyectos

La ISO 10006-2003, al igual que la revisión que la precede del año 1997, forma parte de la colección ISO 9000 asociada a la gestión de la calidad. Esta ISO en particular proporciona una guía para incrementar los indicadores de calidad en la gestión de proyectos [145]. En la norma se detallan importantes principios y prácticas que son aplicables para la gestión de la calidad de los procesos y tienen un impacto significativo en el logro de los objetivos aun cuando no se considere una guía para la gestión de proyectos en sí misma [146].

Sus esfuerzos se centran en definir los procesos a realizar para el aseguramiento de la calidad aunque no define el conjunto de técnicas a utilizar en cada caso, pues esta responsabilidad es transferida al equipo de proyecto. Según la versión del 2003, los procesos clave que se desarrollan en cualquier proyecto — y sobre los cuales se desarrolla el estándar— se refieren a: los recursos humanos y logísticos, la comunicación, el alcance, el tiempo, los costos y los riesgos.

Entre las principales acciones relacionadas con el control de proyectos en la ISO 10006:2003 están las siguientes: medir y evaluar el desarrollo del proyecto y tomar medidas para canalizar las desviaciones, controlar la calidad del trabajo desarrollado, controlar las actividades y tomar acciones correctivas en su caso. Proponen realizar comparaciones con los costos reales, controlar las desviaciones sobre el presupuesto y controlar la comunicación según lo planificado. Esta norma hace referencia a la importancia del uso de indicadores, pero no hacen propuestas concretas para realizar la evaluación sobre el avance del proyecto. Además sugiere el empleo de herramientas y técnicas que automaticen los procesos para garantizar la mejora continua de la organización.

Con relación a los programas, hace énfasis en el control de las dependencias entre las actividades y en el análisis de las incoherencias detectadas. Los decisores deben identificar aquellos acontecimientos que requieren elementos de entrada comunes a los proyectos o decisiones específicas a partir de las evaluaciones del avance, sin embargo no contemplan elementos relacionados con la ubicación geográfica de los proyectos.

En cuanto a la ISO 21500: 2012 [22, 147], esta establece una guía para la dirección y gestión de proyectos. Es considerada como un complemento de la norma ISO 10006 para el aseguramiento de la calidad, especialmente en el aspecto relacionado con la mejora continua. Como premisa, se emplea la gestión del conocimiento para asegurar la recopilación de información y generar el conocimiento de la organización con relación a las experiencias aprendidas. Presta una atención especial a la comunicación entre los miembros del proyecto para elevar el entendimiento y la sinergia del equipo. Sugiere que los proyectos sean gestionados mediante el enfoque de programas y carteras de proyectos, pero no proporciona una orientación detallada sobre cómo evaluar y chequear su avance. En Cuba, la dirección del país ha establecido varias legislaciones y decretos que han sido agrupados en un conjunto de leyes que rigen la gestión de proyectos. Una revisión realizada por el autor evidencia que, una de las últimas normas aprobadas para la gestión de proyectos se corresponde con la del año 2007, la cual coincide con la ISO 10006: 2003 ajustada a las características del entorno cubano [145]. Otra de las normas aprobadas

recientemente es la Resolución No. 44 del 2012, orientada a los proyectos de ciencia, tecnología e innovación como elementos directrices para el desarrollo económico y social del país a corto, mediano y largo plazo [141].

En cuanto al control, estas normas definen según el alcance y el nivel de responsabilidad, las instancias encargadas de llevar a cabo este proceso. Establecen como medios a emplear las evaluaciones parciales, intermedias o finales, las auditorías y las evaluaciones del impacto del proyecto o un programa. No obstante carecen de mecanismos que contemplen el uso de evaluaciones históricas que permitan realizar análisis de tendencias sobre el avance del proyecto. En general, las normas analizadas reconocen la importancia de los sistemas informáticos para la ayuda a la toma de decisiones durante el control de proyectos. Sin embargo, no conciben el uso del análisis geo-referencial para escenarios donde existan de manera simultánea múltiples proyectos en ejecución. No exponen explícitamente cómo debe garantizar la organización su mejora continua, ni tampoco definen técnicas que faciliten el aprendizaje y la retroalimentación a partir de las lecciones aprendidas de experiencias anteriores.

1.3.5. Laboratorio de Investigaciones en gestión de proyectos

Esta organización, que tiene su sede en la UCI, define la gestión de proyectos como un área multidisciplinaria donde convergen elementos de psicología, técnicas de dirección, gestión económica, gestión logística, conocimientos técnicos del área concreta donde se aplique, las ciencias matemáticas y las tecnologías de la información y las comunicaciones para alcanzar un objetivo bien determinado, con un conjunto de recursos limitados, en un tiempo determinado, con una calidad deseada y a través de un conjunto de acciones organizadas de forma óptima o cuasi óptima para mantener un balance entre el costo, el tiempo y la calidad [148].

Estratégicamente agrupan los proyectos en forma de programas para un uso más eficiente de los recursos asignados en función de las prioridades que han sido establecidas. Para ejecutar el proceso de control, sugieren que sea realizado mediante el análisis por corte, es

decir, en el corte I se dispone de la información generada en el corte $(I - 1)$, se obtienen los valores de los indicadores, se realiza la evaluación y se definen las acciones operativas y estratégicas como metas a alcanzar en el corte $(I + 1)$. Luego se elabora un informe de estado donde se incluyen todos los elementos relacionados con el corte I , así como los de $(I - 1)$ e $(I + 1)$. Este debe ser un proceso continuo donde todos los integrantes y las partes interesadas intervienen actualizando la información en cada corte para realizar los análisis pertinentes durante la toma de decisiones [149].

Debido al estudio continuo para satisfacer las necesidades de la alta gerencia de la universidad, surgen alternativas como el resultado de la investigación realizada por [67]. Este propone un modelo para el control de proyectos basado en *soft computing*; el cual se fundamenta por criterios objetivos a partir de evidencias, hace tratamiento a la incertidumbre y a la ambigüedad de los conceptos de cálculos y se basa en prioridades para el control y seguimiento del proyecto. No obstante, en su propuesta no se manejan evaluaciones que combinen los indicadores obtenidos considerando diferentes cortes del proyecto y/o de la organización; ni emplea el análisis geo-referencial para la ayuda a la toma de decisiones.

Actualmente disponen de una base de conocimientos denominada *GESPRO-Proj-Dataset* que contiene la información derivada de los indicadores y las evaluaciones realizadas durante diferentes momentos de decisión en proyectos terminados [150, 151]. Además, mediante la herramienta XEDRO GESPRO, se obtienen con frecuencia semanal 180 indicadores donde se destacan ocho que son empleados para evaluar los proyectos en ejecución [67]. Estos son analizados por los decisores que laboran en los diferentes niveles de dirección del proceso productivo de la universidad.

Los indicadores expuestos en la Tabla 1.1 responden a las principales áreas de conocimiento de la GP y su concepción parte de los enfoques teóricos tratados en el PMBOK [20, 45]. Se calculan de manera automática mediante el empleo de una herramienta informática y son obtenidos sobre la base de técnicas para el manejo de la incertidumbre y la vaguedad de la información. Esto contribuye a que los resultados

Tabla 1.1: *Indicadores calculados por área de conocimiento. Fuente: [20, 67, 152]*

Indicador	Notación	Área de conocimiento
Índice de Ejecución	<i>IE</i>	Integración, Tiempo
Índice de Rendimiento de la Ejecución	<i>IRE</i>	Integración, Tiempo
Índice de Rendimiento de la Planificación	<i>IRP</i>	Tiempo
Índice de Rendimiento de Costos	<i>IRC</i>	Costo
Índice de Calidad del Dato	<i>ICD</i>	calidad (del dato)
Índice de Rendimiento de la Logística	<i>IRL</i>	Logística
Índice de Rendimiento de los RRHH	<i>IRRH</i>	Recursos Humanos
Índice de Rendimiento de la Eficacia	<i>IREF</i>	Calidad

tengan un mayor nivel interpretabilidad para los decisores durante el proceso de control de proyectos. Sin embargo, no son empleados teniendo en cuenta el análisis geo-referencial para la toma de decisiones a pesar de que esta institución cuenta con un número alto de proyectos distribuidos en diversas regiones geográficas.

1.3.6. Herramientas informáticas para la gestión de proyectos

Como se ha expuesto anteriormente, la mayoría de las escuelas y estándares de gestión de proyectos sugieren el uso de herramientas de GP para el manejo de los grandes volúmenes de información que se genera en estos procesos. Por tanto, se deriva la necesidad de realizar un estudio sobre las principales herramientas disponibles que se utilizan para este fin. En [43], Stang y colaboradores establecen como criterios para la evaluación de sistemas de este tipo una serie de indicadores, entre estos se incluye la capacidad para ejecutarse y la integridad de la visión. Como parte de este último está contenida la estrategia geográfica, lo que permite evaluar la inclusión del análisis geo-referencial para valorar la competitividad de estos sistemas.

Se realizó una comparación entre 146 sistemas diferentes mediante la comprobación de la utilización del análisis geo-referencial y la integración con los SIG para llevar a cabo el control de proyectos. Se tuvo en cuenta además de la propuesta de [43], la presencia de los siguientes criterios: (1) entorno de colaboración, (2) seguimiento de tickets, (3) gestión

del portafolio, (4) planificación, (5) gestión de recursos, (6) gestión documental, (7) flujos de trabajo, (8) soportado por entorno web, (9) reportes y análisis, (10) software libre y (11) representación de la incertidumbre. En la Tabla 1.2 se muestra la comparación entre los sistemas de mayor porcentaje de cubrimiento, además se incluyen los casos donde se identificó la utilización de la (12) dimensión geográfica y la (13) integración con SIG.

Tabla 1.2: *Comparación entre herramientas de gestión de proyectos.*

Herramientas de GP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
enQuire	Sí	No	No	Sí	Sí								
Primavera Project	Sí	No	No	Sí	Sí								
Clarizen	Sí	No	No	Sí	No								
MS Project	Sí	No	No	No	No								
Odo	Sí	No	No	No									
Projektron BCS	Sí	No	No	No									
QuickBase	Sí	No	No	No									
WorkLenz	Sí	No	No	No									
TACTIC	Sí	No	No	No									
NetSuite	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	No
ConceptDraw Project	No	No	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	No
GESPRO 12.05	Sí	No	No										

A pesar de que varias de las herramientas analizadas poseen funcionalidades que permiten realizar el control a través de programas, éstas no tienen concebidos explícitamente indicadores que faciliten evaluar desde el nivel estratégico a la organización. Se pudo apreciar que solamente dos sistemas (*enQuire* y *Primavera Project*) hacen uso de la análisis geo-referencial y están integrados para su análisis con un SIG. Ambos se encuentran entre los sistemas de mayor porcentaje en cuanto al número de criterios cubiertos, pero no están desarrollados sobre tecnologías de código abierto e implica el pago de licencias para su uso. Otras como *Clarizen* y *NetSuite* utilizan la dimensión geográfica pero solo para realizar análisis sobre la gestión de ventas e interesados. Es el caso de *ConceptDraw Project*, un ejemplo de sistema que utiliza la información espacial a través de una herramienta de edición de mapas para representar datos de interés, pero

no emplean ningún SIG para su análisis y los limita en cuanto al aprovechamiento de las potencialidades que estos sistemas proveen.

1.3.7. Otras contribuciones para el control de proyectos

En los últimos años se han reportado varios trabajos que contribuyen a la toma de decisiones en el control de proyectos empleando técnicas de IA [47–49, 59–66, 68–70].

Tabla 1.3: *Contribuciones para la toma de decisiones en el control de proyectos.*

Contribuciones	1	2	3	4	5	6
Dweiri [59]	Sí	Sí	Sí	No	No	No
Lee [60]	Sí	Sí	No	No	No	No
Certa [61]	No	Sí	Sí	No	No	No
Gao [62]	Sí	Sí	No	Sí	No	No
Marques [47]	Sí	Sí	Sí	No	No	No
Mewada [63]	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Liu [64]	Sí	Sí	No	No	No	No
Govindarajan [65]	Sí	Sí	No	No	No	No
Zavadskas [48]	Sí	No	Sí	Sí	No	No
Bermúdez [66]	Sí	Sí	Sí	No	No	No
Peralta [68]	No	Sí	Sí	Sí	No	No
Acebes [69]	No	Sí	Sí	No	No	No
Viglioni [49]	Sí	No	Sí	No	No	No
Rodríguez [70]	Sí	Sí	Sí	No	No	No

En la Tabla 1.3 se puede observar el análisis de las contribuciones sobre la base de los criterios siguientes: (1) Uso de varios indicadores, (2) Tratamiento a la incertidumbre, (3) Retroalimentación a partir del conocimiento adquirido, (4) Empleo de herramientas de GP, (5) Cálculo de indicadores dinámicos y (6) Uso del análisis geo-referencial. De los trabajos estudiados, en ninguno de los casos se reportan evidencias sobre la utilización de evaluaciones dinámicas y el análisis geo-referencial como complemento para la ayuda a la toma de decisiones durante el control de proyectos. Por tanto, se dificulta la distribución de los recursos disponibles y el análisis de tendencias en los proyectos o programas por zonas geográficas teniendo en cuenta para ello la ubicación espacial de los proyectos.

1.3.8. Análisis sobre las tendencias estudiadas

Del análisis de las buenas prácticas, normas, procedimientos y metodologías se evidencia la realización del control con respecto al cumplimiento de la planificación del cronograma, los costos, la calidad, los recursos y los riesgos como compendios fundamentales para garantizar el éxito del proyecto. Estos elementos unidos al proceso de control contribuyen a la toma de decisiones y permiten corregir el rumbo del proyecto hacia el cumplimiento de sus objetivos. A su vez, en la mayoría de los casos no hacen énfasis en evaluar integralmente el proyecto a partir de la obtención de indicadores como herramienta fundamental para el control [1, 14, 67, 68, 153]. Algunos enfoques refieren explícitamente el indicador y su respectiva formulación matemática, pero otros sólo hacen mención a la necesidad de su utilización, lo que implica que exista poca claridad en cuanto a su implementación.

En ninguno de los casos estudiados, se reportan evidencias sobre la utilización del análisis geo-referencial como complemento en el proceso de control para la ayuda a la toma de decisiones a pesar de que algunas herramientas de GP incorporan características de este tipo. Del análisis de las contribuciones realizadas se identificaron las siguientes limitantes:

- En la mayoría de los casos, las actividades de control se realizan en función de indicadores pero no incluyen el análisis geo-referencial para evaluar el proyecto o la organización.
- Existe la posibilidad de incorporar nuevas herramientas que faciliten la evaluación de un programa u organización desde un enfoque que permita realizar análisis de tendencias.
- Existe la necesidad de incrementar el uso de la experiencia aprendida de proyectos terminados para facilitar la mejora continua de la organización apoyados en las herramientas informáticas.

Como consecuencia, aún no es posible realizar un análisis de tendencias respecto a determinadas zonas geográficas según las evaluaciones obtenidas de proyectos o programas, lo que limita la toma de decisiones. Por una parte, la necesidad de realizar

revisiones permanentes de la ejecución del proyecto, conlleva a definir un sistema de control que posibilite medir el avance físico y el uso de los recursos materiales y financieros por zona geográfica. Por otra, se considera que puede ser pertinente la relación que pueda establecerse entre los indicadores, la dimensión geográfica y las experiencias anteriores para apoyar el proceso de toma de decisiones en los diferentes niveles de dirección.

1.4. Sistemas basados en casos

El aprendizaje y la retroalimentación constituyen elementos de gran importancia para la toma de decisiones en el control de proyectos a partir de la experiencia adquirida de casos anteriores. Los SBC están entre las técnicas de IA que solucionan los nuevos problemas a partir del conocimiento generado en situaciones similares [55,57,58,154–156]. La explicación basada en casos consiste en resolver un problema al recuperar los casos similares desde una base de conocimiento [55]. No obstante, lo más natural es proponer una solución a partir de los casos recuperados más semejantes, siendo esta la forma en que generalmente actúan los expertos en la vida real. Por tanto, la similitud puede ser determinada como un grado de semejanza entre la descripción del problema resuelto y el caso a resolver [155].

Riesbeck y Schank [56] plantean que los SBC resuelven problemas nuevos adaptando las soluciones dadas a otros resueltos con anterioridad. Según Gutiérrez y colaboradores [157], la arquitectura básica de un SBC consiste en una base de casos, un procedimiento para buscar los casos semejantes y un procedimiento de adaptación para ajustar las soluciones a los requerimientos del nuevo problema. Su definición formal puede ser planteada de la siguiente manera [157]:

DEFINICIÓN 1.4.1 *Un sistema basado en casos R se define en términos de un par (C, X) , donde C es un conjunto finito no vacío de objetos o eventos llamados casos y X es un*

conjunto finito no vacío de propiedades o atributos llamados rasgos predictores.

$$R = (C, X) \tag{1.5}$$

Cada rasgo predictor $x_i \in X$ puede ser considerado como una función que mapea elementos de C en el conjunto $M_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ de valores del rasgo predictor x_i , donde $x_i : C \rightarrow M_i$.

Por su parte, Aamodt y Plaza [55] establecieron cuatro pasos fundamentales para describir el funcionamiento de los SBC: (1) Recuperar el caso o los casos más semejantes, (2) Reutilizar la información y el conocimiento para resolver el problema, (3) Revisar la solución propuesta y (4) Recordar las partes de esta experiencia que puedan ser útiles para resolver problemas futuros.

Del análisis de las características del problema de la investigación se pueden definir como rasgos predictores del SBC, los indicadores de los proyectos que han sido obtenidos en los cortes realizados y como rasgos objetivos, las medidas o buenas prácticas que han sido tomadas de experiencias anteriores con respecto a una región geográfica determinada. Lo anterior ayuda a los decisores al manejo de grandes volúmenes de información generado del proceso de control y facilita el aprendizaje mediante la experiencia adquirida de los proyectos precedentes y de los nuevos que forman parte del análisis. Con relación a ello, en la literatura se reportan varios trabajos que utilizan soluciones basadas en SBC e involucran actividades relacionadas con el control de proyectos [158–167].

Delgado [158], propone un modelo para la gestión de revisiones de software. Realiza una combinación de mecanismos basados en la semejanza entre proyectos con el objetivo de asistir a los especialistas en la detección de defectos en la industria de software para elevar la calidad de los productos. Introduce un paquete de herramientas informáticas para facilitar las revisiones del proyecto, pero no concibe otros indicadores relacionados con las áreas principales de la gestión de proyectos.

Menzies y colaboradores [159], proponen una herramienta basada en casos para reducir

el tiempo de ejecución, el esfuerzo y el número de defectos en el desarrollo de proyectos a partir de experiencias anteriores. Sus resultados se obtuvieron a partir de conjuntos pequeños de datos y recomiendan realizar otras pruebas donde se manejen grandes volúmenes de información. No utilizan explícitamente indicadores de control de otras áreas de conocimiento, por ejemplo para medir los recursos humanos y logísticos.

Las propuestas de Kowalski [160] y de Zelewski [161], utilizan indistintamente una herramienta basada en el funcionamiento de los SBC y en una ontología para la gestión logística de proyectos. Esto permitiría resolver problemas relacionados con la distribución de los recursos, pero no abordan en su propuesta otros indicadores relacionados con las áreas principales de la GP para realizar un análisis sobre la base de evaluaciones que incluyan varios criterios. Sin embargo, resulta interesante como la propuesta de Kowalski [160] introduce en su solución el análisis de los factores geográficos para resolver los problemas logísticos a partir del conocimiento relacionado con las redes de transporte que forman parte de la zona geográfica analizada.

Por su parte, los aportes de Kim [162], He [163], Zima [165] así como de Goodall y colaboradores [166]; están concebidos para resolver problemas de estimación de costos en la gestión de proyectos utilizando un SBC. A pesar de que en sus propuestas manejan diversos factores y criterios que facilitan el proceso de estimación, no tratan elementos que permitan extender la solución para que puedan ser tratadas otras áreas clave durante el control de proyectos.

Los trabajos de Dorn [50] y Kocsis [164], están enfocados específicamente hacia el aprovechamiento de la experiencia adquirida de la planificación, la ejecución y el control de cronogramas con el objetivo de que sea empleada como apoyo a la toma de decisiones en nuevos proyectos. Sin embargo, no consideran otros elementos importantes relacionados con la gestión de la calidad y los recursos asignados al proyecto.

Como se puede apreciar las contribuciones anteriores están dirigidas hacia un dominio específico y no permiten analizar integralmente las principales áreas de la gestión de proyectos. Fundamentalmente se realizan sobre la estimación de los costos, la planificación,

la logística y la detección de defectos, pero no relacionan las medidas o buenas prácticas resultantes de las tareas de control a partir de las experiencias anteriores.

1.5. Conclusiones del capítulo

1. En la literatura consultada, para el proceso de control, se sugiere la utilización de indicadores para evaluar el comportamiento de las áreas principales de la gestión de proyectos, por tanto este proceso puede ser tratado como un problema de decisión multicriterio.
2. La selección de los operadores de agregación debe realizarse teniendo en cuenta el contexto que se desea modelar y la actitud asumida por el decisor en el problema decisión.
3. La utilización de los Sistemas de Información Geográfica integrados a las herramientas de gestión de proyectos permiten emplear el análisis geo-referencial para la toma de decisiones, pero no se reportan soluciones de código abierto que incluyan esta característica para realizar el control de proyectos.
4. El sistema de control debe permitir la retroalimentación y la mejora de los procesos organizacionales en función de las experiencias anteriores. Para ello, el empleo de un sistema basado en casos que utilice la base de conocimientos de proyectos terminados resulta factible para la ayuda a la toma de decisiones.
5. A partir de los elementos analizados, se plantea la necesidad de desarrollar un modelo que emplee el análisis geo-referencial, técnicas de evaluación multicriterio y un sistema basado en casos para mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones durante el control de proyectos.

Capítulo 2

MODELO DE CONTROL DE PROYECTOS
BASADO EN EL ANÁLISIS
GEO-REFERENCIAL

2. MODELO DE CONTROL DE PROYECTOS BASADO EN EL ANÁLISIS GEO-REFERENCIAL

En el presente capítulo se describe la concepción del modelo para el control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, el cual está sustentado en los elementos teóricos que fueron analizados en el Capítulo 1. Se exponen sus características y la relación entre sus componentes. A través de su realización se formula la evaluación dinámica de proyectos y entidades desarrolladoras, la método de evaluación de las zonas geográficas y se emplea una base de conocimientos de proyectos terminados para facilitar el aprendizaje y la retroalimentación mediante un SBC.

2.1. Principios, premisas y características del modelo

Partiendo del análisis de los elementos del capítulo precedente, se define que el **objetivo general** del modelo propuesto es controlar proyectos basado en el análisis geo-referencial para mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones. Este se sustenta en el uso de indicadores, métodos de decisión multicriterio y un SBC para facilitar el aprendizaje y la retroalimentación sobre la experiencia adquirida de proyectos terminados. Sigue el esquema de evaluación por cortes que se emplea en [148] y está basado en los niveles de dirección con gobernabilidad compartida que propone el PMBOK [20, 45] para realizar el proceso de control. Para ello responde a los siguientes principios, premisas y características.

Los **principios** del modelo son:

1. Capacidad adaptativa; los operadores de agregación se deben seleccionar según el contexto que desea modelar el decisor para evaluar el proyecto o una zona geográfica,

así como para generar nuevas tematizaciones a partir de nuevos indicadores.

2. Carácter estratégico; para que la organización puedan lograr mejor administración de sus esfuerzos y recursos teniendo en cuenta la ubicación geográfica donde se ejecutan sus proyectos así como para construir mapas temáticos acordes a los diferentes niveles de dirección (estratégico, táctico y operativo).
3. Capacidad de retroalimentación; la actualización sistemática de los resultados obtenidos y la experiencia adquirida de proyectos terminados favorece el aprendizaje para garantizar la mejora continua de la organización.
4. Flexible; para que sea generalizable a diferentes organizaciones dedicadas al desarrollo de proyectos, se consideran además diferentes formas de integración de las herramientas de GP con el SIG.

Las **premisas** que deben cumplirse para su aplicación son las siguientes:

1. Contar con el compromiso de los directivos de la organización para ejecutar el modelo.
2. Se debe conocer la información relacionada con la ubicación espacial de los proyectos en ejecución de la organización.
3. Disponer del SIG que automatiza los componentes del modelo.
4. Deben estar integradas la herramienta de GP y el SIG.

Las **características** que distinguen al modelo son:

1. La utilización de indicadores de control de la gestión de proyectos y el empleo del análisis geo-referencial.
2. Empleo de la prioridad de los proyectos para obtener la evaluación de la organización y de las zonas geográficas.
3. Se utilizan operadores de agregación para obtener las evaluaciones.
4. Se emplean métodos de decisión multicriterio.
5. Se aprovecha el conocimiento generado a partir de la experiencia adquirida de proyectos terminados.

2.2. Componentes del modelo

El modelo está compuesto por tres componentes: (1) *Representación de información*, (2) *Evaluación de zonas geográficas* y (3) *Aprendizaje y retroalimentación*. En la Figura 2.1 se muestra una vista general del modelo con la interrelación entre los componentes, las entradas y salidas. Su funcionamiento sistémico permite la utilización del análisis geo-referencial durante el control de proyectos.

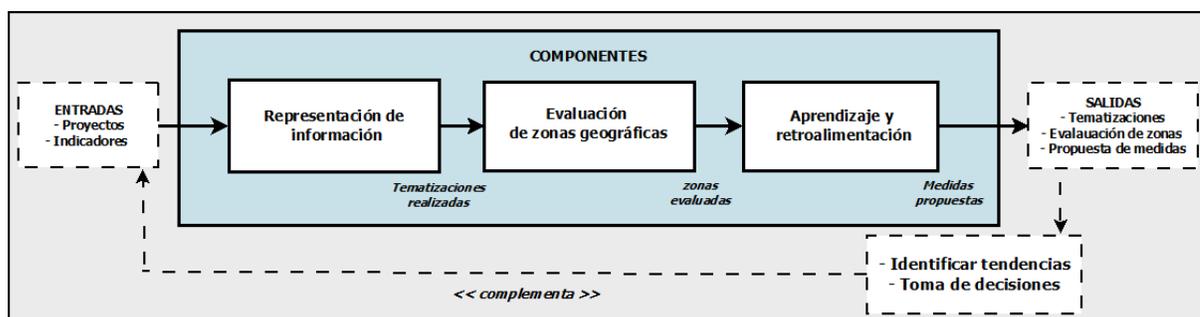


Figura 2.1: Modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial.

A continuación se describen los componentes que conforman el modelo para el control de proyectos basado en el análisis geo-referencial.

2.2.1. Componente *Representación de información*

La representación de información se realiza a través de tematizaciones sobre el mapa luego de geo-referenciar los proyectos de la organización. En la investigación el término “*tematizaciones*” se refiere a la acción y efecto de tematizar un mapa respecto a la evaluación obtenida de un indicador.

Se tienen como entrada los proyectos y los indicadores calculados para cada caso, obtenidos a partir de la formulación matemática presentada en [20], [67] y [152]. Los indicadores seleccionados se corresponden con los mostrados en la Tabla 1.1 y están definidos para el control y seguimiento de las áreas de conocimiento principales de la gestión de proyectos. El componente se desarrolla a través de las actividades que se muestran en la Figura 2.2

y sus salidas son: la evaluación estática, la evaluación dinámica y las tematizaciones del proyecto o de la organización.

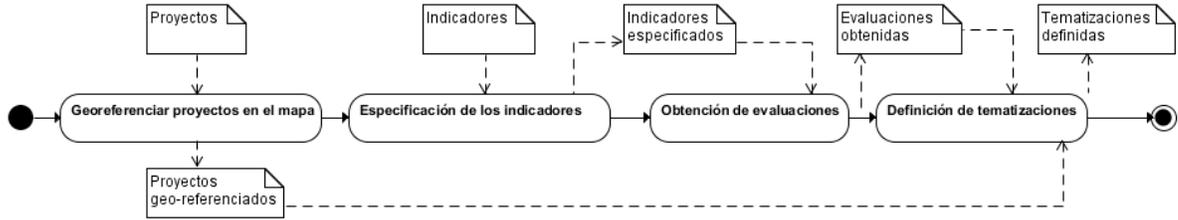


Figura 2.2: *Componente Representación de información.*

Descripción detallada de las actividades:

Actividad 1: Geo-referenciar proyectos en el mapa.

