



UNIVERSIDAD DE LAS CIENCIAS INFORMÁTICAS

Facultad 3

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

**Trabajo de Diploma para optar por el título de
Ingeniero en Ciencias Informáticas**

Autor:

Yoel David Díaz Castro

Tutor:

Ing. Willian Simón Grass

Ciudad de La Habana, 2019

“Año 61 de la Revolución”

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

“Ser el hombre más rico del cementerio no significa nada para mí. Irme a la cama por las noches sabiendo que hice algo extraordinario es lo que más me importa.” - *Steve Jobs*

AGRADECIMIENTOS

A mi madre por ser esa persona que siempre ha estado ahí con su amor infinito, a mi papá por su apoyo en todo este proceso y ser un amigo más en mi vida, y a todas mis amistades, sobre todo a las que siempre han estado incondicionalmente. Muchas gracias a todo el que forma parte de mi vida y hace que ésta sea tan especial.

DEDICATORIA

A mis padres, a mi familia y a todos las personas que compartieron conmigo estos cinco años que han sido los mejores de mi vida, en parte, gracias a ellos.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Declaro ser autor de la presente tesis y reconozco a la Universidad de las Ciencias Informáticas los derechos patrimoniales de la misma, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmamos la presente a los ___ días del mes de ___ del año ___.

Firma del autor

Yoel David Díaz Castro

Firma del tutor

Ing. Willian Simón Grass

Resumen

El área del conocimiento de Gestión de Riesgos generó el interés de la presente investigación, ya que las organizaciones requieren de un mejor manejo de los Riesgos e incertidumbres que afectan sus proyectos. Los recursos humanos, financieros, técnicos, el uso de nuevas tecnologías, la falta de comunicación y coordinación son algunas causales de Riesgo que amenazan el logro de los objetivos de todo proyecto. Satisfacer los criterios de valor del cliente y usuarios, que son usualmente el costo, el tiempo y la calidad son variables que hoy en día presentan alto grado de incertidumbre en centros de investigación e innovación. Es por ello que la presente investigación tiene como objetivo desarrollar un algoritmo de apoyo a la toma de decisiones para dar solución a los problemas de Toma de Decisión en el Centro de Estudio de Matemática Computacional durante la gestión de riesgo. Para la implementación de la solución se realizó un estudio bibliográfico de los principales algoritmos existentes para la toma de decisiones en el área del conocimiento de la gestión de riesgo. Siendo el método Proceso Jerárquico de Análisis o método (AHP) el método implementado, las herramientas utilizadas fueron Python en su versión 3.7 y las bibliotecas Numpy para el trabajo con vectores y matrices y Pandas para cargar la información emitida por los expertos todo implementado sobre el IDE de desarrollo Spyder.

Palabras Claves: Gestión de Riesgos, Toma de decisiones, Incertidumbre.

Abstract

The area of knowledge of Risk Management generated the interest of this research, already that organizations require better management of Risks and uncertainties that affect their projects. The human resources, financial, technical, use of new technologies, lack of communication and coordination are some of the causes. That at threaten the achievement of the objectives of any project. Satisfy the customer and user value criteria, which are usually cost, time, and cost. Quality are variables that today present a high degree of uncertainty in research and innovation centres. That is why this research aims to develop an algorithm to support decision making to solve the problems of Decision Making in the Center for the Study of Computational Mathematics during risk management. For the implementation of the solution a bibliographic study of the main existing algorithms for decision making in the area of knowledge of risk management was carried out. Being the method Hierarchical Process of Analysis or method (AHP) the implemented method, the tools used were Python in its version 3.7 and Numpy libraries for working with vectors and matrices and Pandas to load the information issued by the experts all implemented on the development IDE Spyder.

Índice

Resumen	5
Introducción	11
Capítulo 1: Fundamentos teóricos de apoyo a la toma de decisiones durante la gestión de Riesgo	16
1.1 Conceptos asociados al dominio del problema.	16
1.2 Gestión de Riesgos:	18
1.2.1 Modelos de Gestión de Riesgos.....	18
1.2.2 Modelos de Gestión de Riesgos seleccionado.	19
1.2.3 Estrategias de riesgos	22
1.3 Característica del problema de toma de decisiones.....	23
1.4 Toma de decisiones en la Gestión de riesgos.....	26
1.6 Métodos MAUT y método AHP	30
1.7 Método AHP	31
1.8 Conclusiones	33
Capítulo 2. Descripción del algoritmo.	35
2.1 Jerarquía para el control de riesgos	35
2.2 Herramientas y tecnologías	36
2.2.1 Lenguaje de modelado	37
2.2.2 Herramienta de modelado	37
2.2.3. Lenguajes de programación	38
2.2.3.1. Python (v 3.7)	38
2.2.4. Entorno de Desarrollo Integrado.	39
2.2.4.1. Spyder:	39
2.2.5. Bibliotecas:.....	40
2.2.5.1. Numpy:	40
2.2.5.2. Pandas:	40
2.2.5.3. Anaconda:	41
2.3. Modelo de dominio	42
2.4. Diagrama de clases del dominio:.....	42

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

2.4.3.	Descripción del modelo de dominio.....	42
2.4.4.	Definición de las clases del modelo de dominio	43
2.5.	Propuesta de algoritmo para la toma de decisiones en la gestión de riesgos:.....	43
2.6.	Conclusiones parciales	44
Capítulo 3. Implementación y pruebas del algoritmo		45
3.1	Validación del algoritmo propuesto.....	45
3.2.	Conclusiones parciales	70
Bibliografía.....		73

Índice de Figuras

Figura 1 Categorías de riesgos (11)	17
Figura 2 Fases del Modelo PRINCE2 (elaboración propia)	20
Figura 3 Ejemplo de diagrama de perfil de riesgos (elaboración propia)	21
Figura 4 Clasificación de los Problemas de Toma de Decisiones (elaboración propia)	24
Figura 5 Proceso de Toma de Decisiones (elaboración propia)	25
Figura 6 Matriz de decisión (elaboración propia)	29
Figura 7 Jerarquía propuesta de los criterios para el control de riesgos	36
Figura 8 Diagrama de clases del dominio	42

Índice de Tablas

Tabla 1 Categorías de riesgos (elaboración propia)	19
Tabla 2 Criterios a utilizar (elaboración propia)	32
Tabla 3 Escala numérica de comparaciones (elaboración propia)	32
Tabla 4 Riesgos	35
Tabla 5 Resultados alcanzados en la primera iteración	36
Tabla 6 Lista de riesgos	45
Tabla 7 Lista de criterios	45
Tabla 8 Orden de prioridad emitido por el grupo de expertos	45
Tabla 9 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1	46
Tabla 10 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	46
Tabla 11 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	46
Tabla 12 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	46
Tabla 13 Matriz de comparación pareada de los criterios	46
Tabla 14 Resultados obtenidos	47
Tabla 15 Comparación de eficiencia	47
Tabla 16 Lista de riesgos	48
Tabla 17 Lista de criterios	48
Tabla 18 Matriz de comparación pareada respecto al criterio1	48
Tabla 19 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	49
Tabla 20 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	49
Tabla 21 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	49
Tabla 22 Matriz de comparación pareada de los criterios	49
Tabla 23 Resultado obtenido	50
Tabla 24 Comparación de eficiencia	50
Tabla 25 Lista de riesgos	50
Tabla 26 Lista de criterios	51
Tabla 27 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1	51
Tabla 28 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	51
Tabla 29 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	51
Tabla 30 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	52
Tabla 31 Matriz de comparación pareada de los criterios	52
Tabla 32 Resultado obtenido	52
Tabla 33 Comparación de eficiencia	52
Tabla 34 Lista de riesgos	53
Tabla 35 Lista de criterios	53

Tabla 36 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1	54
Tabla 37 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	54
Tabla 38 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	54
Tabla 39 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	55
Tabla 40 Matriz de comparación pareada de los criterios	55
Tabla 41 Resultado obtenido	56
Tabla 42 Comparación de eficiencia	56
Tabla 43 Lista de riesgos	56
Tabla 44 Lista de criterios	57
Tabla 45 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1	57
Tabla 46 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	57
Tabla 47 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	58
Tabla 48 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	58
Tabla 49 Matriz de comparación pareada de los criterios	59
Tabla 50 Resultado obtenido	59
Tabla 51 Comparación de eficiencia	59
Tabla 52 Lista de los riesgos	60
Tabla 53 Lista de criterios	60
Tabla 54 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1	61
Tabla 55 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	61
Tabla 56 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	62
Tabla 57 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	62
Tabla 58 Matriz de comparación pareada de los criterios	63
Tabla 59 Resultado obtenido	64
Tabla 60 Comparación de eficiencia	64
Tabla 61 Lista de los riesgos	65
Tabla 62 Lista de los criterios	65
Tabla 63 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1	66
Tabla 64 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2	66
Tabla 65 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3	67
Tabla 66 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4	68
Tabla 67 Matriz de comparación de los criterios.....	68
Tabla 68 Resultado obtenido	69
Tabla 69 Comparación de eficiencia	69

Introducción

La toma de decisiones es una antigua y amplia búsqueda humana, que se remonta a una época en que las personas buscaban consejos de las estrellas. Desde entonces, la humanidad se ha esforzado por inventar mejores herramientas con ese propósito, desde los sistemas numéricos hindú-arábigo y el álgebra hasta la aplicación de Descartes del método científico. Esta se define como el “proceso de definición de problemas, recopilación de datos, generación de alternativas y selección de un curso de acción” (1).

Durante la Revolución Industrial, la administración individual que cada propietario hacía de su negocio influía sobre las particularidades que adoptaba la toma de decisiones. Esto evidencia que las decisiones que se tomaban respondían a los criterios que estos contemplaban, y sus consecuencias, y aun cuando podían afectar la propia producción y los trabajadores, era responsabilidad de esa máxima autoridad administrativa.