Se procede a geo-referenciar los proyectos según su ubicación geográfica. Para ello, en la ecuación 2.1 se propone un criterio de geo-referenciación que establece una relación directa entre el área de una región asociada a una estructura de datos de tipo árbol y el número de objetos geométricos de tipo proyecto asociados a dicha región [168]. A su vez, este establece una relación inversa con la profundidad del nodo en la estructura jerárquica para crear particiones del área geográfica.

$$\gamma(O, S, A) = \begin{cases} 1 & \text{si } \beta < \frac{S \cdot A}{O} \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.1)$$

Donde;

O : es la profundidad en el árbol del nodo a particionar.

A : es el valor del área de restricción asociada al nodo a particionar.

S : es la cantidad de objetos de tipo proyecto contenidos en el área de restricción.

β : representa el umbral de recursión y su valor depende de las variables área de restricción A , cantidad de objetos geométricos S y profundidad del nodo a particionar O .

Los valores pequeños de β incrementan la posibilidad de subdivisión de un nodo. Cuando un nodo es subdividido, sus hijos tienen menor área, menor cantidad de objetos geométricos y un mayor nivel en la estructura jerárquica del árbol. Debido a ello, la

posibilidad de subdivisión es más pequeña. Los valores de β se obtienen mediante la ecuación 2.2.

$$\beta = S_{root} \cdot A_{root} \cdot \lambda \quad (2.2)$$

Siendo;

A_{root} : es el área de restricción asociada a la raíz del nodo.

S_{root} : es la cantidad de objetos geométricos de tipo proyecto contenidos en el área de restricción asociada a la raíz del nodo.

λ : es un valor de proporción para el criterio de indexación.

La ecuación 2.2 se utiliza para ajustar el valor del criterio de indexación de forma tal que no dependa del área y la cantidad de objetos geométricos que ocupa un nodo determinado. Esto es posible mediante el establecimiento de una proporcionalidad entre área, cantidad de objetos geométricos y un valor de λ en el intervalo $(0, 1)$. Este intervalo enmarca los valores útiles del criterio de indexación: valores cercanos a 0 provocan una mayor probabilidad de subdivisión y valores cercanos a 1 provocan una menor probabilidad de subdivisión.

Actividad 2: Especificación de los indicadores.

El conjunto de indicadores obtenidos en un corte $t \in T$ está dado por $C^t = c_1, \dots, c_8$, donde [20, 67, 152]:

c_1 : Índice de Ejecución (IE): Está dado por; a mayor porcentaje, indica mayor nivel de ejecución. Se establece la comparación con el porcentaje que debe encontrarse el proyecto según el plan de ejecución hasta la fecha de corte.

c_2 : Índice de Rendimiento de la Ejecución (IRE): Está dado por; valores cercanos a 0, es bajo; valores cercanos o igual a 1, es bueno; valores mayores que 1, es adelantado.

c_3 : Índice de Rendimiento de la Productividad (IRP): Está dado por; valores cercanos a 0, existe atraso; valores cercanos o igual a 1, está en tiempo; valores mayores que 1, está adelantado.

- c_4 : Índice de Rendimiento de los Costos (*IRC*): Está dado por; valores cercanos a 0, está sobregirado; valores cercanos o igual a 1, está en presupuesto.
- c_5 : Índice de Rendimiento de la Eficiencia (*IREF*): Está dado por; si el valor obtenido está más cercano a 1, es mejor la evaluación del indicador.
- c_6 : Índice de Rendimiento de los Recursos Humanos (*IRHH*): Está dado por; entre más cercano a 100 el valor obtenido, es mejor la evaluación del indicador.
- c_7 : Índice de Rendimiento de la Logística (*IRL*): Está dado por; si el valor obtenido está más cercano a 1, es mejor la evaluación del indicador.
- c_8 : Índice de Calidad del Dato (*ICD*): Está dado por; si el valor obtenido está más cercano a 1, es mejor la evaluación del indicador.

Durante la obtención de los indicadores en cada uno de los cortes realizados a los proyectos, debe definirse la importancia relativa a cada indicador para el proceso de evaluación. Se utiliza el vector de peso $W^t = \{w_1, \dots, w_8\}$ asociado a los indicadores C^t donde $w_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^8 w_j = 1$ y cuyo componente genérico $w_j, j = 1, \dots, 8$ se corresponde con el peso asociado al indicador c_j .

Se definió prescriptivamente que cada indicador tendrá inicialmente la misma importancia para la obtención de la evaluación del proyecto, por lo que $w_1 = w_2 = \dots = w_8 = \frac{1}{8}$. De igual forma, en dependencia del interés del decisor de asignarle una importancia mayor o menor a determinado indicador durante la realización de un corte, este puede reajustar los pesos asignados, pero debe cumplirse que $\sum_{j=1}^8 w_j = 1$. El valor de los indicadores normalizados \hat{c}_j se obtienen mediante la siguiente ecuación:

$$\hat{c}_j = \frac{c_j}{\max C^t} \quad (2.3)$$

A partir de estos, se propone una variante para obtener los indicadores de la entidad desarrolladora o de un programa de la propia organización mediante el empleo de la prioridad definida para cada proyecto, que se denota como p_i . La cual está dada por un valor entre 0 y 1000 y se manejan, según la escala definida, en los siguientes intervalos:

de 0 a 399 (Baja), de 400 a 699 (Media) y de 700 a 1000 (Alta). Siendo entonces el peso de un proyecto para obtener el indicador de una entidad desarrolladora o de un programa el valor de \hat{p}_i , que se obtiene del cociente entre la prioridad relativa del proyecto p_i y la sumatoria de las prioridades de los proyectos en ejecución en el momento del corte t según se establece en la siguiente ecuación:

$$\hat{p}_i = \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad \text{donde } n \text{ es la cantidad de proyectos} \quad (2.4)$$

Luego, el valor del indicador de la entidad desarrolladora o de un programa v_i para un corte t , se determina utilizando la suma ponderada según la Definición 1.2.2 aplicada en la siguiente expresión:

$$v_i = \sum_{i=1}^n \hat{p}_i \cdot c_j \quad (2.5)$$

Donde n es la cantidad de proyectos en ejecución de la entidad desarrolladora o del programa y c_j es el valor del indicador en el momento del corte t . Para lograr una mejor comprensión de los valores de los indicadores se utiliza un conjunto de términos lingüísticos según se muestra en el Anexo C. Este también es empleado más adelante en la Actividad 4 de este componente para construir las tematizaciones.

Actividad 3: Obtención de evaluaciones.

Se obtiene la evaluación del proyecto y la entidad desarrolladora, para ello se utiliza la técnica de Toma de Decisiones Dinámica Multicriterio (TDDMC) a partir de la generalización del modelo propuesto por [100] y la extensión de [169], es decir, se contempla tanto la evaluación en un corte como de un conjunto de cortes para emitir una evaluación final. Para una mejor comprensión se define formalmente el problema:

- $T = \{1, \dots, q\}$ es el conjunto de momentos de decisión o cortes considerados en el problema de TDDMC.
- $A^t = \{a_i | i \in (1, \dots, m)\}$ es el conjunto de alternativas o proyectos analizados en cada momento $t \in T$.

- Cada alternativa es analizada de acuerdo a un conjunto de criterios o indicadores $C^t = \{c_j | j \in (1, \dots, n)\}$ cuyos pesos están dados por el vector $W^t = (w_j | j \in (1, \dots, n))$ con $w_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1, \forall t \in T$.
- La información de decisión para cada proyecto se recopila en múltiples períodos. El conjunto de fuentes de información que proveen estos datos sobre las alternativas es $F^t = \{f_k | k \in (1, \dots, p)\}$.
- La valoración recopilada para la fuente $f_k \in F$ sobre el indicador $c_j \in C^t$ para el proyecto $a_i \in A^t$ es representada por x_{ijk}^t .
- La información acerca del conjunto de alternativas o proyectos a través del tiempo es transmitida de una iteración a la siguiente en un conjunto histórico H_t .

El objetivo fundamental del método propuesto es obtener una evaluación resultante de la agregación de los indicadores en el corte t denominada evaluación estática y una evaluación que considera la información recopilada en diferentes momentos de decisión y la evaluación obtenida en el corte actual, que se le denomina evaluación dinámica. Esta última permite conocer la tendencia en la evaluación del proyecto según los cortes realizados previamente [170]. Para ello, el Algoritmo 1 resume el método de resolución del problema de TDDMC y a partir de la información multiperíodo de los proyectos genera un ranking O_t .

$$O_t = \{a_{z(i)} | z(i) \in (1, \dots, m)\} \quad (2.6)$$

Donde $z(i)$ es una permutación de $(1, \dots, m)$ tal que $z(i-1) \geq z(i)$ para toda $i = 2, \dots, m$. Como puede observarse en el Algoritmo 1, el método general tiene 6 pasos fundamentales: calcular la evaluación estática del proyecto utilizando el Algoritmo 2; calcular la evaluación dinámica del proyecto utilizando el Algoritmo 3; comparar las evaluaciones dinámica de los proyectos y si existen coincidencias entonces calcular el índice discriminativo utilizando el Algoritmo 4; ordenar los proyectos y por último, actualizar la información histórica. Los pasos fundamentales son descritos a través de los Algoritmos 2, 3 y 4.

Algoritmo 1 Método general

Entrada: Conjunto de indicadores C^t de cada A^t para todo $t \in T$.

Salida: Conjunto de proyectos ordenados O_t .

- 1: **Para todos** los períodos $t \in T$ desde $t = 1$ hasta $t = q$ **hacer**
- 2: Obtener vectores de valoraciones $X_{ijk}^t = \{x_{i1k}^t, \dots, x_{ink}^t\}$.
- 3: Calcular las evaluaciones estáticas E^t de las A^t usando el **Algoritmo 2**.
- 4: Calcular las evaluaciones dinámicas D^t de las A^t usando el **Algoritmo 3**.
- 5: Comparar las evaluaciones dinámicas D^t de las A^t .
- 6: **Si** Existen coincidencias
- 7: Ordenar los proyectos teniendo en cuenta la evaluación dinámica y el índice discriminativo utilizando el **Algoritmo 4** para los casos donde existan coincidencias.
- 8: Actualizar la información histórica de los proyectos:

$$H_0 = \emptyset, \quad H_t = \bigcup_{t' \leq t} A^{t'}, \quad t, t' \in T \quad (2.7)$$

- 9: **Finalizar Si**
 - 10: **Finalizar Para**
 - 11: **Retornar** O_t
-

Algoritmo 2 Cálculo de la evaluación estática de los proyectos

Entrada: Conjunto de indicadores C^t de cada A^t en t .

Salida: Valor de la evaluación estática E^t .

- 1: **Para todos** los proyectos A^t en t **hacer**
- 2: **Para todos** los indicadores c_j evaluados en t **hacer**
- 3: Calcular el valor x_{ij}^t de cada indicador c_j a partir de la valoración de cada proyecto x_{ijk}^t , empleando un operador de agregación Ω :

$$x_{ij}^t = \Omega(x_{ij1}^t, \dots, x_{ijp}^t) \quad (2.8)$$

- 4:
- 5: **Finalizar Para**
- 6: Calcular la evaluación estática E^t del proyecto a_i usando un operador de agregación Θ tal que:

$$E^t = \Theta(x_{i1}^t, \dots, x_{in}^t) \quad (2.9)$$

- 7:
 - 8: **Finalizar Para**
 - 9: **Retornar** E^t
-

En cada período, $t \in T$, el valor de la evaluación estática E^t es calculada para cada

proyecto. Se propone utilizar la suma ponderada a partir de la Definición 1.2.2, tal que:

$$E^t = \sum_{j=1}^n w_j \cdot \hat{c}_j \quad (2.10)$$

Por otra parte, la evaluación dinámica D^t se obtiene mediante un proceso de agregación multietapa partiendo de la Definición 1.2.6. El comportamiento del cálculo está dado por las siguientes reglas:

- Si el proyecto a_i , pertenece solo al período actual (y no al conjunto histórico de alternativas), la evaluación dinámica del proyecto es igual a su evaluación estática en ese período.
- Si por el contrario, el proyecto a_i , pertenece solo al conjunto histórico de alternativas (y no al período actual), la evaluación dinámica del proyecto es igual a su evaluación dinámica en el período anterior.
- Si el proyecto a_i pertenece a ambos conjuntos (histórico y actual), la evaluación dinámica se calcula mediante la agregación de su evaluación estática en ese período y su evaluación dinámica en el período anterior.

Algoritmo 3 Cálculo de la evaluación dinámica de los proyectos

Entrada: Conjunto de proyectos A^t y su evaluación estática E^t en t .

Salida: Valor de la evaluación dinámica D^t .

- 1: **Para todos** los proyectos A^t evaluados en t **hacer**
- 2: Calcular la evaluación dinámica D^t del proyecto a_i empleando un operador de agregación asociativo $\Phi : [0, 1]^p \rightarrow [0, 1]$:
- 3:

$$D^t = \begin{cases} E^t & \text{si } a_i \in A^t \setminus H_{t-1} \\ \Phi(E^t, D^{t-1}) & \text{si } a_i \in A^t \cap H_{t-1} \\ D^{t-1} & \text{si } a_i \in H_{t-1} \setminus A^t \end{cases} \quad (2.11)$$

4: **Finalizar Para**

5: **Retornar** D^t

Para calcular la evaluación dinámica del proyecto D^t se propone utilizar la uninorma 3Π

con refuerzo total basado en la ecuación 1.3, lo que permite modelar un comportamiento híbrido en dependencia de las evaluaciones obtenidas por el proyecto:

$$D^t = 3 \prod(D^t, E^{t-1}) = \frac{D^{t-1} \cdot E^t \cdot (1 - q)}{D^{t-1} \cdot E^t \cdot (1 - q) + q \cdot (1 - D^{t-1}) \cdot (1 - E^t)} \quad (2.12)$$

Para esta uninorma, se ha fijado el elemento neutro q que debe ser definido por el decisor con el objetivo de modelar un refuerzo total en la agregación debido a que, en dependencia de la organización o el escenario en que se ejecute el proyecto, los valores de los indicadores inferiores a q constituyen malas evaluaciones para el proyecto, de manera que:

- Cuando $E^t > q$ y $D^{t-1} > q$, haya un refuerzo hacia arriba.
- Cuando $E^t < q$ y $D^{t-1} < q$, haya un refuerzo hacia abajo.
- Cuando un valor sea mayor que q , haya un refuerzo total.

La propiedad de asociatividad del operador de agregación empleado en la parte dinámica a partir de la propuesta del modelo de Campanella y Ribeiro [100] evita el almacenamiento de la información de los proyectos en todos los cortes, debido a que la evaluación dinámica sólo depende de la evaluación estática en el corte actual y la evaluación dinámica en el corte anterior. Sin embargo, como se explica en [169], esta ventaja trae como consecuencia que la función de evaluación dinámica pueda obtener evaluaciones iguales para proyectos que presentan diferentes perfiles o comportamientos a través del tiempo. Esto provoca que no se puedan discriminar las alternativas de acuerdo con el perfil temporal porque la propiedad de asociatividad no permite distinguir el orden de los valores agregados (anteriores y nuevos).

Para solucionar este problema desde una perspectiva dinámica, es necesario tener en cuenta el desempeño o evolución de los proyectos a través del tiempo, según se describe en [169]. Esto se logra con la incorporación del cambio en la evaluación estática V^t , que es definida como la diferencia entre los valores de la evaluación estática actual y la anterior (ver Ecuación 2.13). Debido a que $E^t, E^{t-1} \in [0, 1]$, los incrementos o decrementos en la evaluación estática de una alternativa, en cada período de decisión se obtienen en una

escala bipolar $V^t \in [-1, 1]$ [171], en la que 0 es llamado el elemento neutro y representa la inexistencia de un cambio en la evaluación desde un corte $t - 1$ a uno siguiente t . Finalmente, el cambio en la evaluación de un proyecto V^t , sólo encierra el comportamiento de la evaluación entre dos cortes consecutivos (de $t - 1$ a t), por tanto se formaliza un mecanismo dinámico que considera todos los cambios en las evaluaciones durante todos los cortes incluidos en el problema de TDD.

Los beneficios del cálculo de los resultados finales sin almacenar todos los valores anteriores (a través de la asociatividad) y la modulación, además, del peso de estos valores en los resultados finales (a través de los refuerzos) se utilizan también en la propuesta de un Índice discriminativo, I^t , cuyo comportamiento se describe mediante la Ecuación 2.14. Por lo tanto, si diferentes alternativas obtienen igual evaluación dinámica D^t en un período t , entonces el ranking para estas alternativas en t , se generará considerando los valores del I^t , lo cual refleja la perspectiva dinámica del problema de toma de decisión.

Algoritmo 4 Cálculo del índice discriminativo

Entrada: Conjunto de proyectos A^t y su evaluación estática E^t en t .

Salida: Valor del índice discriminativo I^t .

1: **Para todos** las alternativas A^t evaluadas en t **hacer**

2: Calcular el cambio en la evaluación estática V^t :

3:

$$V^t = \begin{cases} 0 & t = 1 \\ E^t - E^{t-1} & t > 1 \end{cases} \quad (2.13)$$

4: Calcular el índice discriminativo I^t empleando un operador de agregación asociativo $\Upsilon : [-1, 1]^p \rightarrow [-1, 1]$:

5:

$$I^t = \begin{cases} V^t, & a_i \in A^t \setminus H_{t-1} \\ \Upsilon(\xi^{t-1}, V^t), & a_i \in A^t \cap H_{t-1} \\ \xi^{t-1}, & a_i \in H_{t-1} \setminus A^t \end{cases} \quad (2.14)$$

6: **Finalizar Para**

7: **Retornar** I^t

La selección del operador de agregación dependerá de la actitud del decisor con respecto a los cambios en la evaluación pero es importante destacar que es independiente del resto de los operadores de agregación Θ y Ω . La diferencia fundamental de los operadores Ω

y Υ radica en que, Υ debe manejar valores en la escala bipolar $[-1, 1]$ mientras que Ω opera solamente en el intervalo $[0, 1]$. En consecuencia, se extiende este último a una escala bipolar en $[-1, 1]$ [119], en la que un elemento notable del intervalo, pueda jugar diferentes roles, ya sea como elemento neutro o absorbente. Este hecho precisamente conlleva a la agregación bipolar, cuya característica principal es el tratamiento diferenciado y por consiguiente a la obtención de valores diferentes para la agregación de valores mayores o menores que el elemento notable.

Teniendo en cuenta lo anterior, para calcular el índice discriminativo se propone la función de combinación de Van Melle [172], tal que:

$$M(V^t, I^{t-1}) = \begin{cases} V^t + I^{t-1} - V^t \cdot I^{t-1} & \text{si } V^t, I^{t-1} \geq 0 \\ V^t + I^{t-1} + V^t \cdot I^{t-1} & \text{si } V^t, I^{t-1} \leq 0 \\ \frac{V^t + I^{t-1}}{1 - \min\{|V^t|, |I^{t-1}|\}} & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.15)$$

Este operador de agregación, permite modelar el comportamiento del índice en dependencia de *las actitudes de los decisores con respecto a los cambios en la evaluación de las alternativas a lo largo del tiempo*:

- Optimista: cuando ambos valores son positivos, la agregación tiene un carácter de refuerzo hacia arriba.
- Pesimista: cuando ambos valores son negativos, la agregación tiene un carácter de refuerzo hacia abajo.
- Promedio: cuando un valor es positivo y el otro es negativo, la agregación es compensatoria.

Los Algoritmos 1, 2, 3 y 4 también son empleados para calcular la evaluación estática $E^t E$ y la evaluación dinámica $D^t E$ de la entidad desarrolladora o de un programa. Se utilizan al igual que para los proyectos las ecuaciones 2.10 y 2.12 respectivamente. Sin embargo, los pesos se definen mediante la prioridad de los proyectos p_i que tiene en ejecución la organización en el momento del corte t .

En la Tabla 2.1 se presenta un resumen sobre los operadores de agregación seleccionados para cada algoritmo; teniendo en cuenta el paso en que son empleados, la denominación, la referencia a la ecuación matemática y su respectivo comportamiento en el proceso de agregación. En la Figura 2.3 se muestra gráficamente el comportamiento para cada caso.

Tabla 2.1: Operadores de agregación propuestos.

Paso	Nombre	Ec.	Comport.
2	suma ponderada (SP)	2.10	A
3	uninorma (3II)	2.12	B
4	función de combinación de Van Melle (M)	2.15	C

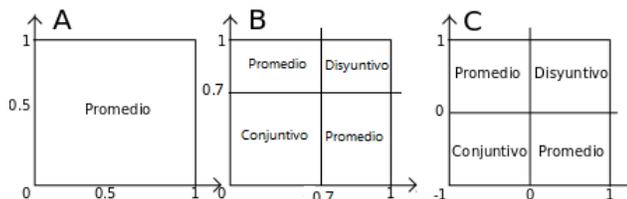


Figura 2.3: Comportamiento de los operadores de agregación empleados.

Actividad 4: Definición de tematizaciones.

Para la realización de las tematizaciones se proponen las evaluaciones cualitativas de Bien (B), Regular (R) o Mal (M) para los proyectos utilizando el conjunto de términos lingüísticos definido en el Anexo C y los indicadores que fueron especificados en la Actividad 2 de este componente. Para cada caso se le asigna un color para su representación y se utilizan los colores del semáforo; el verde para los resultados evaluados de B, el amarillo para los evaluados de R y el rojo para los evaluados de M.

En la Tabla 2.2 se muestra una representación de las tematizaciones definidas por colores según el indicador, su respectivo símbolo y el grupo de dirección al que responde. Según el valor del indicador, se mostrará el proyecto en el mapa con un círculo con el color correspondiente a la evaluación obtenida y para la entidad desarrolladora con una estrella como símbolo predefinido. De igual manera procede para el caso de la tematización relacionada con los indicadores *IRL* e *IRHH*, aunque para estos es diferente el símbolo

Tabla 2.2: Ejemplos de tematizaciones definidas para los indicadores.

Nivel de dirección	Indicador	Evaluación		
		B	R	M
Operativo	Índice de Rendimiento de la Logística (IRL)	▲	▲	▲
	Índice de Rendimiento de los RRHH ($IRRH$)	■	■	■
Táctico	Evaluación estática del proyecto (E^t)	●	●	●
	Evaluación dinámica del proyecto (D^t)	●	●	●
Estratégico	Evaluación estática de la entidad (E^tE)	★	★	★
	Evaluación dinámica de la entidad (D^tE)	★	★	★

utilizado con respecto a la evaluación. Se representa con un triángulo para el primer indicador y un cuadrado para el segundo.

2.2.2. Componente *Evaluación de zonas geográficas*

Con la obtención de las evaluaciones de los proyectos, la entidad desarrolladora y las tematizaciones; se procede a realizar la evaluación de las zonas geográficas. El componente se desarrolla mediante las actividades que se muestran en la Figura 2.4 y sus salidas son: la evaluación de la zona geográfica y la propuesta de recorrido para controlar los proyectos de una zona.

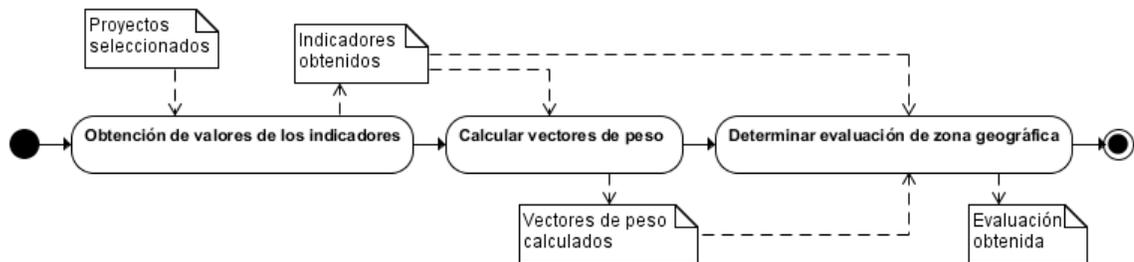


Figura 2.4: Componente *Evaluación de zonas geográficas*.

Su presentación formal está dada por las siguientes definiciones:

DEFINICIÓN 2.2.1 Dada una selección S de un mapa MP , la evaluación de la zona geográfica EG^t en un corte t está dada por la agregación de la evaluación del conjunto

de objetos espaciales contenidos dentro de la selección. La zona geográfica se evalúa cualitativamente según los criterios de evaluación Bien, Regular o Mal.

DEFINICIÓN 2.2.2 *Se define como objeto espacial dentro de una selección S al proyecto o entidad desarrolladora contenida dentro del dominio de selección.*

Para obtener la evaluación de una zona geográfica EG^t en el corte t donde los elementos tematizados se corresponden con un conjunto de objetos espaciales, *proyecto* o *entidad desarrolladora*, se realiza mediante la agregación de los indicadores tematizados en el momento de la evaluación. Esta puede obtenerse además, para un programa a partir de un conjunto de proyectos que se ejecuten en una misma región geográfica. Para ello, partiendo de la Definición 1.2.3 se proponen dos variantes empleando operadores OWA [173].

La primera variante se realiza mediante el empleo de la prioridad del proyecto para obtener la evaluación de la zona geográfica. Esta es aplicable con la utilización del operador *OWAWA* [129]. El uso de este operador permite combinar las ventajas del operador *OWA* y *WA* para la obtención de la evaluación de la zona geográfica.

La segunda variante se realiza considerando el criterio de mayoría para obtener la evaluación de una zona. Esta se determina con el empleo del operador *MA-OWA* [126,130]. Se comparan equitativamente los valores para obtener un valor de representación para luego realizar comparaciones con nuevos grupos que surjan durante el proceso.

A continuación se describen las actividades del componente:

Actividad 1: Obtención de valores de los indicadores.

Se selecciona el indicador que se desea analizar. Los valores de los indicadores se obtienen de manera similar a los descritos en la **Actividad 2** del epígrafe **2.2.1**.

Actividad 2: Calcular los vectores de peso.

Los vectores de peso para la primera variante, donde se emplea el operador *OWAWA*, se determinan teniendo en cuenta la importancia que se le otorga a cada indicador y el nivel de compensación que determine el decisor. Específicamente el vector de peso de la media ponderada v_j se obtiene a partir de la prioridad de los proyectos \hat{p}_i que se encuentran

dentro de la selección del área geográfica utilizando la ecuación 2.4; siendo entonces v_j el valor correspondiente a \hat{p}_i ordenado por las b_j , es decir, el j -ésimo valor mayor de las a_i dado en el intervalo $v_j \in [0, 1]$.

El vector de peso w_j se determina empleando el operador *OWA* centrado (*C-OWA*). En este caso para el cálculo de los pesos se emplea la propuesta de [174], donde para $j \leq \frac{n}{2}$ se tiene que:

$$w_j = \frac{2 \cdot (2j - 1)}{n^2} \quad (2.16)$$

Siendo n la cantidad de proyectos implicados en la evaluación de la zona definida por la selección S . Los pesos para $j > \frac{n}{2}$ se obtienen por simetría.

El vector de peso w_j para la segunda variante, donde se emplea el operador *MA-OWA*, se determina utilizando la cardinalidad δ_j del valor implicado en el proceso de agregación mediante la expresión siguiente:

$$w_j = \begin{cases} \frac{1}{n} & \text{si } j = 1 \\ \frac{\gamma_j + w_{j-1}}{u_j} & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.17)$$

Donde j es el j -ésimo proyecto que forma parte de la selección S y k es el valor mínimo de cardinalidad entre los valores implicados en la agregación. Los valores de γ_j y u_j se obtienen de las ecuaciones 2.18 y 2.19 respectivamente.

$$\gamma_j = \begin{cases} 1 & \text{si } \delta_j \geq k \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.18)$$

$$u_j = 1 + \sum_{j=1}^n \gamma_j \quad (2.19)$$

Actividad 3: Determinar la evaluación de la zona geográfica.

En la primera variante se obtiene una medida compuesta de centralidad mediante el operador *OWAWA*. La evaluación de la zona geográfica EG^t se determina a partir de la

siguiente expresión:

$$EG^t = \sum_{j=1}^n \hat{v}_j \cdot b_j \quad (2.20)$$

Donde $\hat{v}_j = \beta w_j + (1 + \beta)v_j$ con $\beta \in [0, 1]$ siendo $\beta = 0,5$ para darle la misma importancia a la agregación del operador *OWA* respecto a la *WA*. El valor de β puede ser modificado para cambiar el comportamiento de la agregación y w_j se obtiene de la ecuación 2.16.

Para la segunda variante, se procede a seleccionar de cada grupo un elemento para la comparación. El valor obtenido de esta comparación formará parte de un nuevo grupo con un único representante y se realiza nuevamente la comparación donde se incluye el nuevo valor obtenido. En los procesos de mayoría se considera la formación de grupos de discusión o grupos de mayoría en función de la coincidencia del valor de la evaluación, de forma tal que todos los valores dentro de un radio de separación son considerados dentro de un mismo grupo. La evaluación de la zona geográfica EG^t mediante el criterio de mayoría se determina a partir de la expresión siguiente:

$$EG^t = \sum_{j=1}^n w_j \cdot b_j \quad (2.21)$$

Donde b_j es el j -ésimo valor de las a_i ordenados por el mayor valor de δ_j y w_j se obtiene de las ecuaciones 2.17, 2.18 y 2.19.

Para proveer al decisor de una vista en el mapa del resultado de la evaluación de la zona seleccionada, se procede a dibujar la región geográfica considerando el conjunto de términos lingüísticos definido en el Anexo C. Con este fin se decidió emplear los colores del semáforo con efecto de transparencia; el verde para las zonas evaluadas de B, el amarillo para las evaluadas de R y el rojo para las evaluadas de M. Luego, mediante el Algoritmo 5, se realiza una propuesta de recorrido para controlar los proyectos de la región seleccionada según su evaluación y su prioridad. Su concepción está basada en el problema del vendedor viajero (del inglés, *Travelling Salesman Problem*, TSP) [175–177] y emplea el cálculo de caminos mínimos [178, 179]. Para su implementación se utilizaron varias funciones de la

extensión *pgRouting* que son descritas en el Anexo D.

Algoritmo 5 Recorrido para controlar proyectos.

Entrada: Conjunto de proyectos P contenido en S , Lista Prioridad LP , Punto *Inicial*,
bool *Prioridad* .

Salida: Recorrido R

- 1: $R = []$; $L = []$
 - 2: **Si** *Prioridad* == *TRUE*
 - 3: Ordenar P por la prioridad según LP .
 - 4: **Finalizar Si**
 - 5: **Para todos** los proyectos del conjunto P desde P_1 hasta P_n **hacer**
 - 6: Obtener el camino mínimo L entre *Inicial* y $P[i]$.
 - 7: Marcar el proyecto $P[i]$ como visitado.
 - 8: Adicionar el valor de L al recorrido R .
 - 9: Establecer $P[i]$ como punto *Inicial*.
 - 10: **Finalizar Para**
 - 11: **Retornar** R
-

El Algoritmo 5 se ejecuta según la selección del decisor, es decir, si este desea realizar el recorrido empleando la distancia mínima para visitar todos los proyectos se utiliza la propuesta básica del TSP; sino se ordenan los proyectos por la prioridad y luego se procede a obtener el recorrido a partir del orden establecido. En dependencia del medio de transporte que utilizará el decisor para trasladarse (Ej. caminando o en auto) se ejecutan las funciones de *pgRouting* para obtener los recorridos con o sin restricciones de la vía.

2.2.3. Componente *Aprendizaje y retroalimentación*

El funcionamiento del componente está dado por las actividades definidas para un sistema basado en casos [55], según se muestra en la Figura 2.5. Se tienen como entrada los indicadores de los proyectos que forman parte de la zona geográfica seleccionada y la salida se corresponde con una propuesta de medidas que pueden ser empleadas para mejorar los proyectos de la zona. Se propone utilizar la base de conocimientos *GESPRO-Proj-Dataset* [150, 151]. Esta contiene la información derivada de los indicadores y las evaluaciones realizadas a proyectos terminados durante diferentes momentos de decisión en su ciclo de

vida. Este proceso se realiza de forma automática a partir de las evidencias recolectadas por la herramienta XEDRO GESPRO. Además, la evaluación final de los proyectos en cada corte ha sido pre-clasificada por expertos. Para la persistencia de los datos se seleccionó el gestor de base de datos PostgreSQL, pues este brinda la posibilidad de indexar los atributos y de esta manera se favorece el proceso de recuperación de información en la base.

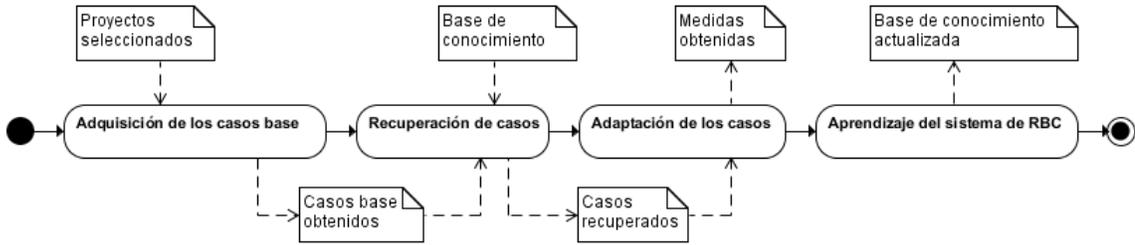


Figura 2.5: *Componente Aprendizaje y retroalimentación.*

Para una mejor comprensión del componente a continuación se definen los elementos del problema:

- $P = \{P_1, \dots, P_r\}$ es el conjunto de proyectos que constituyen los nuevos casos, obtenidos a partir de una selección S de una región del mapa, siendo r la cantidad de proyectos contenidos en la selección.
- $C^t = \{c_j | j \in (1, \dots, n)\}$ es el conjunto de criterios analizados de cada proyecto obtenido en la selección S , constituyen los rasgos predictores de la base de casos.
- Cada criterio analizado del conjunto $C^t = \{c_j | j \in (1, \dots, n)\}$ tiene un peso asociado dado por el vector $W^t = (w_j | j \in (1, \dots, n))$ con $w_j \in [0, 1]$, $\sum_{j=1}^n w_j = 1$.
- $M = \{m_j | j \in (1, \dots, k)\}$ es el conjunto de medidas o acuerdos tomados en los proyectos de la base de casos que son semejantes a los contenidos en la selección S , estos constituyen los rasgos objetivos.
- Cada caso de la base de conocimientos BC está definido por sus respectivos rasgos predictores y objetivos y se describen de la siguiente forma:

$$P_r(c_1(P_r), \dots, c_j(P_r), m_1(P_r), \dots, m_j(P_r)) \quad (2.22)$$

Donde;

$c_j(P_r)$: es el valor del rasgo predictor analizado $j = 1, \dots, n$ para el caso P_t .

$m_j(P_r)$: es el valor del rasgo objetivo $j = 1, \dots, k$ para el caso P_r . En la Tabla 2.3 se presentan los rasgos predictores C^t y objetivos M que son extraídos de la base de conocimientos.

Tabla 2.3: *Rasgos seleccionados de la base de conocimientos.*

Rasgos predictores	Dominio
Índice de Ejecución (<i>IE</i>)	Continuo [0,1]
Índice de Rendimiento de la Ejecución (<i>IRE</i>)	Continuo [0, 1]
Índice de Rendimiento de la Planificación (<i>IRP</i>)	Continuo [0, 1]
Índice de Rendimiento de Costos (<i>IRC</i>)	Continuo [0, 1]
Índice de Calidad del Dato (<i>ICD</i>)	Continuo [0, 1]
Índice de Rendimiento de la Logística (<i>IRL</i>)	Continuo [0, 1]
Índice de Rendimiento de los RRHH (<i>IRHH</i>)	Continuo [0, 1]
Índice de Rendimiento de la Eficacia (<i>IREF</i>)	Continuo [0, 1]
Cantidad de requisitos	Discreta
Complejidad	Ordinal (Alta, Media, Baja)
Tipo de proyecto	Nominal
Fase del proyecto	Nominal
Rasgo objetivo	Dominio
Medidas	Discreta(se utiliza ID)

A continuación se describen detalladamente las actividades del componente:

Actividad 1: Adquisición de los casos base.

Se obtienen los casos base a partir de una selección S , estos están constituidos por el conjunto de proyectos P contenidos en la zona geográfica definida por S . Inicialmente los valores del vector W^t , se asumen a partiendo de la importancia definida, por la organización, para cada indicador que forma parte de los rasgos predictores de la BC .

Una vez que están definidos los casos base se ofrece al decisor la posibilidad de modificar ocasionalmente las preferencias o el valor de alguno de sus atributos c_j o de sus respectivos pesos w_j , es decir, podrá asignarle un nuevo valor \hat{c}_j o \hat{w}_j más acorde con sus necesidades

y en correspondencia con el entorno que desea modelar. Después de esta modificación, que es opcional, se obtendría un caso base definitivo para proceder a obtener los casos semejantes.

Actividad 2: Recuperación de casos.

Se seleccionan los k casos más similares para obtener los que tienen mayor relevancia entre los casos obtenidos durante el proceso de recuperación, por tanto se utiliza una función de semejanza que considera la similitud entre cada uno de los rasgos teniendo en cuenta el peso o la relevancia de estos. La formulación matemática de la función de semejanza entre un nuevo problema a resolver P_0 y un caso P_r de la base de conocimientos está dada por [157]:

$$\beta(P_0, P_r) = \frac{\sum_{j=1}^n w_j \cdot \delta_j(P_0, P_r)}{\sum_{j=1}^n w_j} \quad (2.23)$$

Donde;

n : es la cantidad de rasgos predictores.

w_j : es la relevancia del rasgo o el indicador c_j .

$\delta_j(P_0, P_r)$: es la función de comparación entre los casos P_0 y P_r con respecto al rasgo o indicador c_j . En la bibliografía se pueden encontrar diversos ejemplos de funciones para la comparación de rasgos [157, 158, 180, 181]; en este trabajo para obtener $\delta_j(P_0, P_r)$ se propone utilizar la ecuación 2.24 para rasgos de dominio discreto o continuo y la ecuación 2.25 para rasgos nominales.

$$\delta_j(P_0, P_r) = 1 - \frac{|c_j(P_0) - c_j(P_r)|}{|c_j(P_0) + c_j(P_r)|} \quad (2.24)$$

$$\delta_j(P_0, P_r) = \begin{cases} 1 & \text{si } c_j(P_0) = c_j(P_r) \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (2.25)$$

El acceso a los casos más semejantes se realiza empleando el Algoritmo 6. Este recibe como entradas el conjunto de proyectos P obtenidos de una selección S del mapa y la base de

conocimientos BC de proyectos terminados. La salida se corresponde con el conjunto de los k casos más semejantes P_s a los proyectos que se encuentran en la región S .

Algoritmo 6 Recuperación de casos semejantes de la BC .

Entrada: Conjunto de proyectos P de una selección S y la base de conocimientos BC .

Salida: Conjunto de casos semejantes P_s .

- 1: **Para todos** los proyectos del conjunto P desde P_1 hasta P_r **hacer**
 - 2: **Para todos** los rasgos del conjunto C^t desde c_1 hasta c_j **hacer**
 - 3: Comparar los rasgos predictores de $c_j(P_0)$ y $c_j(P_r)$ empleando las ecuaciones 2.24 y 2.25.
 - 4: **Finalizar Para**
 - 5: Obtener el valor de $\beta(P_0, P_r)$ entre los casos de la BC y los proyectos del conjunto P utilizando la ecuación 2.23.
 - 6: **Finalizar Para**
 - 7: Adicionar los k casos más semejantes al conjunto de proyectos P_s .
 - 8: **Retornar** P_s
-

Actividad 3: Adaptación de los casos.

Luego de obtener el conjunto P_s a partir de la selección de los k casos más semejantes, se efectúa el procedimiento de adaptación utilizando el Algoritmo 7. Este se realiza mediante la modificación y combinación de las soluciones en los casos semejantes para construir una nueva solución, es decir, se ajustan los parámetros de los casos de la base de conocimientos teniendo en cuenta las características de los casos contenidos en la selección S .

Algoritmo 7 Adaptación de los casos semejantes.

Entrada: Conjunto de casos semejantes P_s de la base de conocimientos BC .

Salida: Conjunto de medidas o acuerdos ordenados por la frecuencia M .

- 1: **Para todos** los proyectos del conjunto P_s desde P_1 hasta P_r **hacer**
- 2: Obtener todas las m_j del conjunto P_s .
- 3: Calcular la frecuencia de aparición de las m_j en el conjunto P_s empleando la ecuación:

$$F(m_j) = \text{Arg}_j \max \text{count}(c_j, P_s) \quad (2.26)$$

- 4: **Finalizar Para**
 - 5: Adicionar las m_j ordenadas por el valor de $F(m_j)$ en el conjunto M .
 - 6: **Retornar** M
-

Se propone utilizar la función de semejanza definida en la ecuación 2.23 para obtener la

similitud entre los parámetros de los casos semejantes seleccionados en la **Actividad 2**. Se calcula la frecuencia de aparición $F(m_j)$ de las m_j con relación al conjunto P_s empleando la regla *Majority* [182, 183]. En el Anexo E se presentan algunos ejemplos de medidas disponibles en la base de conocimientos que pueden ser empleadas durante el control de proyectos. Estas están relacionadas con el tiempo, los recursos asignados, el alcance, los costos y la calidad de las tareas realizadas.

Actividad 4: Aprendizaje del sistema basado en casos.

El aprendizaje se formaliza mediante el Algoritmo 8, su objetivo principal es incorporar a la base de conocimientos los nuevos escenarios analizados por el decisor.

Algoritmo 8 Aprendizaje de la *BC*.

Entrada: Conjunto de casos P de la selección S .

Salida: *BC* actualizada.

- 1: **Para todos** los proyectos del conjunto P desde P_1 hasta P_r **hacer**
 - 2: Obtener el valor de $\beta(P_0, P_r)$ entre los casos de la *BC* y los proyectos del conjunto P empleando la ecuación 2.23.
 - 3: **Si** El valor de $\beta(P_0, P_r)$ indica que existe semejanza entre los casos analizados
 - 4: Incrementar el contador de uso del caso P_r .
 - 5: **sino**
 - 6: Evaluar la utilidad de las m_j que fueron seleccionadas.
 - 7: Evaluar P_r por los expertos para su inclusión en la *BC*.
 - 8: Adicionar P_r a la *BC*.
 - 9: **Finalizar Si**
 - 10: **Finalizar Para**
-

Primeramente se observa el valor obtenido por la función de semejanza definida mediante la ecuación 2.23. Si el resultado indica que existe semejanza entre los casos implicados en el análisis, se procede a incrementar el contador de uso del caso. Este atributo se incorpora en la base de conocimientos para conocer cuántas veces ha sido empleado el caso recuperado para resolver situaciones similares a la analizada por el decisor. En caso contrario, se sugiere que el caso sea evaluado por expertos para que sea introducido en la base de conocimientos como un caso nuevo. Como parte de dicha valoración, se debe incluir además la evaluación sobre la utilidad de las medidas seleccionadas.

2.3. Guía de implementación del modelo

Para implementar el modelo, se elaboró una guía que contiene tres fases que están estrechamente relacionadas según se muestra en la Figura 2.6. Estas garantizan que se disponga de las entradas y salidas de cada componente, las herramientas y tecnologías que deben ser utilizadas, así como la propuesta de los posibles esquemas de integración entre la herramienta de GP que sea seleccionada y el SIG.

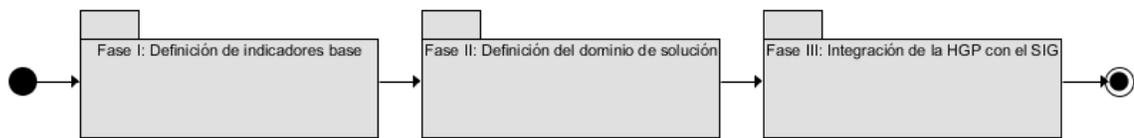


Figura 2.6: *Fases de la guía de implementación del modelo.*

Para aplicar la guía es necesario tener en cuenta los siguientes requisitos: (1) Contar con la definición formal del modelo de referencia, (2) Disponer de los datos de la organización que constituyen entradas a las fases y a los componentes del modelo, (3) Contar con el compromiso de los directivos de la organización para con la aplicación del modelo y (4) Disponer del SIG que automatiza los componentes del modelo.

Fase I: Definición de indicadores bases.

Entradas: Objetivos estratégicos de la organización,

Salidas: Indicadores de control.

Descripción general: Del análisis sobre los objetivos estratégicos de la organización se realiza la definición de los objetivos de medición. Se deben seleccionar los indicadores que permitan desarrollar una capacidad de medición suficiente para cubrir las necesidades de información de la organización. Es necesario además, crear las condiciones para la recolección y la verificación de los indicadores seleccionados. A continuación se especifican los pasos a seguir:

1. **Realizar análisis detallado sobre los objetivos estratégicos:** se realiza el ejercicio estratégico de la organización para definir los aspectos de interés para

el control de proyectos y seleccionar los recursos humanos implicados en su cumplimiento.

2. **Identificar los objetivos de medición:** se le solicita a los involucrados la identificación de los aspectos clave para el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Se recomienda realizar esta actividad al menos una vez al año, haciéndola corresponder con la definición o actualización de los objetivos estratégicos.
3. **Seleccionar los indicadores:** se seleccionan formalmente los indicadores que serán utilizados para el control de proyectos y se define la prioridad para cada caso con el fin de conocer el nivel de relevancia que tendrá en los procesos de la organización. Se recomienda que sean utilizados los indicadores presentados en la Tabla 1.1. Estos deben ser expuestos a todos los miembros de la institución.
4. **Recolectar indicadores:** se realiza la recolección y verificación de los indicadores durante todo el ciclo del proyecto mediante la utilización de una herramienta de GP. Los datos almacenados serán empleados por el decisor para la toma de decisiones.

Fase II: Definición del dominio de solución.

Entradas: Tematizaciones definidas, método de evaluación de zonas geográficas.

Salidas: Dominio definido, herramientas y tecnologías a emplear.

Descripción general: Para la definición del dominio se hace necesario realizar el aseguramiento metodológico para la implantación exitosa de la propuesta. Su objetivo fundamental está dirigido a lograr minimizar el impacto organizacional que implica la implantación de este tipo de sistema. Debe permitir establecer un balance de eficiencia y eficacia en cuanto a su uso, así como facilitar la obtención de datos de alta calidad que favorezcan la producción de resultados fiables para la toma de decisiones [184]. A continuación se especifican los pasos principales:

1. **Presentación de la plataforma GeneSIG:** constituye la actividad inicial de la fase, prevé el intercambio sobre los métodos propuestos y da a conocer el producto

base. Se deben presentar las funcionalidades disponibles y garantizar el nivel de partida para el despliegue de la solución.

2. **Identificación de funcionalidades SIG:** se determinan los instrumentos y las tecnologías que posibiliten establecer el ambiente deseado y culmina con la identificación de los requisitos. Su objetivo es determinar las funcionalidades y prestaciones principales que tendrá el aplicativo SIG.
3. **Evaluación y selección tecnológica:** se recomienda utilizar una matriz de evaluación para definir el funcionamiento del sistema a partir del hardware y el software disponible. Su objetivo es determinar las tecnologías y herramientas que soportarán el aplicativo SIG.
4. **Recopilación y revisión de la cartografía base:** se entregan, por parte de la organización, los datos geográficos a utilizar para su revisión. Su objetivo es validar la calidad de los datos geográficos que se gestionarán en el aplicativo SIG.
5. **Elaboración de la cartografía socio-económica:** se geo-referencian los datos socio-económicos solicitados sobre la cartografía base. Su objetivo es crear las capas de información socio-económica relacionadas a los proyectos de la entidad. En la Tabla 2.4 se presenta una propuesta de la información mínima a mostrar.

Tabla 2.4: *Propuesta de información del objeto espacial a mostrar en el SIG.*

Proyecto	Programa	Entidad desarrolladora
Identificador	Identificador	Identificador
Nombre	Nombre	Nombre
Descripción	Descripción	Descripción
Tipo de proyecto	Indicadores	Indicadores
Indicadores	—	—

Para garantizar la instanciación de la propuesta, en los Anexos F y G se definen la tecnologías que debe ser empleada para el dominio de aplicación de este trabajo. Estas facilitan la organización conceptual para la geo-referenciación de objetivos socio-económicos y su representación espacial a partir de las tareas siguientes:

- Establecer la relación entre la base de datos espacial y la información socio-económica de los proyectos y las entidades desarrolladoras.
- Incluir los subsistemas de administración y gestión de la información atributiva.
- Incorporar el módulo de tematización multifuncional.
- Integrar el módulo de análisis y representación estadística.

Fase III: Integración de la herramienta de gestión de proyectos con el SIG.

Entradas: Herramienta de GP, SIG.

Salidas: Herramientas integradas.

Descripción general: La integración se puede efectuar de dos maneras; a través de la base de datos de la herramienta de GP o mediante la implementación de servicios web. Para cualquiera de las dos variantes se debe definir cuál sería la información socio-económica sobre los proyectos o de la entidad desarrolladora que se desea mostrar a través del SIG, la cual debe estar en correspondencia con los resultados de la Actividad 5 de la Fase II.

Los posibles escenarios de integración están definidos para facilitar la implementación del modelo según las características de la organización y en correspondencia a la disponibilidad tecnológica, podrá seleccionarse uno u otro indistintamente. La variante de integración a través de servicios web se recomienda cuando la herramienta de GP utiliza un sistema gestor de base de datos diferente al utilizado por el SIG, es decir, que no coincida con PostgreSQL y para los casos en que la organización desee tener sus aplicaciones desplegadas en entornos distribuidos.

Pasos a seguir para la integración a través de servicios web:

1. Identificar los atributos socio-económicos a mostrar en el SIG.
2. Crear las tablas *Proyecto* y *EntidadDesarrolladora* con su respectivo campo espacial de tipo POINT en la base de datos espacial.
3. Actualizar las capas cartográficas *Proyecto.lay* y *EntidadDesarrolladora.lay* para ser utilizadas por el SIG.

4. Configurar los servicios *ObtenerAtribProyectos*¹ y *ObtenerAtribEntidadD*².
5. Actualizar la información socio-económica de los proyectos y de las entidades desarrolladoras en la base de datos espacial.

La variante de integración a través de la base de datos es la recomendada por el autor siempre que exista compatibilidad entre la base de datos de la herramienta de GP y el SIG. A pesar de que este escenario de integración implica un alto acoplamiento entre las aplicaciones, el hecho de compartir una misma base de datos permite obtener índices de rendimiento relativamente superiores. Esta variante es común para sistemas de la misma organización; donde existe la comunicación, el nivel de acceso y la seguridad suficiente para permitir el acceso a las bases sin poner en riesgo la integridad de los datos.

Pasos a seguir para la integración a través de la base de datos de la herramienta de GP:

1. Realizar la instalación de la extensión *Postgis* asociada a la versión disponible de PostgreSQL en el servidor de base de datos de la herramienta de GP.
2. Identificar en la base de datos de la herramienta de GP los objetos socio-económicos que se desean representar en el SIG (proyectos y entidades desarrolladoras).
3. Crear en las tablas de los objetos socio-económicos identificados el campo *geometry*.
4. Actualizar las capas cartográficas *Proyecto.lay* y *EntidadDesarrolladora.lay* para ser utilizadas por el SIG.

En este caso la gestión y recuperación de la información se realiza a través de la misma base de datos, por tanto se gana en rendimiento y tiempo de respuesta. Además se minimiza el uso de los recursos tecnológicos necesarios para el funcionamiento de las herramientas seleccionadas.

¹Servicio web que devuelve los atributos socio-económicos del proyecto.

²Servicio web que devuelve los atributos socio-económicos de la entidad desarrolladora.

2.4. Conclusiones del capítulo

1. El modelo propuesto se recomienda para organizaciones que desarrollan múltiples proyectos de manera simultánea en diferentes localidades geográficas y constituye una herramienta de apoyo a la toma de decisiones durante el control de proyectos.
2. La utilización de la técnica de TDDMC basada en los valores de los indicadores para la obtención de la evaluación dinámica, permite realizar análisis de tendencias sobre las evaluaciones obtenidas por el proyecto o la entidad desarrolladora.
3. El empleo de los operadores OWAWA y MA-OWA para determinar la evaluación de una zona geográfica permite obtener evaluaciones considerando la importancia del proyecto según el valor de su prioridad y la tendencia de la evaluación predominante dada una selección del mapa respectivamente.
4. El sistema basado en casos permite obtener la propuesta de medidas o acuerdos a partir de la experiencia adquirida de proyectos terminados con evaluaciones similares, lo que favorece a la objetividad de las medidas tomadas por el decisor para una zona geográfica evaluada.
5. La guía de implementación diseñada está compuesta por tres fases relacionadas que garantizan las entradas y salidas de los componentes del modelo, así como las herramientas y tecnologías de código abierto que deben ser utilizadas para facilitar la integración entre la herramienta de gestión de proyectos y el SIG. Lo anterior contribuye a la independencia de licencias privativas y a un costo menor para la implantación de la solución.

Capítulo 3

VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

3. VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el capítulo se describe la estrategia definida para la validación de la propuesta a partir del empleo de varios métodos. Se presentan los resultados de la instrumentación del modelo mediante la implementación de SIGESPRO. Se analizan los resultados obtenidos de la valoración de los expertos, la satisfacción de usuarios potenciales, la entrevista en profundidad, el estudio de casos y de varios cuasiexperimentos que fueron empleados para demostrar las mejoras percibidas en las variables del problema. Luego se argumenta el impacto económico y social de la propuesta.

3.1. Estrategia para la validación del modelo

El proceso de validación tiene como objetivo conocer el impacto del modelo y las características que inciden en la comprensión de sus componentes [185–187]. Para desarrollar este proceso; se analizó la literatura referida a los métodos, procedimientos y técnicas para la validación, las sugerencias expuestas por doctores en consultas, entrevistas y en el programa doctoral de la UCI. Además, se realizó un estudio sobre los métodos empleados en las tesis doctorales defendidas en el tribunal de automática y computación en los últimos cinco años. Inicialmente se presenta una síntesis sobre la instrumentación del modelo y luego se describen los resultados de los métodos cualitativos, cuantitativos y experimentales que se emplearon para la validación de la propuesta:

- Valoración de los expertos: se utiliza la técnica de números borrosos triangulares para verificar las consideraciones de los expertos sobre el nivel de comprensión, flexibilidad, fiabilidad y capacidad de generalización del modelo.
- Técnica Iadov: se emplea para evaluar el grado de satisfacción de los usuarios

potenciales y el nivel de aplicabilidad de la propuesta en entornos reales mediante el uso de una herramienta de GP.

- Entrevista en profundidad: se utiliza para evaluar la usabilidad del modelo a partir de los beneficios y de su contribución en la mejora de la capacidad de ayuda en la toma de decisiones.
- Estudio de casos: se emplea para analizar el comportamiento de la evaluación dinámica utilizando operadores de agregación asociativos.
- Cuasiexperimentos para la comparación con otros métodos: se emplean para comparar la propuesta con otros métodos de evaluación respecto al porcentaje de evaluaciones correctas y al tiempo para evaluar.
- Cuasiexperimentos para la validación del sistema basado en casos: se utilizan para obtener la mejor configuración y medir la efectividad del sistema basado en casos para la toma de decisiones respecto a la eficiencia y la eficacia.
- Triangulación metodológica inter-métodos: se utiliza para disminuir el sesgo que se produce en los resultados luego de aplicar las técnicas y métodos de manera independiente.

En los epígrafes siguientes se presentan los resultados obtenidos de la realización del proceso de validación.

3.2. Instrumentación del modelo

Síntesis de la aplicación en la Suite XEDRO GESPRO 13.05:

El modelo fue aplicado en la herramienta de gestión de proyectos XEDRO GESPRO. Está siendo utilizado por la Dirección General de Producción y el Laboratorio de Investigaciones en gestión de proyectos de la UCI y extendida a la Xetid desde abril del 2013 hasta la actualidad. Para su aplicación se desarrolló SIGESPRO [184], el cual constituye una personalización basada en la Plataforma GeneSIG. El mismo accede a los datos socio-económicos y a los indicadores de los proyectos y de las entidades

desarrolladoras mediante la integración con la base de datos de la herramienta de GP. La cifra de proyectos gestionados en dichas instituciones promedia sobre los 200 al año, de los cuales una parte corresponde a proyectos nacionales y el resto a proyectos de exportación.

A través del Componente *Representación de información* es posible obtener la evaluación estática y la dinámica tanto de los proyectos como de la entidad desarrolladora. El método empleado también puede ser extendido para evaluar un programa de la organización, el cual pudiera corresponderse con un conjunto de proyectos que se encuentren en una misma zona geográfica. Específicamente la evaluación estática brinda los resultados obtenidos para un corte determinado, mientras que la dinámica provee un resultado que contempla el comportamiento del proyecto o la organización incluyendo varios cortes en la evaluación. Esta última permite al decisor conocer cómo ha sido la evolución de los proyectos de la entidad durante su ciclo de vida. Con los resultados obtenidos se elabora un ranking entre los proyectos, que ayuda al decisor a establecer determinados niveles de prioridad que posibilitan realizar una atención diferenciada para cada caso durante la toma de decisiones. Por otra parte, a través de las tematizaciones construidas es posible utilizar vistas parciales que incluyen los resultados de los indicadores analizados en los proyectos de la organización. Lo anterior permite al decisor disponer de una perspectiva sobre cómo se están ejecutando los proyectos que pertenecen a una misma zona geográfica respecto a un indicador determinado.