En este período, esta problemática se agudizó y se incrementó el interés por solucionarla. Sin embargo, no es hasta principios de la Segunda Guerra Mundial que aparece la investigación de operaciones (*Operations research*). Aunque su origen está relacionado con el campo militar, está también vinculada con el conocido desarrollo de la organización industrial. Con las técnicas de la investigación de operaciones, se intentaba determinar las alternativas de solución y la decisión final sobre la base de datos obtenidos empíricamente.

Aplicado al mundo de la tecnología, la toma de decisiones en el mundo real y en el mundo virtual va por caminos distintos. En pleno siglo XXI, la sociedad se encuentra conectada a Internet. Desde el punto de vista empresarial, el uso de las tecnologías constituye un medio para automatizar y optimizar recursos, tanto en tiempo como en dinero.

Actualmente en Cuba se desarrolla una ardua lucha para lograr la informatización de los procesos en las distintas ramas de la sociedad e insertarse en la evolución del mundo actual. Es por ello que surgen nuevos proyectos, que tienen como propósito convertir a la nación cubana en una sociedad desarrollada tecnológicamente. La gestión de riesgo constituye un área en la cual siguen existiendo fisuras que atentan contra el buen desarrollo de los proyectos en Centros de Investigación.

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), como órgano rector de la actividad científica del país, establece lo siguiente:

ARTÍCULO 4.- *Las entidades de ciencia, tecnología e innovación, conforme a su misión, se clasifican en:*

1. *Centro de Investigación.*

2. *Centro de Servicios Científicos y Tecnológicos.*

3. *Unidad de Desarrollo e Innovación. (2)*

ARTÍCULO 5.1.- Los centros de investigación tienen como misión fundamental la investigación científica y la innovación. Pueden, además, prestar servicios científicos y tecnológicos con valor agregado, relacionados con la actividad de investigación-desarrollo, así como efectuar producciones especializadas. Tanto los servicios científicos y tecnológicos como las producciones especializadas pueden ser exportados, de acuerdo con los procedimientos establecidos. (2)

El Sistema de Ciencia e Innovación Tecnológica (SCIT) como elemento dinamizador del desarrollo en todas las ramas, mediante el cual se implanta de manera generalizada una guía para la elaboración de proyectos de obligatorio cumplimiento con el fin de poder inscribir los mismos en el registro de investigaciones de cada institución. El cual de cada institución define que:

Un proyecto de desarrollo va encaminado a la obtención de nuevos productos, servicios, procesos o sistemas, o a la mejora sustancial de los ya existentes a partir de un conocimiento adquirido mediante investigaciones o experiencias prácticas. Persigue beneficios prácticos. (2)

Teniendo en cuenta que en los proyectos de desarrollo en centros de investigación el grado de incertidumbre es mayor, puesto que los objetivos pueden ser variables en el tiempo, constituye de vital importancia un mayor control de la ocurrencia de situaciones que puedan alterar el desarrollo del proyecto y afecte además su calidad. Por tanto, la evaluación integral de los riesgos supone actualmente una prioridad en el seno de las principales organizaciones, que ven la misma no como una moda más que deba ser incorporada a la gestión, sino como una verdadera palanca de creación de valor en el medio y largo plazo para sus instituciones.

A la hora del análisis y la gestión del riesgo se implementan una serie de pasos guiados por modelos o estándares que ayudan al equipo de desarrollo del proyecto en los centros de investigación a comprender y a gestionar la incertidumbre. Un proyecto de investigación puede estar lleno de problemas. Un riesgo es un problema potencial: puede ocurrir o no. Pero sin tener en cuenta el resultado, realmente es una buena idea identificarlo, evaluar su probabilidad de aparición, estimar su impacto, y establecer un plan de contingencia por si ocurre. De igual forma a la hora de toma de decisiones ya sea en su identificación, evaluación o control del mismo, cualquier determinación que se tome a largo plazo en la empresa conlleva su riesgo, debido a que pueden cambiar las condiciones por causas accidentales, como por ejemplo cambios en el mercado, en la tecnología, la inflación, etc. La incertidumbre es muy grande en el caso de las alternativas a la innovación, donde los límites del conocimiento humano o la falta de capacidad son habituales.

Tomar decisiones es un proceso que consiste en elegir una alternativa de varias existentes, basándose en el análisis de las consecuencias en la experiencia y en el análisis del riesgo. El

objetivo es encontrar la mejor opción, es decir, la decisión óptima. Durante un proceso de innovación, a menudo se encuentran en la situación de tener que tomar decisiones múltiples.

Dentro del ámbito cubano la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) cuenta con una red de centros de desarrollo de *software* organizados por proyectos. Dentro de estos centros se encuentra el Centro de estudios de Matemática Computacional (CEMC), el cual fomenta proyectos de desarrollo que contribuyan a solucionar problemas reales que requieran de una alta capacidad de cómputo y el desarrollo de la computación de elevado rendimiento. Entre una de sus funciones está promover la ejecución de proyectos de investigación e innovación, especialmente en el área de la Matemática Computacional. Actualmente dicho centro tiene varios compromisos con instituciones a nivel internacional, por lo que constituye una premisa elevar la calidad de sus productos durante el desarrollo de cada una de sus investigaciones e innovaciones.