Como complemento a ello, mediante el Componente *Evaluación de zonas geográficas*, se obtiene una evaluación en función de los proyectos que pertenecen a la zona seleccionada mediante el uso de operadores OWA. Además, se le provee al decisor de una propuesta de recorrido para controlar los proyectos que puede realizarse teniendo en cuenta la distancia entre los proyectos o la prioridad establecida para estos a partir del resultado de sus respectivas evaluaciones.

El Componente *Aprendizaje y retroalimentación* utiliza un sistema basado en casos y una base de conocimientos de proyectos terminados para proveer al decisor de una serie de

medidas que pueden ser utilizadas como apoyo al proceso de toma de decisiones. Estas son obtenidas desde los casos recuperados al comparar los proyectos que pertenecen a una misma región geográfica con los casos disponibles en la base. Por ejemplo, para proyectos de una misma zona pudieran presentarse problemas comunes; por tanto para su resolución pudieran utilizarse medidas similares que impliquen recursos humanos o logísticos compartidos. En el Anexo H se pueden observar algunas vistas obtenidas de la instrumentación.

La utilización de SIGESPRO integrado con XEDRO GESPRO facilita el control y seguimiento de los proyectos en diferentes ubicaciones geográficas y permite a los decisores tener una visión diferente desde esta perspectiva. La integración de ambos sistemas favorece la gestión de los recursos sobre mapas y no sólo brinda resultados desde el punto de vista de la ubicación espacial, sino que amplía el escenario de evaluación de variables mediante alternativas que incluyen nuevos criterios junto a los factores geográficos.

Síntesis de la aplicación en la empresa uruguaya ANTEL:

Los algoritmos propuestos en este trabajo también fueron incorporados en la Plataforma SIG de la empresa uruguaya de telecomunicaciones ANTEL. A través de esta herramienta se gestionan los proyectos de la organización orientados al despliegue de la red móvil, la red cableada, así como de sus respectivos servicios asociados. Entre las principales funcionalidades implementadas se encuentran las siguientes: gestión de los perfiles de trabajo definidos para cada nivel de dirección, gestión de los recursos humanos y logísticos compartidos, evaluación sobre el avance de los proyectos a partir del análisis de indicadores de rendimiento, gestión de las órdenes de trabajo por ubicación geográfica, asignación de recorridos para solucionar las órdenes de trabajo y análisis histórico sobre el desempeño de los equipos de trabajo.

La implementación se realizó con tecnologías de código abierto; por tanto, ANTEL cuenta actualmente con la capacidad decisional para modificar o extender las funcionalidades del sistema sin tener que realizar gastos derivados por pago de licencias de software. Es de destacar que, por los servicios prestados, la Universidad de las Ciencias Informáticas

percibió un total 12 000.00 USD por concepto de ingresos (Ver Anexo I).

3.3. Valoración de los expertos sobre el modelo

Para conocer la valoración sobre el modelo es necesario identificar las personas que cumplen los requisitos como expertos sobre la base teórica y práctica relacionada con el objeto de la investigación. Como se muestra en el Anexo J, de 28 posibles expertos se desestimaron cinco porque se tuvieron en cuenta los coeficientes de competencia Alto, es decir, superiores a 0,75. Siendo la distribución de la selección por instituciones la siguiente: Desoft (2), Xetid (4), Softel (3), Calisoft (3), el ISPJAE (1), la Universidad de Guayaquil (2), del Grupo de Geomática de la empresa uruguaya ANTEL (4) y de la UCI (4).

La composición de los 23 expertos seleccionados en cuanto al rol que desempeñan y la categoría científica se puede observar en la Tabla 3.1. Además, es de señalar que el grupo seleccionado tiene una media de 9,4 años de tiempo dedicado a las actividades de gestión de proyectos.

Tabla 3.1: *Composición de los expertos involucrados en la evaluación.*

Rol	Total	Categoría científica	Total
Director	5	Dr.C	6
Jefe de proyecto	15	Ms.C	15
Desarrollador	2	Sin categoría	2
Consultor	1		

Se confeccionó un cuestionario como instrumento para la recopilación de la información que puede ser consultado en el Anexo K. En el análisis se utilizaron números borrosos triangulares (NBT) [188] para conocer la valoración de los expertos con respecto a cada interrogante e incluir además su evaluación en el mejor y el peor de los casos. La media aritmética es el promedio o medida de tendencia central que se utiliza con mayor frecuencia para el tratamiento de los NBT [189], se conoce también en este ámbito como media muestral borrosa.

En el Anexo L se encuentra disponible la evaluación emitida por los expertos y en la Tabla 3.2 se presentan las medidas de tendencia central. La última fila representa el valor normalizado del promedio de las seis preguntas, que al ser ubicados en la escala nominal propuesta para la valoración del modelo resulta según se muestra en la Tabla 3.3. El resultado obtenido de 0,76 como medida de tendencia central, indica una valoración Alta sobre el modelo basado en la comprensión, la flexibilidad, la aplicabilidad y la capacidad de generalización de la propuesta.

Tabla 3.2: *NBT normalizados obtenidos de la valoración de los expertos.*

Pregunta	NBT		
1	0,62	0,77	0,91
2	0,60	0,73	0,88
3	0,64	0,77	0,89
4	0,62	0,77	0,88
5	0,62	0,76	0,89
6	0,63	0,77	0,89
Promedio	0,62	0,76	0,89

Tabla 3.3: *Escala nominal utilizada para evaluar el modelo.*

Escala	
Numérica	Nominal
0-0,20	Muy bajo
0,21-0,40	Bajo
0,41-0,60	Medio
0,61-0,80	Alto
0,81-1,0	Muy alto

Para verificar la fiabilidad del instrumento se utilizó el método Alfa de Cronbach [190]. Este es denotado por la letra griega α y es utilizado para determinar la correlación de cada elemento obtenido mediante la aplicación del instrumento con el fin de comprobar la estabilidad y la consistencia de la medición. Los resultados obtenidos de α están comprendidos en la escala $\alpha \in [0, 1]$ donde los valores de confiabilidad más cercanos a uno se consideran mejores. Según se plantea en la bibliografía [190], se establece que un valor igual o mayor a 0,7 representa un valor alto de confiabilidad. Para la evaluación

se utilizó el análisis de fiabilidad que implementa el programa estadístico SPSS donde se utilizaron las evaluaciones expresadas por los 23 encuestados. La conclusión del análisis puede ser consultada en la Tabla 3.4, el resultado obtenido de $\alpha = 0,823$ supera el valor mínimo deseado de 0,7.

Tabla 3.4: *Resultados del Alfa de Cronbach en la evaluación del instrumento.*

Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basado en estándares	Nro. de preguntas
0,823	0,824	6

En general, la aplicación del método permitió mejorar el modelo y a través del análisis de los criterios emitidos por los expertos se pudieron inferir los siguientes elementos:

- El modelo permite a los decisores incorporar la información geo-referenciada, lo que resulta útil para la toma de decisiones durante el control de proyectos.
- El modelo es pertinente, flexible y fiable para ejecutarse en entornos dinámicos, donde pueden variar los indicadores y su respectiva importancia en los diferentes cortes realizados o momentos de decisión. Este resulta un proceso complejo de procesamiento de información, a pesar de que se incluye el análisis geo-referencial mediante la utilización de un SIG.
- Existe correspondencia entre la guía de implementación y el modelo a partir de las definiciones de sus fases en función de facilitar las entradas y salidas de los componentes que forman parte del modelo, lo que permite validar su aplicabilidad al ser posible realizar su adecuación a partir de los requerimientos de una organización determinada.

3.4. Grado de satisfacción de usuarios potenciales

Con el objetivo de conocer el grado de satisfacción de los usuarios potenciales con relación a la propuesta, se aplicó la técnica Iadov. Esta se realiza a través de la ejecución de un

cuestionario que contenga al menos tres preguntas cerradas y dos abiertas. El cuadro lógico de la Tabla 3.5 representa la relación entre las preguntas cerradas que fueron formuladas para conocer el nivel de satisfacción con relación al modelo desarrollado.

Tabla 3.5: Cuadro lógico de Iadov modificado.

¿Le satisface el modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, para contribuir a la ayuda en la toma de decisiones?	¿Considera usted que es posible evaluar con efectividad las zonas geográficas según el desempeño de los proyectos sin el empleo de un SIG integrado a una herramienta de GP?								
	No			No sé			Sí		
	¿Utilizaría usted el modelo y la guía de implementación desarrollada para la ayuda a la toma de decisiones en el proceso de control de proyectos?								
	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No	Sí	No sé	No
Me gusta mucho	1	2	6	2	2	6	6	6	6
No me gusta tanto	2	2	3	2	3	3	6	3	6
Me da lo mismo	3	3	3	3	3	3	3	3	
Me disgusta más de lo que me gusta	6	3	6	3	4	4	3	4	4
No me gusta nada	6	6	6	6	4	4	6	4	5
No sé qué decir	2	3	6	3	3	3	6	3	4

El número obtenido de la interrelación de las tres preguntas cerradas indica la posición en la siguiente escala de satisfacción: 1- clara satisfacción (A), 2- más satisfecho que insatisfecho (B), 3- no definida (C), 4- más insatisfecho que satisfecho (D), 5- clara insatisfacción (E) y 6- contradictoria (C). La cantidad de respuestas por cada categoría, es empleada para calcular el Índice de Satisfacción Grupal (ISG) mediante la siguiente ecuación:

$$ISG = \frac{A(1) + B(0,5) + C(0) + D(-0,5) + E(-1)}{N} \quad (3.1)$$

donde N es el número total de encuestados.

Este índice provee una medida de consenso sobre la satisfacción de los encuestados según las categorías siguientes: *Satisfacción* ($0,5 \leq ISG \leq 1,0$), *Contradictorio* ($-0,5 < ISG < 0,5$) e *Insatisfacción* ($-1,0 \leq ISG \leq -0,5$). El cuestionario disponible en el Anexo M se

aplicó a 33 profesionales con varios años de experiencia en la dirección de proyectos. Del total de encuestados, 11 de ellos forman parte de los Centros de desarrollo y la Dirección General de Producción de la UCI, 9 de la Xetid, 6 de Albet S.A y 7 de Softel. El resultado obtenido del *ISG* fue de 0,79; lo que indica satisfacción de los usuarios potenciales con respecto al modelo propuesto. De las respuestas emitidas sobre las preguntas abiertas se obtuvieron los siguientes criterios:

- Se considera de gran utilidad la existencia de la guía de implementación, debido a su objetividad para con la adecuación del modelo a los posibles entornos de aplicación.
- Los decisores consideran como positivo la posibilidad de contar con indicadores que integren los resultados de varias áreas de conocimiento de la gestión de proyectos, obtenidos sobre la base de las evaluaciones realizadas en diferentes cortes o momentos de decisión.
- Se destaca como favorable la disponibilidad del conocimiento generado de las experiencias adquiridas de los proyectos terminados.

La aplicación de la técnica Iadov aportó información relevante sobre el grado de satisfacción de los usuarios potenciales para realizar un proceso de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial. Los criterios emitidos en las preguntas abiertas, fueron considerados para ser introducidos como mejoras al modelo y a la guía de implementación.

3.5. Entrevista en profundidad para valorar los beneficios del modelo

La entrevista en profundidad supone una conversación con fines orientados hacia los objetivos de una investigación [191]. Esta técnica involucra dos roles; el entrevistador (en este contexto se refiere al investigador), que es el encargado de diseñar y organizar los temas de conversación y el entrevistado, el cual emite a lo largo de la conversación elementos cognoscitivos (información sobre vivencias y experiencias),

creencias (predisposiciones y orientaciones) y deseos (motivaciones y expectativas) sobre los temas abordados.

Durante la entrevista; el entrevistado proporcionará la información relacionada a los elementos del problema que se desean estudiar, pero el curso de esta no estará necesariamente sujeto a una estructura formalizada. De la revisión sobre los tipos de entrevista en profundidad (estructurada, semiestructurada o focalizada y no estructurada), en la investigación se decidió emplear la entrevista semiestructurada sobre la base de las siguientes características [191, 192]: (1) Información controlada y recogida en un mayor espacio de tiempo, (2) Existencia de un nivel adecuado de información definida previamente, (3) Puntos de referencia de curso obligatorio para el entrevistador y el entrevistado y (4) Discurso cuyo orden puede resultar determinado según sea la reacción del entrevistado desde el flujo de un tema a otro. En la Figura 3.1 se muestra la estrategia concebida para la realización de la entrevista.



Figura 3.1: Estrategia para la realización de la entrevista en profundidad.

La entrevista tiene como objetivo evaluar la usabilidad del modelo a partir de los beneficios y de su contribución en la mejora de la capacidad de ayuda en la toma de decisiones. Fue realizada a 14 especialistas que son miembros de la alta gerencia de la Xetid (5), ALBET S.A (2), COPEXTEL (2) y de la Red de Centros de la UCI (5) con un promedio de 7,6 años de experiencia en tareas relacionadas con la dirección de proyectos. Todos los involucrados son usuarios de la herramienta XEDRO GESPRO. El 57% de ellos poseen categoría científica y en sus respectivas organizaciones se ejecutan de manera simultánea varios

proyectos. En el Anexo N están disponibles los temas abordados y entre los resultados obtenidos se destacan los siguientes:

- La novedad de la investigación.
- Alta correspondencia de la investigación hacia las tendencias internacionales sobre los paradigmas relacionados con el control de proyectos.
- La capacidad de construir las tematizaciones para el control de los proyectos y las entidades desarrolladoras sobre la base de la dimensión geográfica y sus respectivas evaluaciones.
- Integración de varias áreas de conocimiento de la GP mediante el método de evaluación dinámica propuesto.
- Disminución de los tiempos desde el orden de las horas a los segundos para evaluar una zona geográfica.
- Los beneficios sociales y económicos que puede traer su aplicación para las organizaciones cubanas dedicadas al desarrollo de proyectos.

3.6. Estudio de casos para la validación de la evaluación dinámica

El estudio se realizó en el Centro Geoinformática y Señales Digitales (GEYSED) de la UCI sobre cuatro proyectos de dicha organización. El objetivo era comprobar la aplicabilidad del método de evaluación dinámica y comparar el comportamiento de los resultados a partir del empleo de varios operadores de agregación con características diferentes [170]. Los datos fueron obtenidos de tres cortes realizados a los proyectos en el período comprendido entre febrero y abril del año 2016. En la Figura 3.2 se representa el esquema para la implementación del método a partir de los indicadores calculados por la herramienta XEDRO GESPRO [148].

A continuación se realiza la descripción del caso:

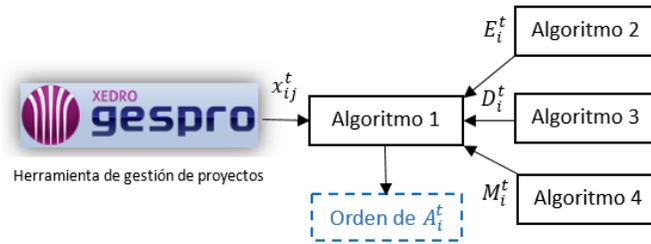


Figura 3.2: Esquema para la aplicación del método propuesto.

El Centro GEYSED cuenta con cuatro proyectos de desarrollo de software en ejecución. Para evaluar la tendencia en cuanto al estado de la ejecución del centro, durante un período de tiempo determinado, es necesario analizar un grupo de indicadores que se calculan automáticamente para cada proyecto con la herramienta XEDRO-GESPRO. Para esta ocasión no era de interés incluir el indicador Índice de la Ejecución (IE). Los proyectos que fueron evaluados y que constituyen las unidades de análisis son los siguientes:

- a_1 : Señal ACN: Sistema de Televisión Informativa para la Agencia de Información Nacional (AIN).
- a_2 : Xilema Primicia v2.0: Sistema integral, multiplataforma, desarrollado sobre código abierto y capaz de proveer un canal de televisión para la transmisión automática de contenidos en diferentes formatos.
- a_3 : Xilema Suria v2.0: Sistema que automatiza el proceso de video vigilancia para fortalecer la seguridad de una institución.
- a_4 : Sistema de Gestión Audiovisual para el CICCPC: Sistema que permite la captura de señales de televisión, así como el almacenamiento y la descripción de materiales audiovisuales provenientes de esta fuente y desde un archivo audiovisual.

El conjunto de indicadores obtenidos en el corte $t \in T$ está dado por $C^t = c_1, \dots, c_7$, donde:

- c_1 : Índice de Rendimiento de la Ejecución (IRE).
- c_2 : Índice de Rendimiento de la Productividad (IRP).
- c_3 : Índice de Rendimiento de los Costos (IRC).

c_4 : Índice de Rendimiento de la Eficiencia (IREF).

c_5 : Índice de Rendimiento de los Recursos Humanos (IRHH).

c_6 : Índice de Rendimiento de la Logística (IRL).

c_7 : Índice de Calidad del Dato (ICD).

Cada indicador tendrá la misma importancia para la obtención de la evaluación del proyecto, por lo que $w_1 = w_2 = \dots = w_7 = \frac{1}{7}$. Para obtener el valor de los indicadores normalizados \hat{c}_i se emplea la ecuación 2.3. Como parte de las actividades de control definidas en el cronograma de ejecución de los proyectos, para tres cortes consecutivos se obtuvieron los valores de los indicadores normalizados según se muestra en el Anexo Ñ. Para calcular la evaluación estática de las alternativas se empleó la suma ponderada utilizando la ecuación 2.10. La evaluación dinámica se obtuvo empleando tres operadores diferentes para verificar diferentes comportamientos:

1. La t-norma producto, con refuerzo hacia abajo:

$$T(D^t, E^{t-1}) = D^{t-1} \cdot E^t \quad (3.2)$$

2. La t-conorma suma probabilística, con refuerzo hacia arriba:

$$S(D^t, E^{t-1}) = D^{t-1} + E^t - D^{t-1} \cdot E^t \quad (3.3)$$

3. La uninorma $3\prod$ con refuerzo total mediante la ecuación 2.12. En esta ocasión se utilizó un valor de $q = 0,7$.

En la Tabla 3.6 se registran los resultados obtenidos de la aplicación del Algoritmo 2 para calcular la evaluación estática y del Algoritmo 3 para calcular la evaluación dinámica en cada $t \in T$. Como se puede apreciar en la Figura 3.3, la evaluación estática de los proyectos es diferente en los cortes realizados y no se puede identificar mediante un simple análisis cuál es la mejor alternativa a través del tiempo. En consecuencia, es necesario

analizar la evaluación dinámica para obtener un resultado que refleje la tendencia en el comportamiento de los proyectos en cuanto a su evaluación y que contemple además, los indicadores obtenidos en cada corte como parte del sistema de control.

Tabla 3.6: Resultados del Algoritmo 2 y el Algoritmo 3.

Algoritmo 2					
T	Resultados	a_1	a_2	a_3	a_4
$t = 1$	E^1	0,6800	0,8358	0,8660	0,9255
$t = 2$	E^2	0,7728	0,9252	0,6900	0,7915
$t = 3$	E^3	0,9270	0,8944	0,6563	0,6186
Algoritmo 3					
$t = 1$	$D^1(T)$	0,6800	0,8358	0,8660	0,9255
	$D^1(S)$	0,6800	0,8358	0,8660	0,9255
	$D^1(U)$	0,6800	0,8358	0,8660	0,9255
$t = 2$	$D^2(T)$	0,5255	0,7732	0,5975	0,7326
	$D^2(S)$	0,9273	0,9877	0,9584	0,9845
	$D^2(U)$	0,7560	0,9642	0,8604	0,9529
$t = 3$	$D^3(T)$	0,4871	0,6916	0,3922	0,4532
	$D^3(S)$	0,9947	0,9987	0,9857	0,9941
	$D^3(U)$	0,9440	0,9899	0,8345	0,9336

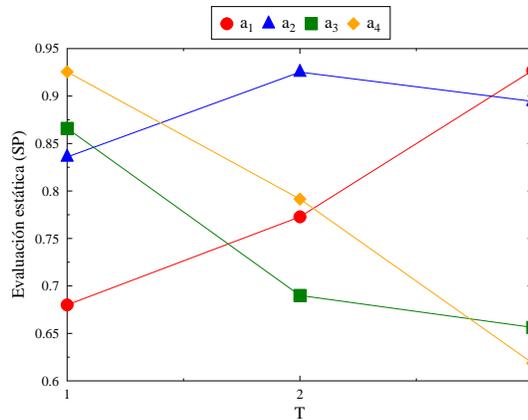


Figura 3.3: Comportamiento de la evaluación estática.

Debido al comportamiento diferente de los operadores asociativos seleccionados para el cálculo de la evaluación dinámica, los resultados no reflejan tendencias similares. Por

ejemplo, en la Figura 3.4 se evidencia como la evaluación dinámica obtenida mediante el empleo de la t-norma para cada caso disminuye en el tiempo, incluso para el proyecto a_1 que durante el avance de los cortes muestra mejoras en sus indicadores.

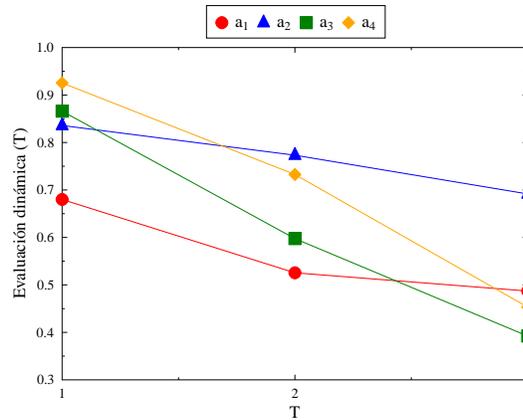


Figura 3.4: Comportamiento de la evaluación dinámica utilizando la t-norma producto.

Por otra parte, con el empleo de la t-conorma se aprecia un incremento en la evaluación dinámica, a pesar de que hubo proyectos como a_4 que obtuvo indicadores con resultados inferiores con el avance del tiempo (ver Figura 3.5).

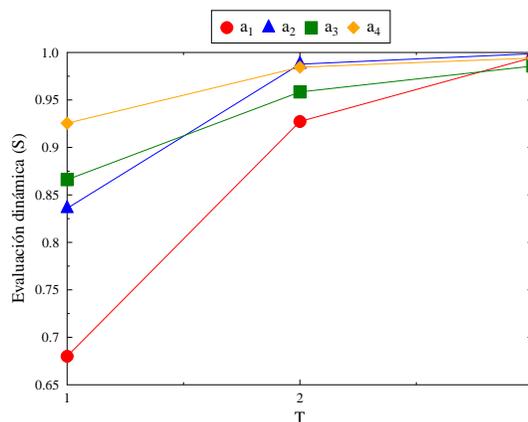


Figura 3.5: Comportamiento de la evaluación dinámica utilizando la t-conorma suma probabilística.

Sin embargo, según se observa en la Figura 3.6, la evaluación dinámica obtenida con

el empleo de la uninorma refleja un comportamiento que está dado por la evaluación estática y su relación con $q = 0,7$ para garantizar un refuerzo total según el contexto de la organización.

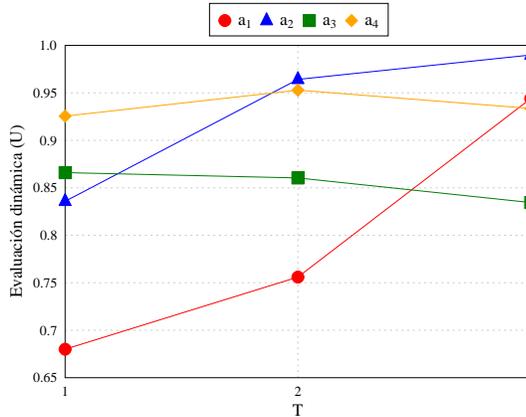


Figura 3.6: Comportamiento de la evaluación dinámica utilizando la uninorma 3II .

El orden de las alternativas en $t = 1$, se corresponde con la evaluación estática obtenida en el corte y es (a_4, a_3, a_2, a_1) ; en este caso no tiene sentido la obtención de la evaluación dinámica.

En $t = 2$, las evaluaciones dinámicas resultantes con el operador T siempre son menores que las evaluaciones estáticas de los proyectos para $t = 1$ y $t = 2$, lo cual es consistente con el refuerzo hacia abajo de las t -normas. En contraste, con la t -conorma S se obtienen evaluaciones dinámicas mayores que las evaluaciones estáticas de los proyectos para $t = 1$ y $t = 2$. Con ambos operadores se obtiene coincidentemente el mismo ranking (a_2, a_4, a_3, a_1) . Sin embargo la uninorma U logra un comportamiento híbrido que permite seleccionar los proyectos teniendo en cuenta la variación de su evaluación estática. Por ejemplo; la evaluación estática de a_1 aumenta, pero mantiene valores por encima de $0,7$; la evaluación de a_2 también aumenta pero parte de un valor menor que $0,7$; la evaluación de a_3 disminuye pero desde un valor mayor que $0,7$; la evaluación de a_4 también disminuye pero mantiene ambos valores por debajo de $0,7$. El ranking obtenido (a_2, a_4, a_3, a_1) es coherente con un modelo donde se decide penalizar los comportamientos de malas evaluaciones estáticas

por debajo de 0,7; beneficiar aquellos proyectos que mantienen evaluaciones por encima de 0,7 y compensar situaciones de cambios.

En $t = 3$, las evaluaciones dinámicas resultantes de emplear los operadores T y S, disminuyen y aumentan respectivamente en correspondencia con las características de cada operador. En cuanto al operador U, este mantiene su comportamiento híbrido sobre la base de la variación de la evaluación estática. Por ejemplo; la evaluación estática de a_1 aumenta, con valores por encima de 0,7; la evaluación de a_2 disminuye pero parte de un valor mayor que 0,7; la evaluación de a_3 disminuye pero mantiene ambos valores por debajo de 0,7; la evaluación de a_4 también disminuye pero parte de un valor mayor que 0,7. El ranking obtenido del cálculo de las evaluaciones dinámicas es (a_2, a_1, a_4, a_3) para cada operador empleado, sin embargo solamente con el operador U se logra una compensación en la evaluación cuando se obtienen malas evaluaciones estáticas o se dan determinadas situaciones de cambio. Además, a pesar de que los ranking coinciden para cada operador, se considera que el operador U es el más factible para determinar la tendencia en la evaluación de proyectos a partir de los cortes realizados en su ciclo de vida. Finalmente, en la Tabla 3.7 se registran los resultados obtenidos de la aplicación del Algoritmo 4 para calcular el índice discriminativo en $t = 2$ y $t = 3$, pues para $t = 1$ el valor de I^t para todos los casos es 0.

Tabla 3.7: Resultados del Algoritmo 4: Cálculo del índice discriminativo.

t_λ	Resultados	a_1	a_2	a_3	a_4
t_2	$I^2(T)$	0,0928	0,0894	-0,1759	-0,1339
	$I^2(S)$	0,0928	0,0894	-0,1759	-0,1339
	$I^2(U)$	0,0928	0,0894	-0,1759	-0,1339
t_3	$I^3(T)$	0,2327	0,0644	-0,2037	-0,2837
	$I^3(S)$	0,2327	0,0644	-0,2037	-0,2837
	$I^3(U)$	0,2327	0,0644	-0,2037	-0,2837

Para calcular el índice discriminativo se empleó la función de combinación de Van Melle [172]. Este operador de agregación, permitió modelar el comportamiento del índice en dependencia de *las actitudes de los decisores con respecto a los cambios en la evaluación*

de las alternativas a lo largo del tiempo. Como puede apreciarse, la uninorma es un operador que se comporta adecuadamente para el dominio de solución de la propuesta. Este permite obtener las evaluaciones dinámicas con un refuerzo que depende de los resultados obtenidos de los indicadores del proyecto para cada corte analizado.

3.7. Cuasiexperimentos para la comparación con otros métodos

Cuasiexperimento 1: Análisis respecto al porcentaje de evaluaciones correctas.

Se realizó la comparación de la propuesta con otros métodos para obtener el porcentaje de evaluaciones correctas mediante un cuasiexperimento con post-prueba. Se utilizaron los valores de los indicadores utilizados en los tres cortes analizados en el epígrafe anterior a los proyectos Señal ACN (a_1), Xilema Primicia v2.0 (a_2), Xilema Suria v2.0 (a_3) y Sistema de Gestión Audiovisual para la CICCPC (a_4). Se estudiaron además los próximos tres cortes, por tanto se dispuso de un total de 24 evaluaciones según se muestra en el Anexo O. Los métodos seleccionados para establecer la comparación se corresponden con las propuestas presentadas indistintamente por Lugo [67], Bermúdez [66], Rodríguez [70] y Marques [47]; todas se encuentran implementadas en el módulo *AnalysPro* de la herramienta XEDRO GESPRO.

Inicialmente los resultados obtenidos de los seis cortes de cada proyecto fueron valorados por expertos para emitir una evaluación cualitativa de Bien, Regular o Mal. Esta fue utilizada para realizar la comparación entre las propuestas seleccionadas, incluyendo además la del autor. Es importante señalar que en la propuesta del autor se utilizó el operador $\mathbb{3}\mathbb{I}$ a partir de la ecuación 2.12 para realizar la agregación. En la Figura 3.7 se muestran los valores correctos e incorrectos que se obtuvieron de cada método.

Como resultado se obtiene el porcentaje de las evaluaciones correctas para cada método con relación a la emitida por los expertos. Del análisis realizado se pudo constatar que dos de las propuestas estudiadas, la de Bermúdez y la del autor, obtuvieron un porcentaje

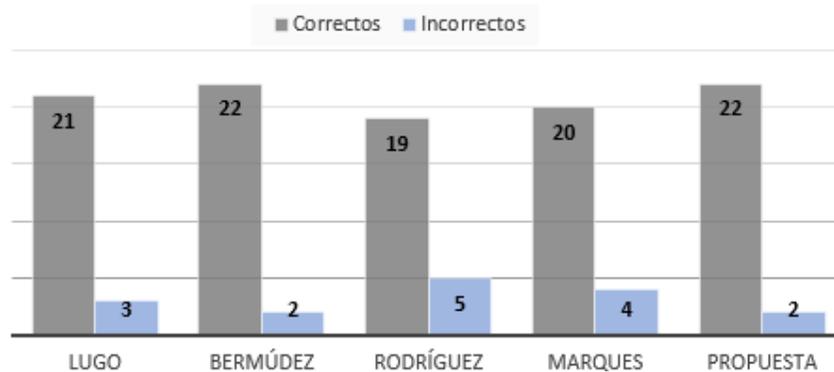


Figura 3.7: Cantidad de evaluaciones correctas e incorrectas por métodos.

de evaluaciones correctas de un 91,7%. Este resultado es superior al alcanzado por las variantes de Lugo, de Marques y la de Rodríguez, los cuales lograron un 87,5 %, 83,3 % y 79,2 % respectivamente.

Cuasiexperimento 2: Análisis respecto al tiempo para evaluar.

Durante este proceso, también se realizó la medición del tiempo para obtener la evaluación de cada proyecto. Con tal propósito se diseñó un cuasiexperimento con post-prueba para determinar la existencia de diferencias significativas entre los tiempos para evaluar los proyectos en los cinco métodos analizados. Se realizó la medición en las 24 evaluaciones obtenidas de los cuatro proyectos implicados en el análisis durante los seis cortes. En la Tabla 3.8 se muestra el resumen estadístico sobre la variable tiempo para evaluar, presentada en segundos.

Tabla 3.8: Resumen estadístico sobre la variable tiempo para evaluar.

	Lugo	Bermúdez	Rodríguez	Marques	Propuesta
Recuento	24	24	24	24	24
Promedio	4,0171	5,6721	5,7292	5,8367	3,1238
Desv. estándar	1,1325	1,7033	1,7626	1,6978	0,7769
Mínimo	2,60	3,85	3,81	3,99	2,20
Máximo	6,70	9,76	9,77	9,79	5,02

Como se puede observar la propuesta del autor presenta los mejores tiempos. La explicación de la superioridad de los resultados obtenidos con respecto al resto de los autores analizados, está dada porque se emplea en la propuesta un método de evaluación

dinámica que utiliza operadores de agregación asociativos donde no es necesario almacenar la información de todos los cortes realizados para obtener la evaluación final. Lo anterior contribuye a que se procese un volumen menor de información y disminuya entonces en estos casos el tiempo para obtener la evaluación del proyecto.

Sobre los datos se aplicaron pruebas estadísticas utilizando la herramienta SPSS. Al realizar la prueba de Shapiro-Wilk se constató que el estadístico obtenido del análisis de la variable para cada muestra por separado, evidencian que el valor-P más pequeño de las pruebas es menor a 0,05. Por tanto, en ninguno de los casos se debe aceptar la hipótesis de que los datos provienen de una distribución normal con un 95 % de confianza. Debido a que los datos no siguen una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman para k muestras relacionadas con un 99 % de intervalo de confianza.

Tabla 3.9: *Resultados de la prueba de Friedman para k muestras relacionadas.*

Lugo	Bermúdez	Rodríguez	Marques	Propuesta	valor-P
2,38	3,29	3,33	4,44	1,00	,000

Los resultados presentados en la Tabla 3.9 reflejan la existencia de diferencias significativas entre las muestras analizadas. Posterior a ello, se aplicaron pruebas de Wilcoxon para dos muestras relacionadas empleando el método de Monte Carlo con un 99 % de intervalo de confianza. En este caso para analizar cinco muestras se deben ejecutar diez comparaciones dos a dos.

Tabla 3.10: *Resultados de la prueba de Wilcoxon.*

—	Lugo	Bermúdez	Rodríguez	Marques	Propuesta
Lugo	—	,000	,000	,000	,000
Bermúdez	,000	—	,548	,017	,000
Rodríguez	,000	,548	—	,009	,000
Marques	,000	,017	,009	—	,000
Propuesta	,000	,000	,000	,000	—

Como puede observarse en la Tabla 3.10, los resultados demostraron que entre las propuestas de Bermúdez y la de Rodríguez no existen diferencias estadísticamente

significativas, sin embargo se pudo verificar que el resto de las comparaciones difieren respecto al nivel de significación fijado.

3.8. Cuasiexperimentos para la validación del sistema basado en casos

Cuasiexperimento 3: Configuración del SBC.

Primeramente se realizó un cuasiexperimento con post-prueba para identificar la opción de configuración más acorde para la recuperación de los casos. Se utilizaron diferentes valores de k para obtener los casos más semejantes, los resultados se obtuvieron para $k = 5$, $k = 7$ y $k = 10$. Se empleó la base de conocimientos de proyectos terminados *GESPRO-Proj-Dataset* [150, 151]. Esta fue tratada previamente mediante técnicas de limpieza de datos para eliminar los valores ausentes o fuera de rango y cuenta inicialmente con un total de 8430 casos divididos en tres clases: 3155 evaluados de Bien, 1021 de Regular y 4254 de Mal [67, 150].

Se aplicó el método de validación cruzada aleatoria, creándose 20 particiones de la base de casos, se seleccionó para cada una el 75% para el aprendizaje y el resto para la predicción de la recuperación. Las tres variantes fueron probadas para cada partición y se comprobó que los datos no siguen una distribución normal al aplicar la prueba de Shapiro-Wilk con un 95% de confianza. Debido a que los datos no siguen una distribución normal, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman para k muestras relacionadas. En la Tabla 3.11 se puede apreciar que los resultados mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto a la variable porcentaje de casos recuperados correctamente con un 99% de intervalo de confianza.

Tabla 3.11: Resumen estadístico sobre la variable % de casos recuperados correctamente.

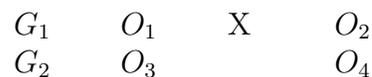
$k = 5$	$k = 7$	$k = 10$	valor-P
96,8375	97,0462	92,0153	,000

Posteriormente se realizaron pruebas de Wilcoxon para dos muestras relacionadas utilizando el método de simulación de Monte Carlo con un 99 % de intervalo de confianza. Los resultados demostraron que entre el proceso de recuperación para $k = 7$ y para $k = 5$ no existen diferencias significativas, siendo estos también los de mejores resultados.

Cuasiexperimento 4: Efectividad del SBC.

Se desarrolló un cuasiexperimento con pre y post-prueba donde se seleccionaron una serie de proyectos que utilizan como tecnología base la Plataforma GeneSIG. Estos fueron ejecutados en algún momento durante el período comprendido entre el año 2012 y el 2016. El modelo de desarrollo empleado por los equipos de proyectos dedicados a la personalización de SIG está sustentado sobre el principio de funcionamiento de líneas de productos de software (LPS); siguiendo para todos los casos las siguientes fases: levantamiento de información, preparación de la plataforma, diseño de la base de datos espacial, personalización de módulos, liberación del producto, despliegue de la solución y asesoría técnica.

La población está formada por un total de 27 proyectos que fueron desarrollados por las LPS de la Xetid y la UCI, se seleccionaron dos muestras independientes con trece y catorce proyectos respectivamente. Se ubicó un grupo de control, el cual ejecutó el procedimiento como se había efectuado tradicionalmente y un grupo experimental, que lo realizó luego de integrar el *plugin* que implementa el sistema basado en casos de SIGESPRO. El diseño del cuasiexperimento se diagrama de la siguiente manera:



Descripción de las variables:

- G_1 : Grupo experimental formado por un total de 14 proyectos.
- G_2 : Grupo de control formado por un total de 13 proyectos.
- O_1 : Observación inicial sobre los indicadores *tiempo pactado* y *cantidad de requisitos* en el grupo experimental.

- X: Empleo del sistema basado en casos para obtener la propuesta de medidas para la toma de decisiones.
- O_2 : Observación final sobre los indicadores *por ciento de desviación del cronograma* y *por ciento de efectividad de las medidas tomadas* en el grupo experimental.
- O_3 : Observación inicial sobre los indicadores *tiempo pactado* y *cantidad de requisitos* en el grupo de control.
- O_4 : Observación final sobre los indicadores *por ciento de desviación del cronograma* y *por ciento de efectividad de las medidas tomadas* en el grupo de control.

Para su ejecución se utilizó como herramienta estadística el sistema SPSS. En un inicio, se analizó el supuesto de normalidad de las muestras por separado empleando la prueba de Shapiro-Wilks. Luego se aplicaron pruebas de comparación de medias para identificar la existencia o no de diferencias significativas para cada uno de los indicadores analizados.

Pre-prueba:

Se realiza una **pre-prueba** para verificar la posibilidad de comparar los dos grupos basada en la planificación del tiempo pactado a partir de las horas estimadas para el desarrollo de los proyectos (Tiempo) y los requisitos funcionales identificados (Alcance). Su objetivo es demostrar la equivalencia entre los grupos de comparación a partir del tamaño y del alcance. En la Tabla 3.12 se refleja el resumen estadístico del análisis de los datos relacionados con el tiempo pactado y la cantidad de requisitos funcionales en el grupo de control y el experimental.

Tabla 3.12: *Resumen estadístico de los datos para la pre-prueba.*

	Tiempo pactado		Cant. de RF	
	G. Control	G. Exp	G. Control	G. Exp
Recuento	13	14	13	14
Promedio	392,731	382,143	20,923	24,643
Desv. estándar	123,206	131,788	4,956	8,984
Mínimo	209	240	13	12
Máximo	640	620	30	42

Como puede observarse, en la Tabla 3.13 se registran los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos. El estadístico obtenido del análisis de las variables (tiempo pactado y cantidad de requisitos) para cada muestra por separado, evidencian que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05; por tanto en ninguno de los casos se debe rechazar la hipótesis de que los datos provienen de una distribución normal con un 95 % de confianza.

Tabla 3.13: Resultados del estadístico W de Shapiro-Wilk para la pre-prueba.

Tiempo pactado				Cant. de RF			
G. Control		G. Exp		G. Control		G. Exp	
Estadíst.	Valor-P	Estadíst.	Valor-P	Estadíst.	Valor-P	Estadíst.	Valor-P
0,979	0,947	0,899	0,110	0,958	0,677	0,959	0,673

Se aplicó la prueba estadística paramétrica *t-student*, con el objetivo de comparar dos muestras a partir de sus medias para verificar si los resultados son estadísticamente diferentes. Los resultados demostraron que:

- La comparación de las medias del indicador tiempo pactado arrojó un valor-P mayor a 0,05 y el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias se extiende desde -90,7437 hasta 111,920. Puesto que el intervalo contiene el valor 0 no se debe rechazar la hipótesis nula, por tanto no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias para un nivel de confianza del 95 %.
- La comparación de las medias del indicador cantidad de requisitos funcionales arrojó un valor-P mayor a 0,05 y el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias se extiende desde -9,5364 hasta 2,0968. Puesto que el intervalo contiene el valor 0 no se debe rechazar la hipótesis nula, por tanto no existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias para un nivel de confianza del 95 %.
- Del análisis sobre los resultados, se puede asegurar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de control y el experimental.

Post-prueba:

El objetivo de la **post-prueba** es demostrar que existen diferencias significativas entre los grupos luego de aplicar el estímulo al grupo experimental, con respecto al porcentaje de medidas efectivas (Eficacia) y al porcentaje de desviación de los cronogramas (Eficiencia). Se obtuvo de cada proyecto que conforman los grupos de control y experimental la cantidad de medidas tomadas como parte del proceso de toma de decisiones durante el control de proyectos. De estas se registraron cuáles habían sido efectivas para los equipos de proyectos para determinar el porcentaje de medidas efectivas con respecto a los totales. Además se determinó el porcentaje de desviación en los cronogramas a partir del tiempo real empleado con respecto al tiempo pactado para el desarrollo de cada proyecto.

En la Tabla 3.14 se presenta el resumen estadístico de las variables analizadas. De este se puede plantear que luego de recibir el estímulo el grupo experimental, hubo un incremento del porcentaje de medidas efectivas y una disminución en cuanto al porcentaje de desviación en los cronogramas de los proyectos que conforman la muestra del grupo experimental con respecto a los del grupo de control.

Tabla 3.14: *Resumen estadístico de los datos para la Post-prueba.*

	% Medidas E.		%Desv. C.	
	G. Control	G. Exp	G. Control	G. Exp
Recuento	13	14	13	14
Promedio	74,146	95,293	21,795	7,589
Desv. estándar	8,425	2,987	6,089	2,903
Mínimo	52,9	89,5	9,3	2,8
Máximo	86,3	100,0	31,5	12,2

En la Tabla 3.15 se registran los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk para verificar la normalidad de los datos. El estadístico obtenido del análisis de las variables (porcentaje de medidas efectivas y porcentaje de desviación del cronograma) para cada muestra por separado, evidencian que el valor-P más pequeño de las pruebas realizadas es mayor ó igual a 0,05; por tanto en ninguno de los casos se debe rechazar la hipótesis de que los datos provienen de una distribución normal con un 95% de confianza.

Tabla 3.15: Resultados del estadístico *W* de Shapiro-Wilk para la post-prueba.

% Medidas E.				% Desv. C.			
G. Control		G. Exp		G. Control		G. Exp	
Estadíst.	Valor-P	Estadíst.	Valor-P	Estadíst.	Valor-P	Estadíst.	Valor-P
0,910	0,177	0,947	0,488	0,972	0,867	0,960	0,681

Teniendo en cuenta la normalidad de los datos, se aplicó la prueba estadística paramétrica *t-student*, con el objetivo de comparar dos muestras a partir de sus medias para verificar si los resultados son estadísticamente diferentes. Los resultados demostraron que:

- La comparación de las medias de la dimensión por ciento de medidas efectivas arrojó un valor-P menor a 0,05 y el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias se extiende desde -26,082 hasta -16,212. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0 se rechaza la hipótesis nula, por tanto existen diferencias significativas entre las medias para un nivel de confianza del 95 %.
- La comparación de las medias de la dimensión por ciento de desviación del cronograma arrojó un valor-P menor a 0,05 y el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias se extiende desde 10,4705 hasta 17,9417. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0 se rechaza la hipótesis nula, por lo que existen diferencias significativas entre las medias para un nivel de confianza del 95 %.
- Por tanto se puede asegurar que existen diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de control y el experimental.

De los resultados anteriores, se puede inferir que los proyectos que forman parte del grupo experimental fueron beneficiados con el sistema basado en casos y la base de conocimientos de proyectos terminados que utiliza el modelo propuesto. Estos alcanzaron un porcentaje mayor en cuanto a la efectividad de las medidas tomadas como parte de las actividades de control y una disminución sobre el porcentaje de desviación de los cronogramas con respecto al tiempo pactado para su desarrollo. Por tanto, puede plantearse que mejora la efectividad a partir de las mejoras percibidas en la eficiencia y la eficacia en los proyectos del grupo experimental.

3.9. Triangulación metodológica

Los resultados de la validación se compararon mediante una triangulación metodológica inter-métodos para identificar alguna posición contradictoria sobre la propuesta. Esta técnica permite cuantificar las variables utilizadas mediante los métodos cuantitativos y las dimensiones que surgen de las variables cualitativas [193, 194]. El objetivo definido para su aplicación es, contrastar los resultados obtenidos de evaluar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones del modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial. En la Tabla 3.16 se presenta un resumen del análisis realizado.

Tabla 3.16: *Resultados de la triangulación metodológica inter-métodos.*

Objetivo	M. Cualitativos	M. Cuantitativos	Conclusión
Contrastar los resultados obtenidos de evaluar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones del modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial	<p>Valoración de los expertos: Se obtuvo una valoración Alta a partir de los criterios emitidos por los expertos.</p> <p>Entrevista en profundidad: Se obtuvieron valoraciones satisfactorias sobre el impacto del modelo, se reflejaron varias potencialidades de la herramienta XEDRO GESPRO.</p> <p>Estudio de casos: Demostró la aplicabilidad del método de evaluación dinámica y la efectividad del operador de agregación seleccionado.</p>	<p>Técnica Iadov: Se obtuvo un alto grado de satisfacción de los usuarios potenciales, con un ISG de 0,79.</p> <p>Cuasiexperimentos: De la comparación realizada con otros métodos, se obtuvieron resultados positivos respecto al porcentaje de evaluaciones correctas y al tiempo para evaluar. Con la aplicación del sistema basado en casos, se percibieron mejoras en la eficiencia y la eficacia de los proyectos del grupo experimental.</p>	<p>No se detectaron contradicciones entre los resultados obtenidos. Se evidencia la capacidad del modelo propuesto para mejorar la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones en el control de proyectos.</p>

3.10. Análisis del impacto económico y social

Del análisis del documento sobre la *Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista*, para alcanzar los avances económicos y sociales deseados; se evidencia la necesidad de lograr un enfoque integral entre los diferentes sectores, la evolución de los resultados científicos en función del desarrollo y la soberanía tecnológica. En la Tabla 3.17 se muestra un listado de los SIG privativos que se encuentran mejor posicionados en el mercado mundial. También se presentan sus respectivos precios de implantación según el valor de las licencias de software que tienen establecidas, así como la compañía que lo comercializa. Nótese que las principales compañías son de origen estadounidense lo que implica una limitante para Cuba para acceder a sus licencias debido al bloqueo económico. Además, el costo mínimo de la licencia de estos productos está sobre los 5 400.00 USD y asciende hasta aproximadamente los 18 495.00 USD.

Tabla 3.17: Costo de licencias de los SIG por el período de un año.

Productos	País	Compañía	Costo (USD)
ArcGIS	EE.UU	ESRI	\$ 18 495.00
MapInfo Pro	EE.UU	MapInfo	\$ 12 940.00
GeoMedia Pro	EE.UU	Hexagon Geospatial	\$ 14 000.00
SuperMap	China	SuperMap Software Co.	\$ 7 632.00
Maptitude	EE.UU	Caliper Corporation	\$ 6 950.00
eSpatial	Irlanda	eSpatial Solutions	\$ 7 500.00
Avenza Maps	Canadá	Avenza Systems Inc	\$ 5 400.00
Cadcorp	Reino Unido	Cadcorp Company	\$ 6 500.00

Específicamente para el desarrollo de SIGESPRO y de su integración con la herramienta XEDRO GESPRO se emplearon un total de 45 días laborables. Para calcular el costo del esfuerzo total de desarrollo ED se utilizó la siguiente ecuación:

$$ED = (TD \cdot CD \cdot TH) + AFT \cdot TD \quad (3.4)$$

Siendo;

TD : Total de tiempo de desarrollo.

CD: Cantidad de desarrolladores.

TH: Tarifa horaria.

AFT: Depreciación de activos fijos tangibles.

Se tomó como tarifa horaria 15.00 CUP por programador (intervinieron tres especialistas) y se definió un total de ocho horas laborables por día. SIGESPRO se desarrolló en el Centro GEYSED de la UCI y este destina por concepto de AFT mensual un total de 100.00 CUP. Debido a que esta organización cuenta con 13 equipos de trabajo, cada equipo contribuye con 7.69 CUP mensuales al valor de este importe y cada hora de trabajo equivale a 0.04 CUP. El desglose del cálculo del *ED* puede observarse en la Tabla 3.18.

Tabla 3.18: *Costo del esfuerzo total de desarrollo.*

<i>TD</i>	<i>CD</i>	<i>TH</i>	<i>AFT · TD</i>	ED
$45 \cdot 8h = 360h$	3	15.00 CUP	14.40	16 214.40 CUP

Si se realiza la conversión del valor obtenido del cálculo del ED a CUC, se obtiene un equivalente de 648.58 USD (1.00 CUC = 1.00 USD = 25.00 CUP según el Banco Central de Cuba en el momento de la conversión). Comparándolo con el costo de la licencia de software de este tipo de sistemas más económico y el más alto para un año, implica un ahorro entre 918.02 y 17 846.42 USD. Se debe destacar que en este análisis no se incluye el costo de la cartografía, el cual puede variar en dependencia de su calidad y de los requerimientos solicitados por el cliente.

Además, los algoritmos propuestos en este trabajo fueron incorporados en la Plataforma SIG de la empresa uruguaya de telecomunicaciones ANTEL. Esto contribuyó a que la UCI percibiera un total de 12 000.00 USD por concepto de ingresos por servicios profesionales. Otro aspecto de interés, es la utilización de la propuesta en el programa de la maestría en Gestión de Proyectos Informáticos. A continuación se mencionan las asignaturas donde se imparten temas relacionados con el control de proyectos: Curso Básico de Gestión de Proyectos, Dirección Integrada de Proyectos, Gestión de los Recursos Humanos, Gestión de la Calidad y Herramientas para la Gestión de Proyectos. Por otra parte, las investigaciones derivadas del programa de formación permiten que SIGESPRO pueda

ser mejorado continuamente, lo cual contribuye a su establecimiento como un sistema competitivo entre los de su tipo.

3.11. Conclusiones del capítulo

1. De la valoración de los expertos, se pudo comprobar que la propuesta tiene una evaluación alta en cuanto a la pertinencia, la flexibilidad y a su aplicabilidad. Además, este cuenta con un alto grado de satisfacción por parte de los usuarios potenciales con un $ISG = 0,79$.
2. Los resultados del estudio de casos demostraron la capacidad del método de evaluación dinámica para obtener la evaluación histórica y la efectividad del operador de agregación empleado para el escenario de aplicación seleccionado.
3. La comparación de la propuesta con otros métodos que aplican técnicas similares demostró que esta es factible para ser utilizada como parte del proceso de control de proyectos.
4. La aplicación de los cuasiexperimentos permitió validar la efectividad y la capacidad del modelo para la toma de decisiones, pues se perciben mejoras de la eficiencia y la eficacia en los proyectos que utilizaron la propuesta.
5. La triangulación metodológica permitió contrastar los resultados obtenidos, no se identificaron elementos contradictorios con relación a los métodos empleados.
6. El desarrollo de SIGESPRO contribuye a los principios de soberanía tecnológica del país, implicando un ahorro económico que puede ascender hasta los 17 846.42 USD. Por otra parte, la incorporación de los algoritmos propuestos como parte de los servicios prestados a la empresa uruguaya ANTEL permitió a la UCI ingresar un total de 12 000.00 USD.

CONCLUSIONES

1. De la revisión de la literatura; se constató que los principales estándares para la gestión de proyectos no incorporan el análisis geo-referencial como complemento para la toma de decisiones.
2. En los escenarios de aplicación se mejoró la efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones durante el control de proyectos con la incorporación del modelo basado en el análisis geo-referencial que emplea técnicas de evaluación multicriterio y un sistema basado en casos.
3. El empleo de la evaluación dinámica permite realizar análisis de tendencias sobre las evaluaciones del proyecto y propicia que sea necesario utilizar menos recursos en cuanto al espacio de almacenamiento de la información.
4. La incorporación de los algoritmos propuestos en la Plataforma SIG de la empresa uruguaya Antel contribuyó a que la UCI ingresara un total de 12 000.00 USD. La implantación de SIGESPRO, respecto a las soluciones similares reportadas en el mercado, permite un ahorro entre 918.02 USD y 17 846.42 USD.
5. Los métodos utilizados para la validación permitieron percibir que existen criterios positivos respecto a la novedad, la pertinencia y la aplicabilidad de la propuesta. La triangulación metodológica arrojó elementos satisfactorios al contrastar los resultados obtenidos.

RECOMENDACIONES

Luego del análisis de los resultados así como de las conclusiones derivadas, para dar continuidad a la investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Extender el modelo para que sea capaz de procesar indicadores de naturaleza heterogénea (datos de entradas de tipo intervalares y lingüísticos) y desde diferentes fuentes de información, sobre la base de la utilización de técnicas que lo permitan.
2. Realizar un estudio para potenciar el uso de la base de conocimientos de proyectos terminados y el análisis geo-referencial para obtener pronósticos sobre la evaluación de una zona geográfica determinada.
3. Generalizar la propuesta a otros entornos del sistema empresarial cubano donde se gestionen proyectos de otra naturaleza haciendo uso de la Suite XEDRO GESPRO en su versión 13.05 o superior.

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA DEL AUTOR

Publicaciones en revistas

- Jiménez, G. E. and Zulueta, Y. “*A Dynamic Decision Making Method with Discrimination of Alternatives Using Associative Aggregation Operators*”, IEEE Latin America Transactions, Vol 14, Nro. 3, pp. 4310-4317, 2016.

Referenciada por: ISI-THOMSON REUTERS.

- Jiménez, G. E.; León, A.; Piñero, P. Y. and Romillo, A. “*SIGESPRO: Sistema Información Geográfica para controlar proyectos.*” Revista Cubana de Ciencias Informáticas, Vol. 10, Nro. 2, pp. 181-195, 2016.

Referenciada por: ScIELO, Latindex, DOAJ, DRJI, CiteFactor, CITMA.

- Jiménez, G. E. and Rojas, J. “*Meta-heuristic Coefficient for Indexing Geometric Objects in Hierarchical Spatial Data-Structures*” POLIBITS research journal on computer science and computer engineering, Nro. 56, ISSN: 1870-9044, July - December, 2017. **(ACEPTADO)**

Referenciada por: WoS (Scielo Collection), ScIELO, Redalyc, Latindex, DBLP.

- Jiménez, G. E. and Zulueta, Y. “*A linguistic multi-period decision making approach for dynamic green supplier selection*”, DYNA, Vol. 84, Nro. 202, pp. 199-206 ISSN: 2346-2183, 2017.

Referenciada por: SCOPUS, THOMSOM REUTERS, ScCIELO, Latindex, Redalyc, Dialnet, DOAJ, Pubindex.

- Jiménez, G. E.; Rodríguez, Z. and Arévalo, S. “*Experiencias en la evaluación del proceso de aseguramiento de la calidad en el departamento Geoinformática mediante la aplicación de indicadores.*”, Revista Cubana de Ciencias Informáticas, Vol. 6, Nro. 3, pp. 1-14, 2012.

Referenciada por: ScIELO, Latindex, DOAJ, DRJI, CiteFactor, CITMA.

- Jiménez, G. E.; Lugo, J. A. and Piñero, P. Y. “*Control de proyectos: hacia un modelo de análisis geo-referencial basado en softcomputing*”, Ciencias de la Información, Vol. X, Nro. X, ISSN: XXXX (**EN REVISIÓN**)

Referenciada por: ScIELO, Latindex, DOAJ, DRJI, CiteFactor, CITMA.