Actualmente en el centro de estudio se regula este proceso mediante la Resolución 60/11 de la CGR¹ que ha sido establecida con el fin de asegurar el control interno en las empresas cubanas. Este documento hace énfasis en la gestión y prevención de los riesgos en el que se establecen las bases para la identificación y análisis de los riesgos que se enfrentan en el centro.

Para la gestión y prevención de los riesgos se conforma un grupo para la identificación y análisis de aquellos que puedan afectar el cumplimiento de los objetivos y metas de la organización, sean externos e internos, clasificados por procesos, actividades y operaciones de cada área, con la participación de los trabajadores. En ocasiones este análisis suele ser muy superficial y subjetivo puesto al no ser especialistas o expertos en el tema no se tienen total conocimiento de los aspectos que deben ser valorados o evaluados por lo que no se toman las decisiones más acertadas.

Aún cuando se analizan periódicamente los riesgos identificados en cada proceso, actividad y operación, que afectan el cumplimiento de los objetivos y metas de la entidad y se determinan los objetivos de control del centro, suelen tomarse decisiones tardías al no tener un tiempo óptimo estimado para la solución de los riesgos. A la hora de realizar los informes del grupo para la identificación y análisis de los riesgos no son totalmente descriptivos y deben realizarlo de forma manual, y no existe un mecanismo que notifique el cumplimiento de las actividades asociadas a la prevención de riesgos, las cuales responden a los objetivos de control.

Aún cuando se conservan las actas de las reuniones y otros documentos asociados a la gestión de riesgos en formato duro, esto dificulta realizar de forma mesurada análisis cuantitativos o cualitativos de la informaciones emitidas en cuanto a planteamientos y acuerdos, así como conservar un historial de evidencia de la evaluación y actualización sistemática del Plan de Prevención de Riesgos a partir del análisis de las causas, condiciones y las vulnerabilidades identificadas por

¹Contraloría General de la República

diferentes acciones de control. Además, no existe una herramienta que posibilite generar informes de los análisis emitidos por el grupo para la identificación y análisis de los riesgos.

Las ideas anteriores permiten identificar el siguiente **problema de investigación**: ¿Cómo contribuir a la resolución de problemas de Toma de Decisión durante la Gestión de Riesgos en el CEMC?

La existencia del problema antes mencionado determina como **objeto de estudio** la toma de decisiones, y delimita el campo de acción hacia los algoritmos de apoyo a la decisión durante la gestión de riesgo. El **objetivo general** es desarrollar un algoritmo de apoyo a la toma de decisiones para dar solución a los problemas de Toma de Decisión en el CEMC durante la gestión de riesgo.

Para dar cumplimiento al objetivo general se proponen las siguientes **tareas investigativas**:

1. Análisis de los problemas de toma de decisiones para conocer su estructura y funcionamiento.
2. Comprobación de los algoritmos de apoyo a la toma de decisiones existentes para comprender sus estrategias de trabajo.
3. Revisión bibliográfica de las herramientas existentes y de los enfoques teóricos relacionados con la toma de decisiones durante la gestión de riesgos.
4. Verificación de los modelos computacionales actuales para conocer las posibles tendencias.
5. Fundamentación de las herramientas y tecnologías a utilizar en el proceso de desarrollo.
6. Diseño de la propuesta de solución para guiar el proceso de implementación.
7. Implementación de la propuesta de solución para dar cumplimiento al objetivo planteado.
8. Validación de la propuesta de solución a través de pruebas para demostrar su correcto funcionamiento.

Para darle cumplimiento a las tareas anteriores se utilizarán los siguientes métodos de la investigación científica:

Métodos teóricos:

Histórico - Lógico: Para realizar el estudio del estado del arte sustentándose en la necesidad de analizar y estudiar la trayectoria que han tenido las soluciones similares ya existentes tanto nacional como internacional.

Método analítico - sintético: Es utilizado para consultar la bibliografía especializada referente al tema e identificar elementos claves que contribuyan a la solución del problema científico planteado. Permite sintetizar conceptos que ayudarán a comprender la solución del problema.

Métodos empíricos:

Describen y explican las características fenomenológicas del objeto, representan un nivel de la investigación cuyo contenido procede de la experiencia y es sometido a cierta elaboración racional. Aunque existen diversas opiniones la mayoría de los autores concuerdan que los métodos empíricos generales son: la observación, la medición y la experimentación (3).