Memorias de Eventos

- Jiménez, G. E. and Rojas, J. (2016). Meta-heuristic Coefficient for Indexing Geometric Objects in Hierarchical Spatial Data-Structures. The Four International Conference on Mining Intelligence and Knowledge Exploration (MIKE 2016). Center for Computing Research (CIC), Ciudad México, México.
- Batista, A.; Castillo, G.; Ruiz, L.; Labrada, A.; Jiménez, G. E. (2016). Herramienta para el cálculo de rutas entre sitios vulnerables a fenómenos naturales. IX Congreso Internacional de Geomática de la XVI Convención y Feria Internacional Informática 2016. La Habana, Cuba. ISBN: 978-959-7213-02-4.
- Castillo, G.; Acevedo, L.; Luzua, G. and Jiménez, G. E. (2016). Algoritmo paralelo en memoria compartida para el cálculo de la pendiente del terreno usando OpenMP. III Conferencia Internacional en Ciencias Computacionales e Informáticas. XVI Convención y Feria Internacional Informática 2016. La Habana, Cuba.
- Jiménez, G. E.; León, A.; Piñero, P. Y. (2015). Sistema de Información Geográfica para controlar proyectos. XII Congreso Cubano de Informática y Geociencias (GEOINFO-2015) de la V Convención cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias ´2015. La Habana, Cuba, .
- Castillo, G.; Batista, A.; Ruiz, L.; Labrada, A. and Jiménez, G. E. (2015) Solución para el análisis de rutas sobre ubicaciones geográficas de interés para las Geociencias. XII Congreso Cubano de Informática y Geociencias (GEOINFO-2015) de la V Convención cubana de Ciencias de la Tierra, Geociencias ´2015. La Habana, Cuba.

- Jiménez, G. E.; Piñero, P. Y. and Lugo, J. A. (2014), Método de decisión multicriterio para el control de la ejecución de proyectos. I Taller Internacional de Gestión de Proyectos. UCIENCIA 2014, La Habana, Cuba.
- Jiménez, G. E.; Lugo, J. A.; Piñero, P. Y. (2013), Extensiones para la toma de decisiones basado en la representación geoespacial de los proyectos. III Taller Internacional Las TIC en la gestión de las organizaciones. Informática 2013, Cuba. ISBN: 978-959-7213-02-4
- Cruz, L.; Rodríguez, Y. and Jiménez, G. E. (2013), Sistema de información geográfica para dispositivos móviles sobre protocolo para aplicaciones inalámbricas. VIII Congreso Internacional de Geomática. Informática 2013, Cuba.
- Jiménez, Gerdys E. (2012) et al., Módulo de representación geoespacial de Proyectos e Indicadores para GESPRO 12.05. II Taller de Gestión de Proyectos, Conferencia Científica UCIENCIA 2012.
- Rodríguez, Y.; Rodríguez, R. and Jiménez, G. E. (2012), Sistema de información al viajero: Aplicaciones actuales. I Taller de Geoinformática, IV Conferencia Científica de la Universidad de las Ciencias Informáticas, UCIENCIA 2012, ISBN: 978-959-286-019-3.
- Jiménez, G. E. (2011) et al., Herramienta para la migración de base de datos de la ONRM. Memorias del Taller Temático de la Décima Semana Tecnológica de FORDES, ISSN: 2076-9792.
- Jiménez, Gerdys E. (2009), Sistema de Gestión de Datos geológicos. IV Peña Tecnológica, Universidad de las Ciencias Informáticas.

Otros

- Colaborador de Oro de la herramienta de gestión de proyectos XEDRO GESPRO (2012).
- Jiménez, G. E. (2011) et al., Portal Oficina Nacional de Recursos Minerales. Centro Nacional de Derecho de Autor (CENDA), Nro. De Registro: 2381-2011.

- Jiménez G. E. (2010), Soporte a sistemas instalados en los Centros de Diagnóstico Integral y Centros de Alta Tecnología. Estado Falcón, República Bolivariana de Venezuela, Convenio de colaboración MINSAP Cuba Venezuela.
- Jiménez, G. E. et al. (2009), Diseño e implementación de una base de datos centralizada para el Sistema de Gestión de Datos Geológicos. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica.
- Jiménez G. E. et al (2009), Sistema para estandarizar los nomencladores del Sistema de Gestión de Datos Geológicos. Oficina Nacional de Recursos Minerales, Ministerio de la Industria Básica.

Premios y Reconocimientos

- Jiménez G. E. et al (2016), Premio del Rector Colectivo más destacado en la Gestión de la Calidad (Centro GEYSED). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez, G. E. (2016) I Taller Universitario para la informatización de la actividad Geológica. Reconocimiento especial. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba.
- Premio LatinaTec en la categoría Soluciones de logística, FELTI 2015. Como parte del colectivo de autores de la Plataforma GeneSIG.
- Jiménez G. E. et al (2015), Premio del Rector Colectivo más destacado en el trabajo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Centro GEYSED). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Premio Destacado XVI Fórum de Ciencia y Técnica (2015). Aplicación del análisis geo-referencial para el control de proyectos. Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba.
- Reconocimiento por los resultados alcanzados en el año 2015 en la producción de software. (2015) Universidad de las Ciencias Informáticas, Cuba.

- Jiménez G. E. et al (2015), Premio del Rector Al resultado ya aplicado de mayor impacto económico (Plataforma Genesig v2.0). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Premio Relevante en el XVI Fórum Provincial de Ciencia y Técnica 2015 con el trabajo GeneSIG: Plataforma Soberana para el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2014), Premio del Rector Colectivo más destacado en el trabajo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Centro GEYSED). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2014), Premio del Rector Solución técnica o línea de componentes de mayor impacto en el desarrollo de soluciones reutilizables (Plataforma Genesig v2.0). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Fuentes, J.; Jiménez, G. E. (2013). Sistema para la georreferenciación y búsqueda de puntos de interés haciendo uso de las tecnologías integradas en dispositivos móviles. Premio Relevante. Fórum de Ciencia y Técnica Municipal. La Habana, Cuba.
- Jiménez G. E. et al (2013), Premio del Rector Colectivo más destacado en el trabajo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Centro GEYSED). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2013), Premio del Rector Departamento más destacado en el trabajo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Centro GEYSED). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2012), Premio del Rector Mejor Departamento Docente de la Especialidad (Dpto. Geoinformática). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2012), Premio del Rector Al resultado de mayor aporte tecnológico (Plataforma Genesig v1.5). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)

- Jiménez G. E. et al (2012), Premio del Rector Al grupo de investigación más destacado en el trabajo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Grupo de Procesamiento digital de señales y geoinformación). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2011), Premio del Rector Al mayor aporte científico, tecnológico e innovación de mayor trascendencia y originalidad (Plataforma Genesis v1.5). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Jiménez G. E. et al (2011), Premio del Rector Colectivo más destacado en el trabajo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Centro GEYSED). Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo)
- Obtuvo la Condición al Mérito Internacionalista por su labor en la República Bolivariana de Venezuela. (agosto de 2011)
- Jiménez G. E. (2009) et al., Sistema de Gestión de Datos geológicos: Rol diseñador de base de datos. VII Fórum de Ciencia y Técnica, Premio Destacad. Universidad de las Ciencias Informáticas. (Premio colectivo) o en el evento de base, Facultad 9.
- Jiménez G. E. (2009) et al., Sistema para estandarizar los nomencladores del Sistema de Gestión de Datos geológicos. VII Fórum de Ciencia y Técnica, Premio Destacado en el evento de base, Facultad 9.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. Lugo Garcia, A. Bermudez Pena, P. Y. Pinero Perez, and R. Bello Perez, “Project control and computational intelligence: Trends and challenges,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 320–335, 2017.
- [2] K. E. Papke-Shields and K. M. Boyer-Wright, “Strategic planning characteristics applied to project management,” *International Journal of Project Management*, vol. 35, no. 2, pp. 169–179, 2017.
- [3] S. Srivannaboon and S. Munkongsujarit, “Project management and project portfolio management in open innovation: Literature review,” in *Management of Engineering and Technology (PICMET), 2016 Portland International Conference on*. IEEE, 2016, pp. 2002–2007.
- [4] Y.-Y. Chih and O. Zwikael, “Project benefit management: A conceptual framework of target benefit formulation,” *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 2, pp. 352–362, 2015.
- [5] L. Wang, M. Kunc, and S.-j. Bai, “Realizing value from project implementation under uncertainty: An exploratory study using system dynamics,” *International Journal of Project Management*, vol. 35, no. 3, pp. 341–352, 2017.
- [6] A. Botchkarev and P. Finnigan, “Complexity in the context of information system project management,” *Org Proj Manag*, vol. 2, no. 1, pp. 15–34, 2015.
- [7] A. M. Posada, J. V. Pérez, M. A. Ampuero, and E. E. Rodríguez, “Solución de inteligencia de negocio para métricas de gestión de proyectos,” *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 9, pp. 85–97, 2015.

- [8] M. C. Caniëls and R. J. Bakens, “The effects of project management information systems on decision making in a multi project environment,” *International Journal of Project Management*, vol. 30, no. 2, pp. 162–175, 2012.
- [9] Y. Hadad, B. Keren, and Z. Laslo, “A decision-making support system module for project manager selection according to past performance,” *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 4, pp. 532–541, 2013.
- [10] M. Martinsuo, “Project portfolio management in practice and in context,” *International Journal of Project Management*, vol. 31, no. 6, pp. 794–803, 2013.
- [11] D. R. Anderson, D. J. Sweeney, T. A. Williams, J. D. Camm, and J. J. Cochran, *An introduction to management science: quantitative approaches to decision making*. Cengage learning, 2015.
- [12] H. Chernoff and L. E. Moses, *Elementary decision theory*. Courier Corporation, 2012.
- [13] R. d. Heredia, “Dirección integrada de proyecto,” Madrid, ES: Alianza Edit., Tech. Rep., 1985.
- [14] M. Padalkar and S. Gopinath, “Six decades of project management research: Thematic trends and future opportunities,” *International Journal of Project Management*, vol. 34, no. 7, pp. 1305–1321, 2016.
- [15] M. Vanhoucke, J. Coelho, and J. Batselier, “An overview of project data for integrated project management and control,” *The Journal of Modern Project Management*, vol. 3, no. 3, 2016.
- [16] A. Martens and M. Vanhoucke, “The integration of constrained resources into top-down project control,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 110, no. August, pp. 277–288, 2017.

- [17] I. Monahov, T. Reschenhofer, and F. Matthes, “Design and prototypical implementation of a language empowering business users to define key performance indicators for enterprise architecture management,” in *2013 17th IEEE International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops*. IEEE, 2013, pp. 337–346.
- [18] H. Kerzner, *Project management metrics, KPIs, and dashboards: a guide to measuring and monitoring project performance*. John Wiley & Sons, 2017.
- [19] M. B. Chrissis, M. Konrad, and S. Shrum, *CMMI for Development: Guidelines for Process Integration and Product Improvement*. Pearson Education, 2011.
- [20] K. H. Rose, “A guide to the project management body of knowledge (pmbok® guide) fifth edition,” *Project Management Journal*, vol. 44, no. 3, 2013.
- [21] C. Bentley, *The PRINCE2 Practitioner: From Practitioner to Professional*. Routledge, 2015.
- [22] J. Binder, L. I. Aillaud, and L. Schilli, “The project management cocktail model: An approach for balancing agile and iso 21500,” *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 119, pp. 182–191, 2014.
- [23] C. E. M. Serra and M. Kunc, “Benefits realisation management and its influence on project success and on the execution of business strategies,” *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 1, pp. 53–66, 2015.
- [24] I. Gilfoyle and P. Thorpe, *Geographic information management in local government*. CRC press, 2016.
- [25] R. Andreu, J. Ricart, and J. Valor, *Estrategia y sistema de información*. McGraw-Hill, 1991.
- [26] C. Lama More *et al.*, “Elementos conceptuales sobre el enfoque territorial. la gestión concertada de proyectos,” *Sinergia e Innovación*, vol. 1, no. 10, pp. 2306–6431, 2014.

- [27] C. de Pablos Heredero, J. J. L. H. Agius, S. M. R. Romero, and S. M. Salgado, *Organización y transformación de los sistemas de información en la empresa*. ESIC Editorial, 2012.
- [28] R. A. Rashid Mansoori, “Application of primavera and gis for effective project management,” *International Journal of Engineering Research*, vol. 5, no. Issue Special 1, 2016.
- [29] S. Fotheringham and P. Rogerson, *Spatial analysis and GIS*. CRC Press, 2013.
- [30] T. Delgado, G. González, G. Miranda, D. G. Navarro, and A. Graverán, “Context-aware spatial decision support systems (ca-sdss): Articulating decision support systems, business intelligence and recommender systems considering the geospatial component,” in *Fourth International Workshop on Knowledge Discovery, Knowledge Management and Decision Support*. Atlantis Press., 2013, pp. 978–90.
- [31] G. Konecny, *Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems*. CRC Press, 2014.
- [32] P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, and D. W. Rhind, *Geographic information science and systems*. John Wiley & Sons, 2015.
- [33] X. Lu, “A unified e-government information management platform based on web gis technology,” in *Computational Intelligence and Software Engineering, CiSE 2009. International Conference on*. IEEE, 2009, pp. 1–4.
- [34] L. Wang, Y. Wang, Y. Li, A. Qiu, and K. Tao, “Research on government gis construction and application technology based on cngi,” in *Web Information Systems and Mining (WISM), 2010 International Conference on*, vol. 2. IEEE, 2010, pp. 138–142.
- [35] K. Yang, L.-P. Sun, Y.-X. Huang, G.-J. Yang, F. Wu, D.-R. Hang, W. Li, J.-F. Zhang, Y.-S. Liang, and X.-N. Zhou, “A real-time platform for monitoring

- schistosomiasis transmission supported by google earth and a web-based geographical information system,” *Geospatial health*, vol. 6, no. 2, pp. 195–203, 2012.
- [36] GEYSED, “I taller de geoinformática,” in *UCIENCIA*, La Habana, Cuba, 2012.
- [37] NCGIA, “University consortium for geographic information science,” in *National Center for Geographic Information and Analysis*, N. C. for Geographic Information and Analysis, Eds., Santa Bárbara, EUA, 2014.
- [38] UCGIS, “University consortium for geographic information science,” in *University Consortium for Geographic Information Science*, Ithaca, NY, 2014.
- [39] H. M. Fernández Núñez, “Sig-esac: Sistema de información geográfica para la gestión de la estadística de salud en cuba,” *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 44, no. 3, pp. 1–15, 2006.
- [40] J. Santovenia Díaz, C. Tarragó Montalvo, and R. Cañedo Andalia, “Sistemas de información geográfica para la gestión de la información,” *ACIMED*, vol. 20, no. 5, pp. 72–75, 2009.
- [41] M. Cabrera Hernández, A. Delgado Ramos, D. Derivet Thaureaux, A. Acuña Sánchez, O. Barrera Palenzuela, R. C. Castilla Blanco, A. Ramos Roche, and E. Urbay Mora, “Catálogo para la generación de diagramas de componentes del sistema de información para la salud en cuba,” *Revista Cubana de Informática Médica*, vol. 5, no. 1, pp. 30–41, 2013.
- [42] L. Cuéllar Luna and T. Gutiérrez Soto, “Desarrollo de la geografía médica o de la salud en cuba,” *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, vol. 52, no. 3, pp. 388–401, 2014.
- [43] D. B. Stang, R. A. Handler, and T. Jones, “Magic quadrant for it project and portfolio management,” *Gartner RAS Core Research Note*, Gartner Research, 2016.

- [44] N. Andler, *Tools for project management, workshops and consulting: a must-have compendium of essential tools and techniques*. John Wiley & Sons, 2016.
- [45] D. Conchir, *Overview of the PMBOK Guide: Paving the Way for PMP Certification*. Springer Publishing Company, Incorporated, 2014.
- [46] M. B. Chrissis, M. Konrad, and S. Shrum, *CMMI guidelines for process integration and product improvement*. Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2003.
- [47] G. Marques, D. Gourc, and M. Lauras, “Multi-criteria performance analysis for decision making in project management,” *International Journal of Project Management*, vol. 29, no. 8, pp. 1057–1069, 2011.
- [48] E. Zavadskas, T. Vilutienė, Z. Turskis, and J. Šaparauskas, “Multi-criteria analysis of projects’ performance in construction,” *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 1, pp. 114–121, 2014.
- [49] T. G. Viglioni, J. A. O. Cunha, and H. P. Moura, “A performance evaluation model for project management office based on a multicriteria approach,” *Procedia Computer Science*, vol. 100, pp. 955–962, 2016.
- [50] J. Dorn, “Sharing project experience through case-based reasoning,” *Procedia Computer Science*, vol. 99, pp. 4–14, 2016.
- [51] Ö. Hazır, “A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control,” *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 4, pp. 808–815, 2015.
- [52] B. G. Buchanan, E. H. Shortliffe *et al.*, *Rule-based expert systems*. Addison-Wesley Reading, MA, 1984, vol. 3.
- [53] J. M. Zurada, *Introduction to artificial neural systems*. West St. Paul, 1992, vol. 8.

- [54] J. Jang, C. Sun, and E. Mizutani, “Fuzzy inference systems,” *Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence*, pp. 73–91, 1997.
- [55] A. Aamodt and E. Plaza, “Case-based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches,” *AI communications*, vol. 7, no. 1, pp. 39–59, 1994.
- [56] C. K. Riesbeck and R. C. Schank, *Inside case-based reasoning*. Psychology Press, 2013.
- [57] A. Y. Yurin, “Group decision-making methods for adapting solutions derived from case-based reasoning,” *Scientific and Technical Information Processing*, vol. 42, no. 5, pp. 375–381, 2015.
- [58] A. K. Goel and B. Diaz-Agudo, “What’s hot in case-based reasoning.” in *AAAI*, 2017, pp. 5067–5069.
- [59] F. Dweiri and M. Kablan, “Using fuzzy decision making for the evaluation of the project management internal efficiency,” *Decision Support Systems*, vol. 42, no. 2, pp. 712–726, 2006.
- [60] C.-S. Lee, M.-H. Wang, J.-J. Chen, and C.-Y. Hsu, “Ontology-based intelligent decision support agent for cmmi project monitoring and control,” in *NAFIPS 2006-2006 Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society*. IEEE, 2006, pp. 627–632.
- [61] A. Certa, M. Enea, and A. Giallanza, “A synthetic measure for the assessment of the project performance,” in *Business performance measurement and management*. Springer, 2010, pp. 167–180.

- [62] H. Gao, “A fuzzy-anp approach to project management performance evaluation indices system,” in *Logistics Systems and Intelligent Management, 2010 International Conference on*, vol. 1. IEEE, 2010, pp. 273–277.
- [63] K. M. Mewada, A. Sinhal, and B. Verma, “Adaptive neuro-fuzzy inference system (anfis) based software evaluation,” *IJCSI International Journal of Computer Science*, vol. 10, no. 1, pp. 244–250, 2013.
- [64] Y. Liu, D. Zheng, and E. Wang, “Research on evaluation of project management maturity model based on bp neural network,” *Advances in Information Sciences and Service Sciences*, vol. 5, no. 2, p. 693, 2013.
- [65] A. Govindarajan, “A novel framework for evaluating the software project management efficiency—an artificial intelligence approach,” *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 12, no. 9, pp. 7054–7058, 2014.
- [66] A. Bermudez Peña, J. A. Lugo García, P. Pérez, and P. Yobanis, “An adaptive-network-based fuzzy inference system for project evaluation,” *Ingeniería y Universidad*, vol. 19, no. 2, pp. 299–313, 2015.
- [67] J. A. L. García, “Modelo para el control de la ejecución de proyectos basado en soft computing,” Ph.D. dissertation, Universidad de las Ciencias Informáticas, La Habana, Cuba, 2015.
- [68] A. Peralta and F. P. Romero, “Toma de decisiones a partir de conocimiento extraído tras el análisis de comportamientos previos. aplicación práctica para la dirección de proyectos de desarrollo de software,” *Revista CINTEX*, vol. 20, no. 2, 2015.
- [69] F. Acebes, J. Pajares, J. M. Galán, and A. López-Paredes, “A project monitoring and control system using evm and monte carlo simulation,” in *Project Management and Engineering Research, 2014*. Springer, 2016, pp. 31–40.

- [70] C. R. R. Rodríguez, M. P. Abreu, G. F. C. Aguilar, and P. Y. P. Pérez, “Sistema clasificador borroso basado en algoritmos genéticos para evaluar el estado de ejecución de proyectos,” *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 11, no. 3, 2017.
- [71] S. Fotheringham and P. Rogerson, *Spatial analysis and GIS*. CRC Press, 2013.
- [72] L. Anselin, “Local indicators of spatial association—lisa,” *Geographical analysis*, vol. 27, no. 2, pp. 93–115, 1995.
- [73] T. C. Bailey and A. C. Gatrell, *Interactive spatial data analysis*. Longman Scientific & Technical Essex, 1995, vol. 413.
- [74] V. Olaya, “Sistemas de información geográfica,” *Cuadernos Internacionales de Tecnología para el Desarrollo Humano*, no. 8, 2009.
- [75] H. Chernoff, *Elementary decision theory*. Dover Publications, 1987.
- [76] T. Hens and M. O. Rieger, “Decision theory,” in *Financial Economics*. Springer, 2016, pp. 15–89.
- [77] Z. Xu, *Uncertain multi-attribute decision making: Methods and applications*. Springer, 2015.
- [78] E. Triantaphyllou, *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*, ser. Applied Optimization. Kluwer Academic, 2000, vol. 44.
- [79] R. R. Yager and L. A. Zadeh, *An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems*. Springer Science & Business Media, 2012, vol. 165.
- [80] D. Dubois and H. Prade, “On the use of aggregation operations in information fusion processes,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 142, no. 1, pp. 143–161, 2004.
- [81] Z. Pawlak, *Rough sets: Theoretical aspects of reasoning about data*. Springer Science & Business Media, 2012, vol. 9.

- [82] R. Bello and J. L. Verdegay, “Rough sets in the soft computing environment,” *Information Sciences*, vol. 212, pp. 1–14, 2012.
- [83] —, “Knowledge engineering for rough sets based decision-making models,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 29, no. 9, pp. 823–835, 2014.
- [84] Z. Xu, “Intuitionistic preference relations and their application in group decision making,” *Information Science*, vol. 177, no. 11, pp. 2363–2379, Jun. 2007.
- [85] N. Çağman and S. Karataş, “Intuitionistic fuzzy soft set theory and its decision making,” *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 24, no. 4, pp. 829–836, 2013.
- [86] M. Velasquez and P. T. Hester, “An analysis of multi-criteria decision making methods,” *International Journal of Operations Research*, vol. 10, no. 2, pp. 56–66, 2013.
- [87] W. Pedrycz, P. Ekel, and R. Parreiras, *Fuzzy multicriteria decision-making: models, methods and applications*. John Wiley & Sons, 2011.
- [88] A. Ishizaka and P. Nemery, *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*. John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [89] E. Triantaphyllou, *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 44.
- [90] P.-L. Yu, *Multiple-criteria decision making: concepts, techniques, and extensions*. Springer Science & Business Media, 2013, vol. 30.
- [91] C. Kahraman, S. C. Onar, and B. Oztaysi, “Fuzzy multicriteria decision-making: a literature review,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 8, no. 4, pp. 637–666, 2015.

- [92] X. Chen, H. Zhang, and Y. Dong, “The fusion process with heterogeneous preference structures in group decision making: a survey,” *Information Fusion*, vol. 24, pp. 72–83, 2015.
- [93] M. Espinilla, R. de Andrés, F. Martínez, and L. Martínez, “A 360-degree performance appraisal model dealing with heterogeneous information and dependent criteria,” *Information Sciences*, vol. 222, pp. 459–471, 2013.
- [94] I. Palomares, R. Rodríguez, and L. Martínez, “An attitude-driven web consensus support system for heterogeneous group decision making,” *Expert Systems with Applications*, vol. 40, no. 1, pp. 139–149, 2013.
- [95] F. Herrera, L. Martínez, and P. Sánchez, “Managing non-homogeneous information in group decision making,” *European Journal of Operational Research*, vol. 166, pp. 115–132, 2005.
- [96] F. Mata, J. Martínez, and R. Rodríguez, “A web-based consensus support system dealing with heterogeneous information,” in *Consensual Processes*, ser. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Springer, 2011, pp. 357–381.
- [97] D. Li, Z. Huang, and G. Chen, “A systematic approach to heterogeneous multiattribute group decision making,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 59, no. 4, pp. 561–572, 2010.
- [98] L. Martínez, J. Liu, D. Ruan, and J. Yang, “Dealing with heterogeneous information in engineering evaluation processes,” *Information Sciences*, vol. 177, no. 7, pp. 1533–1542, 2007.
- [99] E. Herrera-Viedma, S. Alonso, F. Chiclana, and F. Herrera, “A consensus model for group decision making with incomplete fuzzy preference relations,” *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, vol. 15, no. 5, pp. 863–877, 2007.

- [100] G. Campanella and R. Ribeiro, “A framework for dynamic multiple-criteria decision making,” *Decision Support Systems*, vol. 52, no. 1, pp. 52–60, 2011.
- [101] Z. Xu, “On multi-period multi-attribute decision making,” *Knowledge-Based Systems*, vol. 21, no. 2, pp. 164–171, 2008.
- [102] Q. Zhu, H. Li, and M. Yu, “Dynamic multi-attribute decision making based on advantage retention degree,” *Journal of Information and Computational Science*, vol. 10, no. 04, pp. 1105–1119, 2013.
- [103] G. Campanella, A. Pereira, R. Ribeiro, and M. Varela, “Collaborative dynamic decision making: A case study from B2B supplier selection,” in *Decision Support Systems—Collaborative Models and Approaches in Real Environments*, ser. Lecture Notes in Business Information Processing. Springer Berlin Heidelberg, 2012, vol. 121, pp. 88–102.
- [104] G. E. Jiménez Moya and Z. Zulueta Véliz, “A 2-tuple linguistic multi-period decision making approach for dynamic green supplier selection,” *DYNA*, vol. 84, no. 202, pp. 199–206, 2017.
- [105] R. Ribeiro, T. Pais, and L. Simoes, “Benefits of full-reinforcement operators for spacecraft target landing,” in *Preferences and Decisions*, ser. Studies in Fuzziness and Soft Computing, S. Greco, R. Marques, M. Squillante, R. Yager, and J. Kacprzyk, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2010, vol. 257, pp. 353–367.
- [106] Y. Lin, P. Lee, and H. Ting, “Dynamic multi-attribute decision making model with grey number evaluations,” *Expert Systems with Applications*, vol. 35, pp. 1638–1644, 2008.
- [107] T. Saaty, *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw–Hill, 1980.
- [108] E. Weiss, “Using the analytic hierarchy process in a dynamic environment,” *Mathematical Modelling*, vol. 9, no. 3–5, pp. 211 – 216, 1987.

- [109] T. Saaty, “Time dependent decision-making; dynamic priorities in the AHP/ANP: Generalizing from points to functions and from real to complex variables,” *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 46, no. 7–8, pp. 860–891, 2007.
- [110] F. Balderas, E. Fernandez, C. Gomez, L. Cruz-Reyes *et al.*, “Topsis-grey method applied to project portfolio problem,” in *Nature-Inspired Design of Hybrid Intelligent Systems*. Springer, 2017, pp. 767–774.
- [111] G. Büyüközkan and S. Güleriyüz, “Multi criteria group decision making approach for smart phone selection using intuitionistic fuzzy topsis,” *International Journal of Computational Intelligence Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 709–725, 2016.
- [112] X. Zhang and Z. Xu, “Extension of topsis to multiple criteria decision making with pythagorean fuzzy sets,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 29, no. 12, pp. 1061–1078, 2014.
- [113] Z. Yue, “Topsis-based group decision-making methodology in intuitionistic fuzzy setting,” *Information Sciences*, vol. 277, pp. 141–153, 2014.
- [114] J. Cui, S. Liu, Y. Dang, N. Xie, and B. Zeng, “A grey multi-stage dynamic multiple attribute decision making method,” in *2011 IEEE International Conference on Grey Systems and Intelligent Services (GSIS)*, 2011, pp. 548–550.
- [115] D. Teng, “Topsis method for dynamic evaluation of hi-tech enterprise’s strategic performance with intuitionistic fuzzy information,” *Advances in information Sciences and Service Sciences (AISS)*, vol. 3, no. 11, pp. 443–449, 2011.
- [116] T. Calvo, G. Mayor, and R. Mesiar, *Aggregation operators: new trends and applications*. Physica, 2012, vol. 97.
- [117] A. Emrouznejad and M. Marra, “Ordered weighted averaging operators 1988–2014: A citation-based literature survey,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 29, no. 11, pp. 994–1014, 2014.