Entrevista: Se realizaron entrevistas con el objetivo de obtener información acerca de los requerimientos que debe cumplir el algoritmo. Se realizó una entrevista no estructurada la cual es mucho más abierta y flexible, sin descuidar el objetivo establecido inicialmente en la investigación (Ver Anexo 1)

Estructura capitular:

El presente documento está compuesto por tres capítulos siendo estos:

El capítulo 1, titulado “**Fundamentos teóricos de apoyo a la toma de decisiones durante la gestión de Riesgo**” se tratan conceptos teóricos sobre riesgos, tipos de riesgos, gestión de riesgos como área del conocimiento establecida por estándares, modelos y resoluciones, tanto a nivel nacional como internacional, donde se realiza un estudio detallado de cada una de sus etapas. Otro tema tratado es referente a los algoritmos de apoyo a la toma de decisiones, presenta los conceptos asociados al tema para crear la base teórica de la investigación. Se realiza un estudio de tipos investigación y proyectos según establece el CITMA para obtener un mayor entendimiento sobre posibles procesos, tareas que se llevan a cabo en centros de su tipo, incluye el estado actual de desarrollo de los algoritmos de apoyo a la toma de decisiones durante la gestión de riesgos al hacer un análisis teórico y funcional de los ya existentes.

En el **capítulo 2** se realiza un estudio que permite seleccionar las herramientas necesarias para desarrollar un algoritmo que cubra las deficiencias que se muestran en la problemática descrita. Además, se presenta una modelación del dominio del problema, estos elementos se enmarcan bajo el título “Descripción del algoritmo”.

Las conclusiones de la sección anterior permiten tener los conocimientos necesarios para abordar el **capítulo 3** que se titula “Implementación y prueba del algoritmo”, como su nombre lo dice, se realizan las pruebas necesarias para demostrar que la solución cumple con los objetivos trazados en la investigación.

Capítulo 1: Fundamentos teóricos de apoyo a la toma de decisiones durante la gestión de Riesgo.

En el presente capítulo se presentarán los conceptos asociados al tema para crear la base teórica de la investigación. Incluye el estado actual de desarrollo de los algoritmos de apoyo a la toma de decisiones al hacer un análisis teórico y funcional de los ya existentes. Serán descritas además la metodología, las herramientas y las tecnologías a utilizar durante el desarrollo de la solución.

1.1 Conceptos asociados al dominio del problema.

Incertidumbre: el acontecimiento que caracteriza al riesgo puede o no puede ocurrir. (4)

Pérdida: si el riesgo se convierte en una realidad, ocurrirán consecuencias no deseadas o pérdidas. (5)

Riesgo: "Un evento incierto o un conjunto de circunstancias que, si se producen, tendrán un efecto en la consecución de los objetivos del proyecto". (6)

PRINCE 2 plantea el riesgo como "...la posibilidad de exposición a consecuencias adversas de acontecimientos futuros, en donde todos los proyectos son susceptibles de sufrir cambios. Además, en ocasiones, los proyectos pueden ser largos y complejos, y deben tratar factores nuevos o poco habituales. Por este motivo, el riesgo es el factor más importante que debe ser tenido en cuenta durante la gestión de un proyecto". (7)

"Una situación o circunstancia indeseable que tiene tanto una probabilidad de ocurrir como una consecuencia potencialmente negativa". (7)

"Efecto de la incertidumbre sobre los objetivos ". (8)

Es la incertidumbre de que ocurra un acontecimiento que pudiera afectar o beneficiar el logro de los objetivos y metas de la organización. El riesgo se puede medir en términos de consecuencias favorables o no y de probabilidad de ocurrencia. (9)

El riesgo es un evento o condición incierta que, de producirse, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más objetivos del proyecto, tales como el alcance, el cronograma, el costo y la calidad. Tiene su origen en la incertidumbre inherente a todos los proyectos. (10)

Una vez analizados los conceptos existentes sobre qué es un riesgo, se procedió a seleccionar el más acorde al contexto en el que se está trabajando quedando definido el riesgo como un evento incierto o un conjunto de circunstancias que, si se producen, tendrán un efecto en la consecución de los objetivos del proyecto.

Tipos de Riesgos:

Para cuantificar el nivel de incertidumbre y el grado de pérdidas asociado con cada riesgo se consideran diferentes categorías de riesgos: ver Figura 1.