- [118] D. Dubois, H. Prade, and A. Rico, “Organizing families of aggregation operators into a cube of opposition,” in *Granular, Soft and Fuzzy Approaches for Intelligent Systems*. Springer, 2017, pp. 27–45.
- [119] M. Grabisch, “Fuzzy integral as a flexible and interpretable tool of aggregation,” in *Aggregation and Fusion of Imperfect Information*, ser. Studies in Fuzziness and Soft Computing, B. Bouchon-Meunier, Ed. Physica-Verlag HD, 1998, vol. 12, pp. 51–72.
- [120] G. Beliakov, A. Pradera, and T. Calvo, *Aggregation Functions: A Guide for Practitioners*, 1st ed. Springer Publishing Company, Incorporated, 2008.
- [121] E. Klement, R. Mesiar, and E. Pap, *Triangular Norms*, ser. Trends in logic, Studia logica library. Springer, 2000.
- [122] S. Saminger-Platz, R. Mesiar, and D. Dubois, “Aggregation operators and commuting,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 15, no. 6, pp. 1032–1045, 2007.
- [123] W. Sander, “Associative aggregation operators,” in *Aggregation Operators*, ser. Studies in Fuzziness and Soft Computing, T. Calvo, G. Mayor, and R. Mesiar, Eds. Physica-Verlag HD, 2002, vol. 97, pp. 124–158.
- [124] R. Yager, “On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 18, no. 1, pp. 183–190, 1988.
- [125] M. O’Hagan, “Aggregating template or rule antecedents in real-time expert systems with fuzzy set logic,” in *Signals, Systems and Computers, 1988. Twenty-Second Asilomar Conference on*, vol. 2. IEEE, 1988, pp. 681–689.
- [126] R. R. Yager, “Families of owa operators,” *Fuzzy sets and systems*, vol. 59, no. 2, pp. 125–148, 1993.

- [127] V. Torra and Y. Narukawa, *Modeling decisions: information fusion and aggregation operators*. Springer Science & Business Media, 2007.
- [128] J. M. Merigó, “A unified model between the weighted average and the induced owa operator,” *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 9, pp. 11 560–11 572, 2011.
- [129] J. Merigó, “New extensions to the owa operators and its application in decision making,” *Department of Business Administration, University of Barcelona*, 2008.
- [130] J. D. Fernández, “Modelado de los procesos de toma de decisión en entornos sociales mediante operadores de agregación owa,” Ph.D. dissertation, Tesis en opción al grado de doctor en ciencias, Universidad de Málaga, 2008.
- [131] R. Yager and A. Rybalov, “Uninorm aggregation operators,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 80, no. 1, pp. 111–120, 1996.
- [132] T. Calvo, B. D. Baets, and J. Fodor, “The functional equations of Frank and Alsina for uninorms and nullnorms,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 120, no. 3, pp. 385–394, 2001.
- [133] J. Fodor, R. Yager, and A. Rybalov, “Structure of uninorms,” *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 05, no. 04, pp. 411–427, 1997.
- [134] R. Yager, “Defending against strategic manipulation in uninorm-based multi-agent decision making,” *European Journal of Operational Research*, vol. 141, no. 1, pp. 217–232, 2002.
- [135] R. Yager and A. Rybalov, “Full reinforcement operators in aggregation techniques,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, vol. 28, no. 6, pp. 757–769, 1998.

- [136] H. Koontz, H. K. Weihrich, H. Koontz, M. W. Cannice, H. W. HeinzHarold Koontz, H. Koontz, C. K. O'DONNEL, O. Cyril, H. Koontz, H. Koontz *et al.*, *Elementos de administración. Enfoque internacional*. McGraw Hill,, 2002.
- [137] J. A. Stoner, R. E. Freeman, P. M. Sacristan, and D. R. Gilbert, *Administración*. Prentice Hall, 1996, no. 658 658 S7A3 1996 STO 1996.
- [138] J. R. Valencia, *Administración de pequeñas y medianas empresas*. Cengage Learning Editores, 2010.
- [139] L. J. B. Encinosa, *Análisis y Diseño de Sistemas de Información (ADSI)*. Editorial Universitaria, 2011.
- [140] C. Díaz, *Dirección por valores*. Editorial Ciencia y Técnica., 2010.
- [141] CITMA, “Resolucion no. 44 /2012,” *Gaceta Oficial de Cuba*, 2012.
- [142] C. Bentley, *Prince2: a practical handbook*. Routledge, 2010.
- [143] Z. Lianying, H. Jing, and Z. Xinxing, “The project management maturity model and application based on prince2,” *Procedia Engineering*, vol. 29, pp. 3691–3697, 2012.
- [144] S. Saad, I. Abdullah, O. Asma, K. Muhammad Saad, and A. Abdul Qadir, “Prince2 methodology: An innovative way of project management,” in *Proceedings of 3rd International Conference on Business Management (ICoBM 2013)*, Lahore, Pakistan, 2013, pp. 1–22.
- [145] I. ISO, “10006: 2003: Quality management systems-guidelines for quality management in projects,” *Ontario: International Organization for Standardization (ISO)*, 2003.
- [146] K. Spaho, “Business project management based on iso 10006 standard,” *Tehnički glasnik*, vol. 8, no. 1, pp. 34–39, 2014.

- [147] A. P. Fernández, M. O. Mateo, J. M. P. Núñez, D. R. García, and A. A. REINA, “Análisis crítico del estándar internacional iso 21500: 2012, de guía en la dirección de proyectos,” *Dyna*, vol. 88, no. 4, pp. 400–404, 2013.
- [148] P. Y. Piñero, S. Torres, M. Izquierdo, and R. Delgado, “Gespro. paquete para la gestión de proyectos,” *Nueva Empresa*, vol. 9, no. 1, pp. 45–53, 2013.
- [149] R. Delgado Victore, “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,” MPPCI-Venezuela, Tech. Rep., 2011.
- [150] I. Pérez and P. Y. Piñero, “Repositorio de bases de datos para investigaciones en gestión de proyectos,” in *Conferencia Científica Uciencia 2016, II Taller Internacional de Gestión de Proyectos, Panel Aplicaciones de la Inteligencia Artificial a la Gestión de Proyectos*, 2016.
- [151] I. Pérez, “Propuesta de metodología para el diseño e implantación de repositorios de activos de software reutilizables.” Laboratorio de investigaciones en Gestión de Proyectos, Universidad de las Ciencias Informáticas, Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos, 2012.
- [152] G. E. Jiménez Moya, Z. Rodríguez Luis, and S. Arévalo Osorio, “Experiencias en la evaluación del proceso aseguramiento de la calidad en el departamento geoinformática mediante la aplicación de indicadores,” *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 6, no. 3, 2012.
- [153] L. L. Willems and M. Vanhoucke, “Classification of articles and journals on project control and earned value management,” *International Journal of Project Management*, vol. 33, no. 7, pp. 1610–1634, 2015.
- [154] M. M. Richter and R. O. Weber, “Case-based reasoning,” *A Textbook*, vol. 546, 2013.

- [155] J. Kolodner, *Case-based reasoning*. Morgan Kaufmann, 2014.
- [156] A. Martin, S. Emmenegger, K. Hinkelmann, and B. Thönssen, “A viewpoint-based case-based reasoning approach utilizing an enterprise architecture ontology for experience management,” *Enterprise Information Systems*, vol. 11, no. 4, pp. 551–575, 2017.
- [157] I. Gutiérrez, “Un modelo para la toma de decisiones usando razonamiento basado en casos en condiciones de incertidumbre,” Ph.D. dissertation, Universidad Central de las Villas, Santa Clara, 2003.
- [158] M. D. Delgado, “Un modelo para la gestión de revisiones en proyectos de software utilizando razonamiento basado en casos,” Ph.D. dissertation, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría, La Habana, 2006.
- [159] T. Menzies, A. Brady, J. Keung, J. Hihn, S. Williams, O. El-Rawas, P. Green, and B. Boehm, “Learning project management decisions: a case study with case-based reasoning versus data farming,” *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. 39, no. 12, pp. 1698–1713, 2013.
- [160] M. Kowalski, H. Klüpfel, S. Zelewski, D. Bergenrodt, and A. Saur, “Integration of case-based and ontology-based reasoning for the intelligent reuse of project-related knowledge,” in *Efficiency and Logistics*. Springer, 2013, pp. 289–299.
- [161] S. Zelewski, M. Kowalski, and D. Bergenrodt, “Intelligent - knowledge reuse for complex logistics projects: An application of ontology-driven and case-based reasoning,” *Journal of Control Science and Engineering*, vol. 1, pp. 23–37, 2013.
- [162] S. Kim, “Hybrid forecasting system based on case-based reasoning and analytic hierarchy process for cost estimation,” *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 19, no. 1, pp. 86–96, 2013.

- [163] W. He, “A framework of combining case-based reasoning with a work breakdown structure for estimating the cost of online course production projects,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 45, no. 4, pp. 595–605, 2014.
- [164] T. Kocsis, S. Negny, P. Floquet, X. Meyer, and E. Rév, “Case-based reasoning system for mathematical modelling options and resolution methods for production scheduling problems: Case representation, acquisition and retrieval,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 77, pp. 46–64, 2014.
- [165] K. Zima, “The case-based reasoning model of cost estimation at the preliminary stage of a construction project,” *Procedia Engineering*, vol. 122, pp. 57–64, 2015.
- [166] P. Goodall, I. Graham, J. Harding, P. Conway, S. Schleyer, and A. West, “Cost estimation for remanufacture with limited and uncertain information using case based reasoning,” *Journal of Remanufacturing*, vol. 5, no. 1, p. 1, 2015.
- [167] A. Yan and D. Wang, “Trustworthiness evaluation and retrieval-based revision method for case-based reasoning classifiers,” *Expert Systems with Applications*, vol. 42, no. 21, pp. 8006–8013, 2015.
- [168] G. E. Jiménez Moya and J. Delgado, “Meta-heuristic coefficient for indexing geometric objects in hierarchical spatial data-structures,” *POLIBITS Research journal on computer science and computer engineering*, vol. July-December, no. 56, 2017.
- [169] Y. Z. Véliz, J. M. Moreno, R. B. Pérez, and L. Martínez, “A discrete time variable index for supporting dynamic multi-criteria decision making,” *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 1–22, 2014.

- [170] G. Jiménez and Y. Z. Veliz, “A dynamic decision making method with discrimination of alternatives using associative aggregation operators,” *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 10, pp. 4310–4317, 2016.
- [171] D. Dubois and H. Prade, “An introduction to bipolar representations of information and preference,” *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 23, no. 8, pp. 866–877, 2008.
- [172] A. K. Tsadiras and K. G. Margaritis, “The mycin certainty factor handling function as uninorm operator and its use as a threshold function in artificial neurons,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 93, no. 3, pp. 263–274, 1998.
- [173] G. Jiménez, J. A. Lugo Garcia, and P. Y. Piñero, “Extensiones para la toma de decisiones basado en la representación geoespacial de los proyectos.” in *III Taller Internacional Las TIC en la gestión de las organizaciones.*, Universidad de las Ciencias Informáticas. Informática 2013, 2013.
- [174] R. Yager and A. Rybalov, “A note on the incompatibility of openness and associativity,” *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 89, no. 1, pp. 125–127, 1997.
- [175] D. L. Applegate, R. E. Bixby, V. Chvatal, and W. J. Cook, *The traveling salesman problem: a computational study*. Princeton university press, 2011.
- [176] W. Cook, *In pursuit of the traveling salesman: mathematics at the limits of computation*. Princeton University Press, 2012.
- [177] D. Gavalas, C. Konstantopoulos, K. Mastakas, and G. Pantziou, “A survey on algorithmic approaches for solving tourist trip design problems,” *Journal of Heuristics*, vol. 20, no. 3, pp. 291–328, 2014.
- [178] E. W. Dijkstra, “A note on two problems in connexion with graphs,” *Numerische mathematik*, vol. 1, no. 1, pp. 269–271, 1959.

- [179] H. Bast, D. Delling, A. Goldberg, M. Müller-Hannemann, T. Pajor, P. Sanders, D. Wagner, and R. F. Werneck, “Route planning in transportation networks,” in *Algorithm Engineering*. Springer, 2016, pp. 19–80.
- [180] J. Ruiz, A. Guzmán, and J. Martínez, “Enfoque lógico-combinatorio al reconocimiento de patrones, selección de variables y clasificación supervisada,” 1999.
- [181] Y. Filiberto Cabrera, “Métodos de aprendizaje para dominios con datos mezclados basados en la teoría de los conjuntos aproximados extendida,” Ph.D. dissertation, Departamento de Ciencias de la Computación, Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2011.
- [182] J. Jansson, R. Rajaby, C. Shen, and W.-K. Sung, “Algorithms for the majority rule (+) consensus tree and the frequency difference consensus tree,” *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 2016.
- [183] B. López, “Case-based reasoning: a concise introduction,” *Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Learning*, vol. 7, no. 1, pp. 1–103, 2013.
- [184] G. E. Jiménez Moya, A. León Companioni, P. Y. Piñero Pérez, and A. Romillo Tarke, “Sigepro: Sistemas de información geográfica para controlar proyectos,” *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, vol. 10, no. 2, pp. 181–195, 2016.
- [185] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, “A design science research methodology for information systems research,” *Journal of management information systems*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007.
- [186] A. R. Hevner, “A three cycle view of design science research,” *Scandinavian journal of information systems*, vol. 19, no. 2, p. 4, 2007.
- [187] S. Gregor and A. R. Hevner, “Positioning and presenting design science research for maximum impact.” *MIS quarterly*, vol. 37, no. 2, pp. 337–355, 2013.

- [188] L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and control*, vol. 8, no. 3, pp. 338–353, 1965.
- [189] R. E. Giachetti and R. E. Young, “A parametric representation of fuzzy numbers and their arithmetic operators,” *Fuzzy sets and systems*, vol. 91, no. 2, pp. 185–202, 1997.
- [190] L. J. Cronbach, “Coefficient alpha and the internal structure of tests,” *psychometrika*, vol. 16, no. 3, pp. 297–334, 1951.
- [191] M. L. Tarrés, F. V. Peón, R. S. Serrano, R. R. R. García, M. L. R. Wiesner, G. Margel, V. C. B. León, H. G. Kröll, M. L. V. Ortiz, J. P. Zepeda *et al.*, *Observar, escuchar y comprender sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. El Colegio de México/FLACSO Mexico, 2014.
- [192] P. E. V. Pérez, “Apuntes sobre la investigación cualitativa,” *DIVULGARE Boletín Científico de la Escuela Superior de Actopan*, vol. 3, no. 6, 2016.
- [193] C. Marshall and G. B. Rossman, *Designing qualitative research*. Sage publications, 2014.
- [194] A. Hussein, “The use of triangulation in social sciences research: Can qualitative and quantitative methods be combined?” *Journal of Comparative Social Work*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [195] P. Y. Piñero, “Un modelo para el aprendizaje y la clasificación automática basado en técnicas de softcomputing,” Ph.D. dissertation, Centro de Estudios de Informática, Universidad Central de Las Villas, 2005.

SIGLARIO

- GP: Gestión de proyectos.
- DIP: Dirección Integrada de Proyectos.
- Desoft: Empresa de Aplicaciones Informáticas, Desoft S.A.
- Xetid: Empresa de Tecnologías de la Información para la Defensa.
- ZETI: Empresa de Servicios Técnicos Industriales para AZCUBA.
- Softel: Empresa de soluciones informáticas para la Salud.
- UCI: Universidad de las Ciencias Informáticas.
- ISPJAE: Instituto Superior Politécnico Julio Antonio Mella.
- SIG: Sistema de Información Geográfica.
- PMI: Instituto de Administración de Proyectos (del inglés, *Project Managament Institute*).
- SEI: Instituto de Ingeniería de Software (del inglés, *Software Engineering Institute*).
- IA: Inteligencia Artificial.
- SBR: Sistemas basados en reglas.
- RNA: Redes neuronales artificiales.
- SIB: Sistemas de inferencia borroso.
- SBC: Sistemas basado en casos.
- CMMI: Modelo de capacidad y madurez integrado, del inglés *Capability Maturity Model Integration*.
- PRINCE2: Proyectos en entornos controlados, del inglés *Projects in Controlled Environments*.
- PMC: Monitorización y control del proyecto, del inglés *Project Management Control*.

- CS: Controlar una fase, del inglés *Controlling a Stage*.
- PMBOK: Guía de los fundamentos para la Dirección de Proyectos, del inglés *Project Management Body of Knowledge*.
- IE: Índice de la Ejecución.
- IRE: Índice de Rendimiento de la Ejecución.
- IRP: Índice de Rendimiento de la Planificación.
- IRC: Índice de Rendimiento de los costos.
- ICD: Índice de Calidad del Dato.
- IRL: Índice de Rendimiento de la Logística.
- IRRH: Índice de Rendimiento de los Recursos Humanos.
- IREF: Índice de Rendimiento de la Eficacia.
- TDMC: Toma de Decisión Multi-Criterio.
- TDD: Toma de Decisión Dinámico.
- TDDMC: Toma de decisiones Dinámica Multi-Criterio.
- AHP: Proceso de Análisis Herárquico.
- TOPSIS: Técnica para ordeñar Preferencias por su Similitud a la Solución Ideal, del inglés *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*.
- FIMICA: Agregación con Identidad Fija, Monotonía, Identidad y Conmutatividad.
- SOAP: del inglés, *Simple Object Access Protocol*.
- HTTP: del inglés, *Hypertext Transfer Protocol*.
- NBT: Números borrosos triangulares.
- GEYSED: Centro Geoinformática y Señales Digitales.
- ISG: Índice de Satisfacción Grupal.
- AFT: Activos fijos tangibles.

ANEXOS

A. Entrevista realizada a gestores de proyectos

Estimado(a): La siguiente entrevista tiene como objetivo conocer sobre los procesos de control de proyectos en instituciones cubanas que tienen como parte de su objeto social el desarrollo de proyectos. Antes de comenzar, le pedimos que precise los siguientes datos: Nombre y apellidos, Organización donde labora, Rol que desempeña, Categoría científica si posee y Años de experiencia.

Desarrollo

Por favor, responda las siguientes preguntas, agradeciéndole de antemano su colaboración.

1. ¿Su organización ejecuta simultáneamente diferentes proyectos?
2. En caso de que la respuesta a la pregunta anterior sea afirmativa responda, ¿los proyectos que se ejecutan simultáneamente utilizan recursos humanos y logísticos compartidos?
3. ¿Sus equipos de proyectos están ubicados geográficamente en un mismo lugar?
4. ¿Los proyectos que se desarrollan en su organización están destinados a diferentes entidades? De ser posible, mencione algunos ejemplos.
5. ¿Para la toma de decisiones durante el control de los proyectos de su organización utiliza algún método, técnica o mecanismo que le permita conocer el estado de sus proyectos teniendo en cuenta la región geográfica donde se desarrolla?
6. ¿Emplea ud. alguna herramienta informática que le ayude a la gestión de los proyectos de su organización? En caso de ser afirmativa su respuesta, por favor especifique si dicha herramienta es libre o propietaria.

B. Operacionalización de las variables

Tabla B.1: Operacionalización de variables.

V. Independiente	Dimensión	Indicadores	Índice
Modelo para el análisis geo-referencial en el control de proyectos	Calidad del Modelo	Comprensión, flexibilidad, fiabilidad, aplicabilidad, generalización	Muy Alta
			Alta
	Media		
	Baja		
	Muy Baja		
	Grado de satisfacción	Satisfacción	
		Contradictorio	
Insatisfacción			
V. Dependientes	Dimensión	Indicadores	Índice
Capacidad de ayuda a la toma de decisiones en la gestión de proyectos	Usabilidad	Representa la incertidumbre en las tematizaciones	Alto
			Medio
			Bajo
	Usabilidad	Integralidad de las áreas de conocimiento de la GP en la evaluación	Alta
			Media
			Baja
		Tiempo para evaluar una zona geográfica	No se conoce
			Más de 8 horas
			1 a 8 horas
			30 a 60 segundos
Efectividad	Eficiencia	Tiempo pactado	en horas (h)
		Tiempo de desarrollo	en horas (h)
		Tiempo para evaluar	en segundos (s)
		% Desv. cronograma	Porcentual
	Eficacia	Cantidad de RF	Cantidad (U)
		Cant. medidas	Cantidad (U)
		Cant. M. Efectivas	Cantidad (U)
		% M. Efectivas	Porcentual
% Evaluaciones correctas	Porcentual		

C. Conjunto de términos lingüísticos

Para facilitar la comprensión de los indicadores así como de las tematizaciones construidas se definió un conjunto de términos lingüísticos [67, 195]. Para la representación y construcción de las funciones de pertenencia se utilizaron funciones triangulares y trapezoidales tal y como se muestra en la Figura C.1.

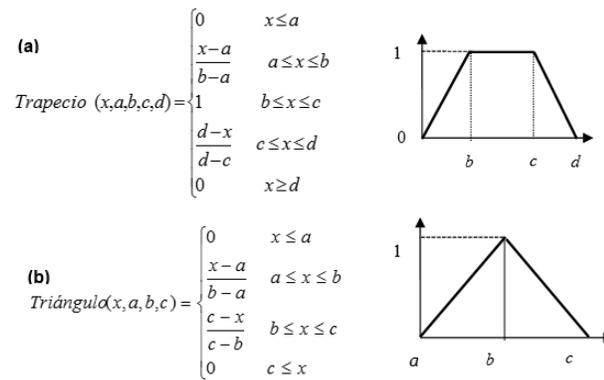


Figura C.1: Funciones de pertenencia: (a) Trapezoidales y (b) Triangulares. Fuente: [195].

En la Figura C.2 se pueden observar los conjuntos borrosos definidos para los términos lingüísticos que fueron empleados para obtener la evaluación cualitativa.

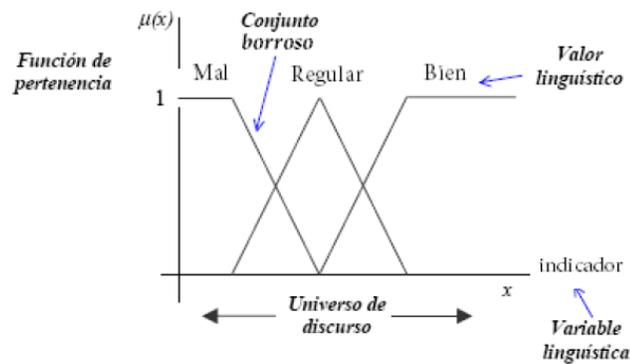


Figura C.2: Conjuntos borrosos empleados para la evaluación de los indicadores. Fuente: Adaptado de [67, 148].

La definición del conjunto borroso “*Bajo*” se corresponde con la función trapezoidal del extremo izquierdo de la Figura C.2 y esta depende de dos parámetros $px1$ y $px2$; se denota de la siguiente manera:

$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < px1 \\ \frac{px2 - x}{px2 - px1}, & px1 \leq x \leq px2 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (C.1)$$

La definición del conjunto borroso “*Medio*” se corresponde con la función triangular del centro de la Figura C.2 y esta depende de tres parámetros $py1$, $py2$ y $py3$; se denota de la siguiente manera:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - py2}{py2 - py1}, & py1 \leq x < py2 \\ \frac{py3 - x}{py3 - py2}, & py1 \leq x \leq py3 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (C.2)$$

La definición del conjunto borroso “*Alta*” se corresponde con la función trapezoidal del extremo derecho de la Figura C.2 y esta depende de dos parámetros $pz1$ y $pz2$; se denota de la siguiente manera:

$$\mu(x) = \begin{cases} \frac{x - pz1}{pz2 - pz1}, & pz1 \leq x < pz2 \\ 1, & 0 \leq x \geq pz2 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (C.3)$$

Para todos los casos la variable x se corresponde con el valor del indicador analizado.

En la Tabla C.1 se muestran cómo están definidos los conjuntos borrosos correspondientes para cada indicador. Estos se encuentran implementados en el módulo *AnalisisPro* de la herramienta de gestión de proyectos XEDRO GESPRO [67] y producen como única salida los grados de pertenencia a los conjuntos borrosos que se corresponden con la evaluación de Mal, Regular o Bien alcanzada por el proyecto. La evaluación cualitativa de un programa

u organización se obtienen de manera similar.

Tabla C.1: Conjuntos borrosos utilizados para cada indicador. Fuente: Adaptado de [67].

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>	
<i>IE</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>IRE</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>IRP</i>	-	-	0,9	1	0,9	1	1,1	1	1,1	-	-	
<i>IRC</i>	-	-	0,9	1	0,9	1	1,1	1	1,1	-	-	
<i>IREF</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>IRHH</i>	-	-	0,2	0,5	0,4	0,6	0,8	0,6	0,8	-	-	
<i>IRL</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>ICD</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>E^t</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>D^t</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	
<i>EG^t</i>	-	-	0,5	0,7	0,5	0,7	0,9	0,7	0,9	-	-	

D. Funciones de pgRouting para obtener caminos mínimos

Descripción general:

El módulo *pgRouting* extiende a las bases de datos espaciales *PostGIS /PostgreSQL* para proveer algoritmos de ruteo geoespacial y funcionalidades de análisis de redes. Generalmente cuando se utilizan datos espaciales en la base de datos para su uso con *pgRouting*, estas no cuentan con la información de su topología asociada. En estos casos se debe chequear la existencia de una topología útil y si no existe debe ser creada. En la propuesta se utilizó la topología de *OpenStreetMap*, que se encuentra disponible para descarga libre en <http://planet.openstreetmap.org>.

A continuación se describen brevemente las funciones de *pgRouting* que implementan los algoritmos que son de interés para la presente investigación (tomado de *pgRouting Project*: <http://pgrouting.org>):

- **pgr_dijkstra:** Es un algoritmo de búsqueda que resuelve el problema del camino más corto de una sola fuente con costos no negativos, generando un árbol de ruta más corta. Devuelve un conjunto de registros **pgr_costResult** (*seq, id1, id2, costo*) que conforman un recorrido.
- **pgr_bdDijkstra:** Es la variante bidireccional del algoritmo de *Dijkstra*. Realiza una búsqueda desde la fuente hacia el destino y, al mismo tiempo, desde el destino hacia el origen, terminando donde estas búsquedas se reúnen en un punto central. Devuelve un conjunto de registros **pgr_costResult** (*seq, id1, id2, costo*) que conforman un camino.
- **pgr_tsp:** Provee la mejor ruta desde un nodo inicial utilizando una lista de nodos. Este algoritmo hace simulaciones para devolver una solución aproximada. Devuelve

un conjunto de registros **pgr_costResult** (*seq, id1, id2, costo*) que conforman un camino.

- **pgr_trsp**: Es un algoritmo de camino más corto que puede tomar en cuenta restricciones de giro, como las encontrados en la vida real en las redes de carreteras. El rendimiento es casi tan rápido como la búsqueda A^* y devuelve un conjunto de registros **pgr_costResult** (*seq, id1, id2, costo*) que conforman un camino.

Las funciones implementadas forman parte de la base de datos de SIGESPRO [184]. Estas se encuentran disponibles en:

https://www.researchgate.net/profile/Gerdys_Ernesto_Jimenez_Moya.

E. Ejemplos de medidas a tomar durante el control de proyectos.

Durante el control de proyectos para la toma de decisiones pueden tomarse medidas relacionadas al tiempo, a los recursos asignados, al alcance, a los costos y a la calidad de las tareas realizadas. A continuación se mencionan algunos ejemplos [148]:

Respecto al tiempo:

- Planificar horas extras de trabajo al equipo de proyecto.
- Generalmente para resolver un atraso, incorporar mucho personal nuevo provoca más atraso.
- Concentrar los recursos humanos principales liberándolos de otras tareas que afecten su desempeño.
- Identificar las competencias de los recursos humanos de la organización y reordenar los equipos en función de las competencias.
- Priorizar las tareas y desarrollar las mismas en función de las prioridades, renegociando en caso de que sea necesario.
- Cuando el atraso supera la holgura total y no se puede recuperar, debe renegociar con el cliente (no mentir).
- Revisar qué tareas se pueden ejecutar en paralelo y proceder a subcontratar recursos humanos en las tareas menos priorizadas.
- Aplicar nuevos métodos de motivación del personal, recompensas y penalizaciones.

Respecto a los recursos:

- Reasignar recursos humanos y no humanos de proyectos menos priorizados hacia los proyectos de mayor prioridad.
- Detenga si es necesario los proyectos de menor prioridad.

- Revisión de los contratos y ajuste de los métodos de gestión logística priorizando los proyectos adecuadamente.

Respecto al alcance:

- Identificar mejores alternativas mediante la aplicación de técnicas de selección de alternativas.
- Priorizar los subsistemas del alcance del proyecto en función del cliente y renegocie en caso necesario con todos los interesados.
- Diferenciar las no conformidades de las solicitudes de cambio.
- Las solicitudes de cambio que tengan un alto impacto en la arquitectura del sistema deben ser tratadas como nuevas funcionalidades que deben ser incluidas en un nuevo contrato. Nuevos contratos.