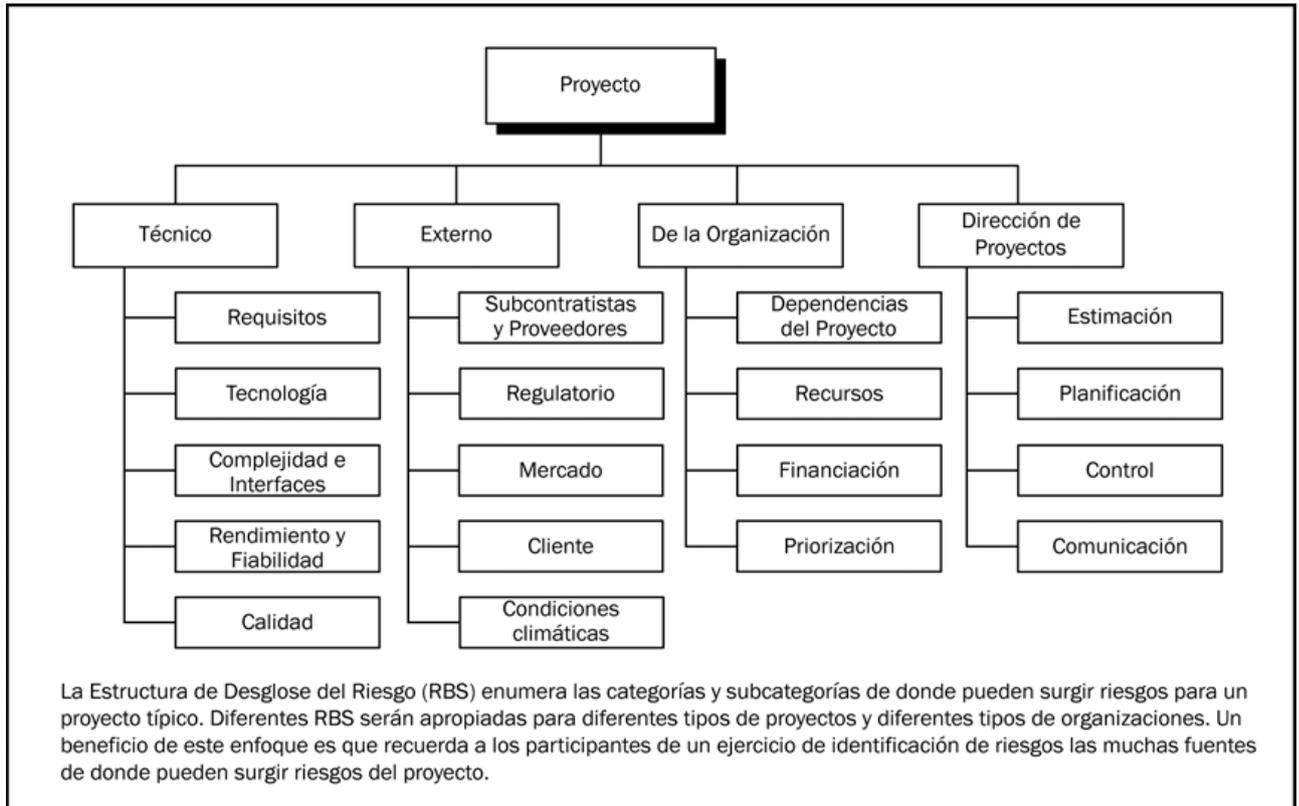


Figura 1 Categorías de riesgos (11)

Pueden clasificarse según su origen en:

- **Riesgos del proyecto:** Afectan a la planificación temporal y al coste del proyecto. Identifican problemas potenciales de presupuesto, calendario, personal, recursos.
- **Riesgos técnicos:** Amenazan la calidad y la planificación temporal de la herramienta que hay que producir. Identifican posibles problemas de diseño, implementación, interfaz, verificación y mantenimiento.
- **Riesgos del negocio:** Amenazan la viabilidad del *software*. Los principales riesgos de negocio son:
 1. Riesgo de mercado
 2. Riesgo estratégico
 3. Riesgo de ventas
 4. Riesgo de dirección
 5. Riesgo de presupuesto

Se puede hacer otra categorización de los riesgos en función de su facilidad de detección:

- a) Riesgos conocidos: son aquellos que se pueden predecir después de una evaluación del plan del proyecto, del entorno técnico y otras fuentes de información fiables.
- b) Riesgos predecibles: se extrapolan de la experiencia de proyectos anteriores.
- c) Riesgos impredecibles: pueden ocurrir, pero es extremadamente difícil identificarlos por adelantado.

1.2 Gestión de Riesgos:

“La gestión de riesgos en el ámbito del software procura formalizar conocimiento orientado a la minimización o evitación de riesgos en proyectos de desarrollo de software, mediante la generación de principios y buenas prácticas de aplicación realista” (12)

Diversos han sido los autores que han profundizado sobre tan importante área dentro del funcionamiento de cualquier proyecto y aunque tienen varios puntos en común, todos definen lo que es para ellos la Gestión de Riesgos. En la continuación se podrán ver el análisis y etapas que definen algunos autores.

PMBOK define la Gestión de Riesgo (GR) como: *una disciplina dentro de la Dirección de Proyectos que a través de la aplicación de procesos estandarizados busca aumentar la probabilidad y el impacto de los riesgos positivos y disminuir la probabilidad y el impacto de los riesgos negativos en un proyecto. La gestión de Riesgos es clave para que los proyectos resulten exitosos, constituyéndose en un pilar sobre el cual se soporta la estrategia adoptada por la organización (10).*

Pressman en su 7ma Edición delimita el análisis y la administración del riesgo como: acciones que ayudan al equipo de software a entender y manejar la incertidumbre. Muchos problemas pueden afectar un proyecto de software. *El proceso de gestión de riesgo es un proceso iterativo que se aplica a lo largo de todo el proyecto. (13)*

En Cuba la Gestión de Riesgos está presidida por la Resolución No. 60/11, NORMAS DEL SISTEMA DE CONTROL INTERNO la cual en uno de sus componentes regula el análisis y la administración del riesgo y define que:

El control interno es el proceso integrado a las operaciones con un enfoque de mejoramiento continuo, extendido a todas las actividades inherentes a la gestión, efectuado por la dirección y el resto del personal. Se implementa mediante un sistema integrado de normas y procedimientos, que contribuyen a prever y limitar los riesgos internos y externos, proporciona una seguridad razonable al logro de los objetivos institucionales y una adecuada rendición de cuentas. (14)

1.2.1 Modelos de Gestión de Riesgos

En la *Tabla 1* se muestra un análisis comparativo en cuanto a las etapas que definen los disímiles modelos de la gestión de riesgos donde se evidencia que, en los diferentes estándares o etapas del proyecto, existe una discrepancia en el número de etapas, aunque se podrá apreciar que generalmente muchos coinciden en cuatro de ellas, definidas como: Identificación, Análisis/Valoración, Respuesta a los riesgos y Monitoreo/Control las cuales se tomarán como etapas principales. Tras la realización de este trabajo es importante destacar que durante el análisis y valoración de los riesgos a partir de los estudios realizados es donde el grado de incertidumbre puede ser mayor, por lo que la toma de decisiones durante esta etapa es de vital importancia.

Tabla 1 Categorías de riesgos (elaboración propia)

Etapas/autor	APM (PRAM 2004)	Ian Sommerville (7ma Edición 2005)	PRINCE 2 ² (2009)	Pressman (7ma Edición 2010)	Resolución 60/11	ISO 21500 2012	PMI (PMBOK 2017)
Planificación	X						X
Identificación	X	X	X	X	X	X	X
Análisis/Valoración	X	X	X	X	X	X	X
Respuesta a los riesgos	X	X	X	X	X	X	X
Monitoreo/Control	X	X	X	X	X	X	X
Registro de los riesgos	X		X				
Reporte/Retroalimentación	X		X				

1.2.2 Modelos de Gestión de Riesgos seleccionado.

Como se pudo observar en el subepígrafe anterior del trabajo de investigación, se seleccionaron y analizaron siete de todos los modelos encontrados, para realizar un análisis comparativo como base de referencia para la propuesta del modelo que será aplicado como base teórica de la herramienta a implementar en el CEMC. Se tomaron en cuenta como criterios de selección que fueran estándares o normas, regulaciones tanto nacionales como internacionales, reconocidos, aplicados y enfocados a la estructura de administración y gestión de proyectos. Partiendo de esta necesidad, se realiza la propuesta del Modelo de Gestión de Riesgos PRINCE2, teniendo en cuenta que realizan una compilación de las buenas prácticas estudiadas, ajustándose a las necesidades y estructura del CEMC.

A continuación, se amplía cada una de las fases y procesos que desarrolla el modelo PRINCE2 el cual presenta una metodología genérica para gestionar el riesgo.

PRINCE2 hace uso del método MOR (por sus siglas en inglés: *Management of Risk*) el cual presenta una metodología genérica para gestionar el riesgo, la cual consiste en lo siguiente: entender el

² PRINCE2: proviene del acrónimo en inglés *Projects in Controlled Environments (PRINCE)*, es decir, convertir proyectos, que manejan una carga importante de variabilidad y de incertidumbre, en entornos controlados.

contexto del proyecto, involucrar a las partes interesadas: usuarios, proveedores y equipos para que ayuden a identificar los riesgos, proporcionar informes regulares de los riesgos y definir roles y responsabilidades de los riesgos. (15)

Partiendo de esta metodología, PRINCE2 establece su modelo como lo representa la Figura 2 y recomienda que cada proyecto cuente con su documento de Estrategia de Gestión del Riesgo. Este documento define los procedimientos para la Gestión del Riesgo, en relación a cómo se identificarán, evaluarán, controlarán y comunicarán los riesgos en el proyecto.

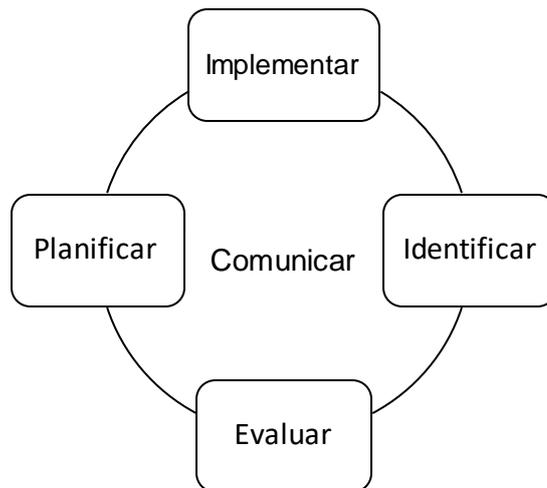


Figura 2 Fases del Modelo PRINCE2 (elaboración propia)

Proceso 1: Identificar

En este paso se llevan a cabo las actividades para identificar el contexto del proyecto, definir el documento de estrategia de Gestión de Riesgos (procedimiento que establece estructura del registro del riesgo, categorías de riesgos, informes, roles y responsabilidades, escalas de probabilidad, impacto, etc.), el análisis de lecciones y riesgos de anteriores proyectos, aplicar listas de verificación, implementar herramientas para la identificación como lluvia de ideas y finalmente documentar los riesgos en términos de causa, evento y efecto.