Respecto a los costos:

- Identificar nuevas fuentes de financiamiento o ingreso para el proyecto
- Ajustar adecuadamente la gestión de ventas del producto para recuperar la inversión realizada para el desarrollo del proyecto.
- Aplicar técnicas de selección de alternativas para identificar variantes más económicas sin afectar significativamente la calidad del producto.

Respecto a la calidad:

- Ajuste su entorno de desarrollo a los principios de calidad total definidos en la organización.
- Cumplir los requisitos de calidad definidos con el cliente.
- Elevar el compromiso de la dirección o la alta gerencia de la organización.
- Medición y mejora continua de la organización para el aseguramiento y el control de la calidad.

F. Herramientas y tecnologías empleadas.

Tabla F.1: *Herramientas y tecnologías que componen el ambiente de producción.*

Nombre	Descripción
Cartoweb v3.5.0	Framework de desarrollo del núcleo de GeneSIG.
ExtJS v3.2	Biblioteca para la interfaz del sistema.
Postgres v9.5 + PostGIS v2.1	Gestor de base de datos y extensión espacial.
Mapserver v7.0	Motor de representación de mapas.
Apache v2.2 o superior	Servidor Web.
GDAL	Biblioteca para análisis de datos sobre el terreno.
PgRouting v1.0.2	Módulo para el análisis de rutas.
GNU/Linux Ubuntu Server 16.04 (o superior)	Sistema operativo para el servidor de aplicaciones y de base de datos.

Tabla F.2: *Requerimientos de Hardware.*

Elementos de <i>hardware</i>	Características
PC clientes	
Microprocesador	1.0 GHz
RAM	2 GB
Unidad de almacenamiento	40 GB
Servidores	
Microprocesador	3.0 GHz
RAM	4 GB
Unidad de almacenamiento	40 GB

G. Características definidas para SIGESPRO

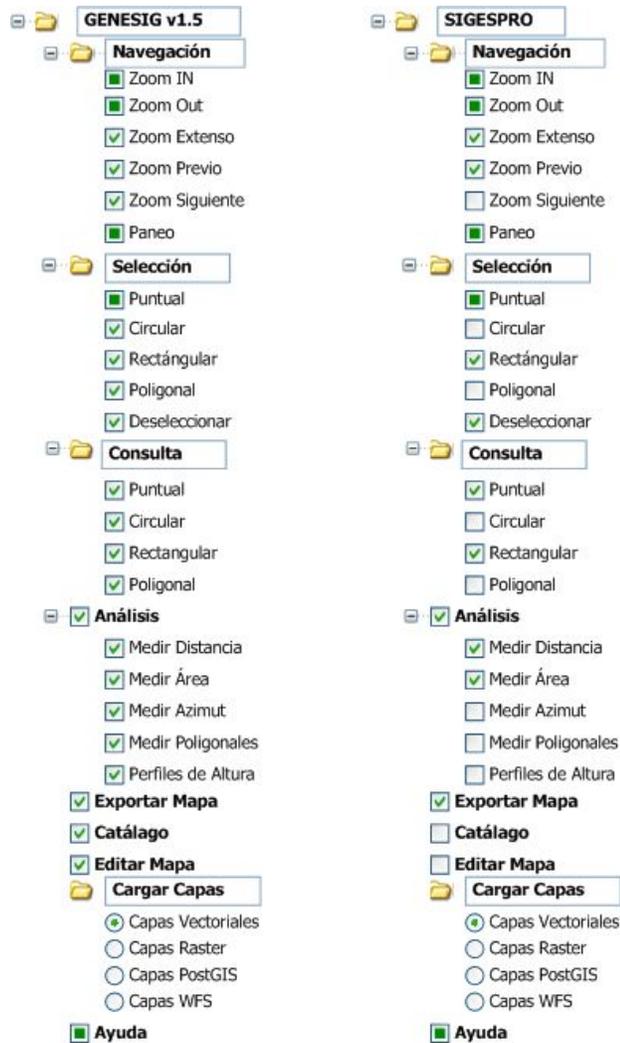


Figura G.1: Árbol de características definido para SIGESPRO.

H. Vistas obtenidas de la instrumentación del modelo

En la Figura H.1 se muestra una vista de la ubicación geográfica de varios proyectos en ejecución dentro del área geográfica de la propia universidad. Nótese que existen diferencias en cuanto al símbolo utilizado para la representación de los proyectos y los centros de desarrollo, se representa mediante un círculo para el primero y una estrella para el segundo. Se muestran en color verde, amarillo o rojo en dependencia del valor del indicador tematizado siguiendo el principio de funcionamiento de un semáforo.

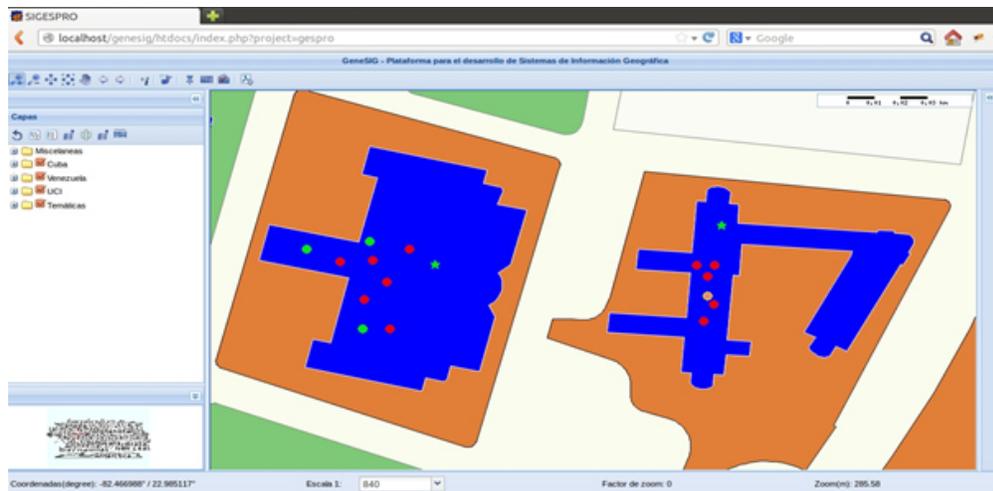


Figura H.1: Vista de proyectos en ejecución y centros de desarrollo de la UCI.

En la Figura H.2 se muestra una vista de la información relacionada con los indicadores de un proyecto, se especifica el nombre del indicador, su nomenclatura, el valor obtenido, la fecha de corte y su respectiva evaluación cualitativa.

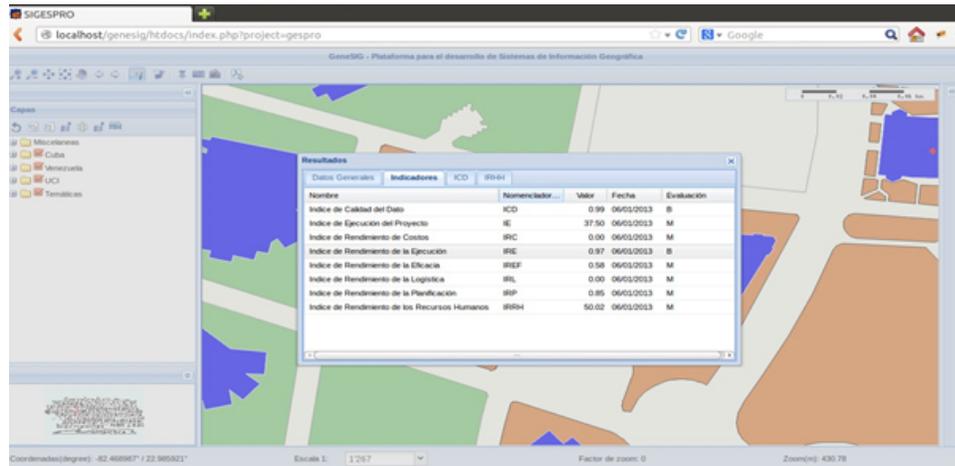


Figura H.2: Vista de los valores obtenidos del cálculo de los indicadores.

En la Figura H.3 se muestra una vista sobre la evaluación de una zona geográfica. Se selecciona una región del mapa y utilizando el operador *OWAWA* se obtiene la agregación con respecto al indicador que se encuentra tematizado en el momento de la selección. Incluye para la evaluación a todos los proyectos que estén contenidos respecto a su ubicación geográfica dentro del dominio de la selección. El área de selección se dibuja en rojo si la agregación lanza como resultado la evaluación de Mal, amarillo de Regular y verde de Bien (en todos los casos con efecto de transparencia).

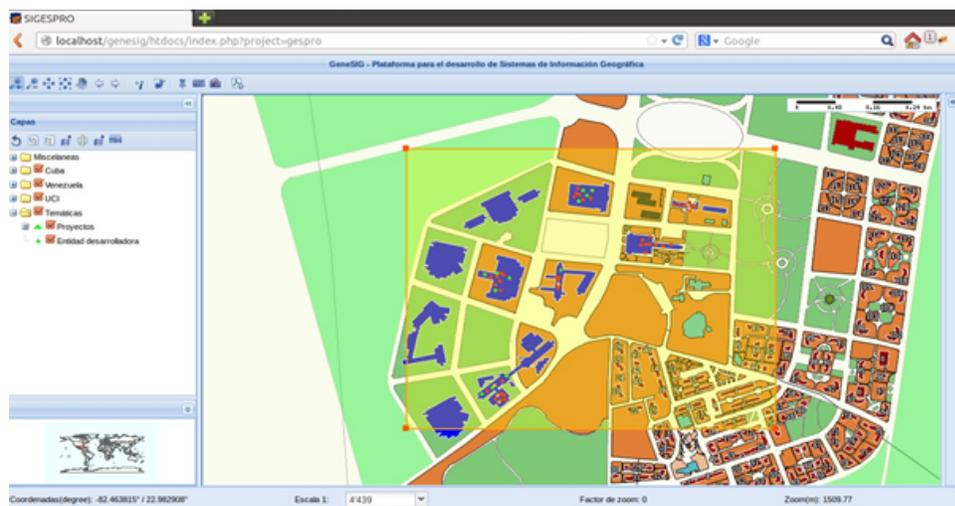


Figura H.3: Vista de la evaluación de una zona geográfica.

I. Ingresos percibidos por servicios brindados

UCI
UNIVERSIDAD CIENCIAS INFORMÁTICAS

DIRECCIÓN DE TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y CONOCIMIENTO

PRE-FACTURA

Cliente: ANTEL

Domicilio:

No de ID:

Cuenta: Universidad Ciencias Informáticas

Número de cuenta: 0531940031790120

Banco: Metropolitano

Sucursal: 319

Código Swift: BMNBCUHH

No de Pre-Factura: 36

Almacén: 24

Fecha: 14/07/2017

Moneda: USD

T.Cambio: 1.000000

Id Tributaria:

Reg Comercial:

Item	Código	Lote	Descripción	UM	Cantidad	Precio	Importe
	S/N Contrato		Proyecto específico de asesoría No 1	U	1	8000.00	8000.00
Sub Total:							8000.00
Descuentos:							0.00
Recargo:							0.00
Arancel:							0.00
Impuesto:							0.00
Total:							8000.00

Nota: Se informa, en este paso que el cliente propondrá el presupuesto a ser ingresado para pagar a la UCI Universidad Ciencias Informáticas

Recibido Por:

Nombre: _____

Cargo: _____

Fecha: _____

Firma: _____

Vendedor: Claribel Guardarrama Alomá

Entregado Por:

Nombre Luis Raciél Rodríguez Silva

Cargo: Jefe del Departamento de Gestión Comercial

Fecha: _____

Firma: _____

	Precio	Importe
	4000.00	4000.00
Sub Total:		4000.00
Descuentos:		0.00
Recargo:		0.00
Arancel:		0.00
Impuesto:		0.00
Total:		4000.00

Nota: Servicios Productivos Internacional-Exportaciones Conciliación al cumplimiento del 3er mes de trabajo CUC: Universidad Ciencias Informáticas

Recibido Por:

Nombre: _____

Cargo: _____

Fecha: _____

Firma: _____

Vendedor: Claribel Guardarrama Alomá

Entregado Por:

Nombre Luis Raciél Rodríguez Silva

Cargo: Jefe del Departamento de Gestión Comercial

Fecha: _____

Firma: _____

J. Método para el cálculo del coeficiente de competencia de los expertos

Para calcular el coeficiente de competencia K_{comp} de los expertos que evaluaron el modelo, se empleó la siguiente formulación matemática:

$$K_{comp} = \frac{K_c + K_a}{2} \quad (\text{J.1})$$

siendo:

K_c : Coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto sobre el problema, se determina mediante la valoración del propio experto en una escala de 0 a 10 y se normaliza a una escala entre 0 y 1.

K_a : Coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del experto, obtenido de la sumatoria del grado de influencia de cada una de las fuentes presentadas en la Tabla J.1 según el criterio de los expertos.

Tabla J.1: Fuentes de información de argumentación de los expertos.

Nro.	Fuente de argumentación	Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted	0,3	0,2	0,1
2	Su experiencia adquirida	0,5	0,4	0,3
3	Trabajos de autores nacionales	0,05	0,04	0,03
4	Trabajos de autores extranjeros	0,05	0,04	0,03
5	Su propio conocimiento del estado del problema en el extranjero	0,05	0,04	0,03
6	Su intuición	0,05	0,03	0,01
Total		1	0.75	0.50

Entonces puede plantearse que:

- La competencia del experto es **Alta** si: $K_{comp} > 0,75$
- La competencia del experto es **Media** si: $0,50 < K_{comp} \leq 0,75$

- La competencia del experto es **Baja** si: $K_{comp} \leq 0,50$

A continuación, se muestran en la Tabla J.2 los resultados del cálculo de K_{comp} de los expertos que fueron considerados como candidatos para la evaluación del modelo propuesto.

Tabla J.2: Nivel de competencia de los expertos.

Experto	1	2	3	4	5	6	K_a	K_c	K_{com}	Valor
1	0,3	0,5	0,04	0,04	0,05	0,03	0,96	0,8	0,88	Alto
2	0,3	0,4	0,05	0,04	0,05	0,05	0,89	0,9	0,90	Alto
3	0,3	0,4	0,05	0,04	0,05	0,05	0,89	0,7	0,80	Alto
4	0,2	0,5	0,05	0,04	0,04	0,03	0,86	0,8	0,83	Alto
5	0,2	0,3	0,04	0,03	0,04	0,03	0,64	0,6	0,62	Medio
6	0,3	0,5	0,05	0,04	0,03	0,03	0,95	0,8	0,88	Alto
7	0,3	0,5	0,05	0,05	0,04	0,03	0,97	0,9	0,94	Alto
8	0,2	0,5	0,05	0,04	0,04	0,03	0,86	0,7	0,78	Alto
9	0,2	0,4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,72	0,6	0,66	Medio
10	0,2	0,5	0,04	0,03	0,03	0,03	0,83	0,7	0,77	Alto
11	0,3	0,4	0,04	0,04	0,04	0,03	0,85	0,8	0,83	Alto
12	0,3	0,5	0,04	0,03	0,03	0,05	0,95	0,9	0,93	Alto
13	0,2	0,5	0,04	0,04	0,03	0,03	0,84	0,8	0,82	Alto
14	0,2	0,5	0,05	0,04	0,04	0,05	0,88	0,7	0,79	Alto
15	0,3	0,4	0,04	0,03	0,03	0,03	0,83	0,7	0,77	Alto
16	0,2	0,4	0,03	0,03	0,03	0,03	0,72	0,8	0,76	Alto
17	0,3	0,5	0,04	0,04	0,03	0,03	0,94	0,7	0,82	Alto
18	0,2	0,5	0,04	0,04	0,04	0,05	0,87	0,7	0,79	Alto
19	0,3	0,5	0,05	0,04	0,04	0,05	0,98	0,9	0,94	Alto
20	0,1	0,3	0,03	0,03	0,03	0,01	0,50	0,5	0,50	Bajo
21	0,2	0,4	0,04	0,04	0,04	0,03	0,75	0,8	0,78	Alto
22	0,2	0,4	0,04	0,03	0,04	0,01	0,72	0,7	0,71	Medio
23	0,3	0,5	0,04	0,03	0,04	0,05	0,96	0,8	0,88	Alto
24	0,2	0,4	0,05	0,04	0,04	0,05	0,78	0,9	0,84	Alto
25	0,2	0,3	0,04	0,03	0,03	0,03	0,63	0,7	0,67	Medio
26	0,3	0,4	0,05	0,04	0,04	0,05	0,88	0,7	0,79	Alto
27	0,2	0,5	0,04	0,04	0,03	0,03	0,84	0,8	0,82	Alto
28	0,3	0,4	0,04	0,03	0,03	0,03	0,83	0,9	0,87	Alto

K. Cuestionario a expertos

Estimado(a): La siguiente encuesta tiene como objetivo evaluar la aceptación de un modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial para la ayuda a la toma de decisiones. Le pedimos que emita, luego de estudiar y analizar el material adjunto, sus valoraciones sobre cada uno de los elementos que sometemos a su consideración.

- Nombre y apellidos:
- Área donde labora:
- Rol que desempeña:
- Categoría Científica:
- Años de experiencia:

Desarrollo

Por favor, le pedimos que responda las siguientes preguntas, agradeciéndole de antemano su colaboración.

Primeramente, evalúe su nivel de dominio sobre el proceso de toma de decisiones en el control de proyectos seleccionando un valor de la escala siguiente (siendo el 1 el menor nivel posible):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Para cada una de las preguntas siguientes, desarrolle sus respuestas en función de tres números reales, entre 0 y 10, significando el 0 el valor más débil de respuesta. El primer valor se refiere al menor valor que considera posible para la pregunta (v_1), el segundo al valor de su opinión personal sobre la pregunta (v_2) y el tercero al mayor valor que considere posible para la pregunta (v_3), donde ($v_1 < v_2 < v_3$).

1. ¿Cómo valora usted el nivel de comprensión de los principios, características, componentes y actividades del modelo propuesto?

1		2		3	
----------	--	----------	--	----------	--

2. ¿En qué grado usted considera que la propuesta promueve el uso del análisis geo-referencial en el control de proyectos?

1		2		3	
----------	--	----------	--	----------	--

3. ¿Cómo valora usted la flexibilidad del modelo ante los cambios que pueden presentarse en los indicadores y su respectiva importancia en los diferentes momentos de decisión?

1		2		3	
----------	--	----------	--	----------	--

4. ¿Cómo valora usted la fiabilidad de la información de salida del modelo para la ayuda a la toma de decisiones en el control de proyectos?

1		2		3	
----------	--	----------	--	----------	--

5. ¿Cómo evalúa usted el nivel de aplicabilidad del modelo mediante el uso de la Guía de implementación propuesta?

1		2		3	
----------	--	----------	--	----------	--

6. ¿En qué grado considera que la propuesta pueda ser generalizada para la ayuda a la toma de decisiones en otros escenarios de la Dirección Integrada de Proyectos?

1		2		3	
----------	--	----------	--	----------	--

L. Resultados de la valoración de los expertos

Tabla L.1: Resultados de la valoración de los expertos.

Experto	1			2			3			4			5			6		
1	5	7	8	4	5	7	5	6	9	5	6	7	6	8	8	6	8	9
2	6	7	9	7	7	9	6	6	9	6	7	9	6	7	9	5	6	8
3	6	7	9	6	8	9	5	6	8	6	7	9	5	6	8	6	7	9
4	6	8	9	6	7	8	5	6	8	5	7	8	6	7	8	7	8	9
5	4	5	8	5	6	9	7	7	9	6	7	8	5	6	8	6	7	9
6	5	6	9	6	8	9	6	7	9	6	7	10	6	8	9	5	6	9
7	6	7	9	7	8	9	6	7	9	6	7	8	7	8	9	5	7	8
8	7	8	9	6	7	8	6	7	8	7	8	9	6	7	8	6	7	9
9	7	8	9	5	6	8	6	7	8	6	7	8	7	8	9	6	7	9
10	6	7	9	6	7	9	6	7	8	7	8	9	6	7	9	7	8	9
11	5	7	9	6	8	10	7	8	10	6	9	9	6	8	9	7	9	10
12	6	8	9	5	6	9	6	8	9	6	7	10	5	6	9	6	7	8
13	8	9	10	7	8	9	6	8	9	6	7	9	6	7	9	6	7	10
14	6	8	9	6	8	9	7	8	10	6	8	9	6	7	10	7	7	9
15	6	7	9	6	7	9	6	8	8	7	8	9	6	7	9	7	8	9
16	5	8	9	5	7	8	7	8	9	6	9	9	7	8	9	6	7	8
17	7	9	9	7	8	9	7	8	9	6	8	9	5	7	8	6	7	8
18	6	8	10	7	9	9	6	9	9	7	8	9	7	9	9	7	10	10
19	7	8	9	6	7	9	8	9	10	7	9	9	7	8	9	7	8	9
20	6	9	9	7	8	9	7	9	9	7	8	9	6	9	9	6	9	9
21	7	8	9	6	9	9	7	9	9	6	8	9	7	8	10	7	9	9
22	8	9	10	6	7	9	8	9	9	7	8	9	7	9	10	8	9	9
23	8	9	10	6	8	9	8	9	9	6	8	9	7	9	10	7	8	9

M. Cuestionario para evaluar la satisfacción de usuarios potenciales

Estimado(a): La siguiente encuesta tiene como objetivo conocer el grado de satisfacción respecto al modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial para la ayuda a la toma de decisiones. Le pedimos que emita, luego de estudiar y analizar los materiales adjuntos, su evaluación sobre cada una de las interrogantes que sometemos a su consideración.

- Área donde labora:
- Rol que desempeña:
- Años de experiencia:

1. ¿Considera usted que es útil para las organizaciones el empleo del análisis geo-referencial en el control de proyectos para la ayuda a la toma de decisiones?

Sí		No sé		No	
----	--	-------	--	----	--

2. ¿Considera usted que es posible evaluar con efectividad las zonas geográficas según el desempeño de los proyectos sin el empleo de un SIG integrado a una herramienta de GP?

Sí		No sé		No	
----	--	-------	--	----	--

3. ¿Le satisface el modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial, para contribuir a la ayuda en la toma de decisiones?

- Me gusta mucho.
- No me gusta tanto.
- Me da lo mismo.

- Me disgusta más de lo que me gusta.
- No me gusta nada.
- No sé qué decir.

4. ¿Utilizaría usted el modelo y la Guía de implementación desarrollada para la ayuda a la toma de decisiones en el proceso de control de proyectos de su organización?

Sí		No sé		No	
-----------	--	--------------	--	-----------	--

5. ¿Qué elementos considera positivos del modelo propuesto?

6. ¿Qué elementos considera negativos del modelo propuesto?

7. ¿Agregaría, eliminaría o modificaría alguno de los elementos que conforman el modelo?

N. Temas abordados en la entrevista en profundidad

Estimado(a): La siguiente entrevista tiene como objetivo evaluar el nivel de efectividad y la capacidad de ayuda a la toma de decisiones del modelo de control de proyectos basado en el análisis geo-referencial. Le pedimos que emita, luego de interactuar con la versión 13.05 de XEDRO GESPRO y teniendo en cuenta su experiencia en tareas relacionadas con la gestión de proyectos, sus consideraciones sobre cada uno de los temas que serán abordados.

Se deben registrar los siguientes datos de interés sobre los entrevistados:

- Nombre y apellidos:
- Área donde labora:
- Rol que desempeña: Inspector OGP, Gestor de la Calidad, Jefe de Proyecto, Director, Otro
- Categoría Científica:
- Años de experiencia:

Antes de iniciar, se deben compartir varios elementos relacionados con la terminología que será utilizada como parte de la conversación.

Terminologías:

Efectividad: Es el equilibrio entre eficacia y eficiencia, es la facultad para lograr un objetivo o fin deseado con la menor cantidad de recursos posible.

Incertidumbre: Estado de duda en el que predomina el límite de la confianza o la creencia en la certeza de un conocimiento determinado.

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

evaluaciones se disminuye la incidencia del factor humano en el proceso, lo que contribuye a la obtención de resultados más objetivos y precisos.

Análisis geo-referencial: Se define como un conjunto de procesos, que maniobrados sobre una colección de datos estructurada según las necesidades de una organización, propicia la recopilación, elaboración y distribución de la información respecto a su dimensión geográfica.

Temas:

1. Experiencia de los entrevistados en los procesos de control de proyectos y el uso de herramientas de gestión de proyectos.
2. Necesidades reales de introducir el análisis geo-referencial en el control de proyectos.
3. Conocimiento sobre modelos, métodos, procedimientos o técnicas utilizadas hoy para el control de proyectos a nivel internacional o nacional, así como alguna experiencia personal en el uso de alguno de estos.
4. Consideraciones sobre la pertinencia y la novedad que se le atribuye al modelo propuesto, a partir de los principios establecidos y sus componentes.
5. Beneficios percibidos de su aplicación a través de XEDRO GESPRO 13.05 a partir de: la representación de la incertidumbre en la evaluación mediante las tematizaciones definidas, la integralidad de varias áreas de conocimiento en la evaluación de proyectos, el tiempo requerido para obtener la evaluación de una zona geográfica, el nivel de subjetividad de las evaluaciones obtenidas y la retroalimentación de la experiencia adquirida de casos anteriores.
6. Valoración de la utilidad de la información que brinda el modelo para contribuir a la toma de decisiones durante el control de proyectos.
7. Posible impacto económico y social que trae la implantación del modelo para su organización.
8. Capacidad de generalización y ajustes del modelo para ser extendido a otras organizaciones dedicadas al desarrollo del proyecto.

Ñ. Indicadores obtenidos en tres cortes

En la siguiente tabla se muestran los valores de los indicadores utilizados durante tres cortes consecutivos a los proyectos Señal ACN, Xilema Primicia v2.0, Xilema Suria v2.0 y Sistema de Gestión Audiovisual para el CICCPC.

Tabla Ñ.1: *Indicadores obtenidos de los proyectos para tres cortes.*

T	C^t	a_1	a_2	a_3	a_4
$t = 1$	c_1	0,6392	0,8763	0,9897	1,0000
	c_2	0,6832	0,9703	1,0000	0,9604
	c_3	0,7312	0,9247	1,0000	0,8602
	c_4	0,5900	0,7500	0,7700	0,9800
	c_5	0,6300	0,5400	0,6800	0,8200
	c_6	0,6837	0,9286	0,7857	1,0000
	c_7	0,9000	0,9800	0,9600	0,9900
$t = 2$	c_1	0,7907	1,0000	0,7142	0,7419
	c_2	0,8488	0,9884	0,6512	1,0000
	c_3	0,8140	1,0000	0,7907	0,7791
	c_4	0,6300	0,7600	0,6000	0,8400
	c_5	0,6400	0,8900	0,6700	0,5600
	c_6	0,8765	1,0000	0,5926	0,8130
	c_7	0,9200	0,9700	0,9100	0,9200
$t = 3$	c_1	1,0000	0,9585	0,6322	0,5977
	c_2	0,9785	1,0000	0,7204	0,6297
	c_3	0,9862	1,0000	0,5476	0,5624
	c_4	0,8800	0,7500	0,5900	0,6300
	c_5	0,8400	0,7300	0,6600	0,4800
	c_6	0,9667	1,0000	0,6278	0,6189
	c_7	0,9600	0,9500	0,9100	0,9000

O. Evaluaciones obtenidas en seis cortes

Cortes	Proyectos	Lugo	Bermudez	Rodriguez	Xu	Propuesta	Expertos
$t = 1$	1	M	M	R	R	M	M
	2	R	R	R	R	R	R
	3	R	R	R	R	R	R
	4	B	B	B	B	B	B
$t = 2$	1	R	M	R	M	R	M
	2	B	B	B	B	B	B
	3	M	M	M	R	M	M
	4	R	R	B	R	R	R
$t = 3$	1	B	B	B	B	B	B
	2	B	B	R	R	R	R
	3	M	M	M	M	M	M
	4	M	M	M	M	M	M
$t = 4$	1	B	B	B	B	B	B
	2	B	B	B	B	R	B
	3	R	R	R	R	R	R
	4	R	R	M	M	R	R
$t = 5$	1	B	B	B	B	B	B
	2	B	B	B	B	B	B
	3	M	R	R	R	R	R
	4	B	B	B	B	B	B
$t = 6$	1	B	B	B	B	B	B
	2	R	R	R	R	R	R
	3	M	R	R	M	M	M
	4	R	R	R	M	M	R
Efectividad		87,5	91,7	79,2	83,3	91,7	100

Figura O.1: Evaluaciones obtenidas en seis cortes consecutivos.