Proceso 2: Evaluar

La evaluación del riesgo involucra dos acciones, estimación y evaluación del riesgo:

- La estimación trata de evaluar la probabilidad, el impacto y la proximidad de cada amenaza u oportunidad. Estas son las tres columnas en el Registro del Riesgo.
- La evaluación se encarga de agrupar todos los riesgos (tanto amenazas como oportunidades) para obtener un valor global del riesgo para todo el proyecto.

Estimación: Estimar los riesgos mediante técnicas como árboles de probabilidades, el valor esperado, el análisis de Pareto, y la matriz de impacto-probabilidad.

PRINCE2 recomienda colocar las estimaciones en un diagrama de perfil de riesgos como se muestra en la *Figura 2*, un diagrama de probabilidad versus impacto, que facilita la comparación de riesgos entre sí. Este diagrama tiene una serie de ventajas, facilita la visión general de todos los riesgos, resulta muy útil para comunicar el nivel de riesgos del proyecto a la junta de proyecto, identificando qué riesgos requieren atención, se podrá marcar una línea de tolerancia al riesgo en el diagrama para distinguir aquellos riesgos que tengan altos rangos de riesgo y probabilidad de aquellos que tiene rangos menores, todos los riesgos por encima de la línea de tolerancia de riesgo necesitan que se tomen acciones.

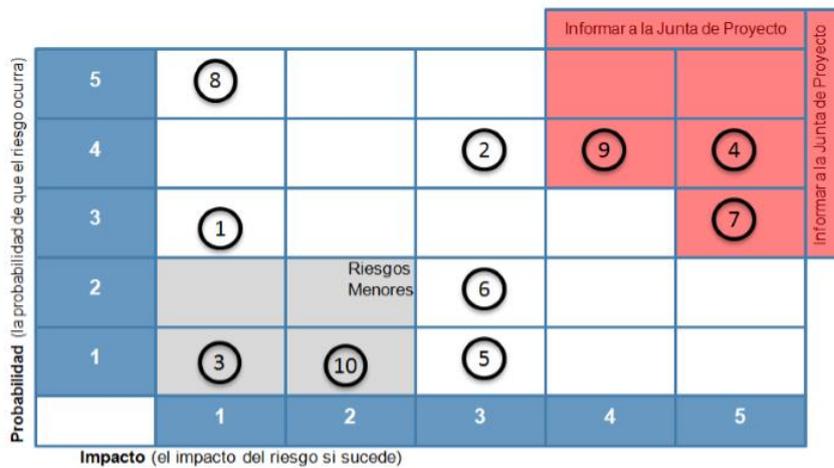


Figura 3 Ejemplo de diagrama de perfil de riesgos (elaboración propia)

Evaluación: El objetivo es evaluar todos los riesgos juntos (tanto amenazas como oportunidades) para obtener un valor global del riesgo para todo el proyecto.

Proceso 3: Planificar

En esta fase se realiza la planificación de las respuestas a las amenazas y oportunidades identificadas. PRINCE2 sugiere 6 tipos de respuestas para las amenazas y 4 para las oportunidades:

Respuestas a las amenazas:

- a) Evitar: realizar alguna acción para que la amenaza no tenga más impacto o no vuelva a ocurrir.
- b) Reducir: acciones para reducir la probabilidad del riesgo y reducir el impacto en el caso de ocurrir el riesgo.
- c) Estrategia alternativa: consiste en planificar alguna acción alternativa que pueda ser llevada a cabo si el riesgo ocurre (Contingencia).
- d) Transferir: transferir el riesgo a otra parte.

- e) Compartir: aplica tanto para amenazas como para oportunidades, ejemplo cliente/proveedor comparten las ganancias si los costos son menores a los planificados y las pérdidas si los costos exceden.
- f) Aceptar: aceptar el riesgo es no plantear acciones para tratarlo y aceptarlo si llegase a suceder.

Respuestas a las oportunidades:

- a) Aprovechar: si el evento ocurre, se toma ventaja de él y se utiliza o implementa en la organización.
- b) Incrementar: se realizan acciones para aumentar la probabilidad de que el evento tenga lugar o para aumentar el impacto de dicha oportunidad en el caso de ocurrir.
- c) Compartir: se da en el caso de compartir las ganancias y pérdidas con la otra parte.
- d) Rechazar: cuando se identifican oportunidades, pero se decide no realizar ninguna acción para aprovecharla.

Proceso 4: Implementar Respuestas

En esta fase el objetivo es asegurarse de que las respuestas planificadas se realicen; tanto las acciones correctivas como de seguimiento, en este paso, el manual PRINCE2 menciona dos roles específicos para llevar a cabo este aseguramiento, ellos son: propietario del riesgo y ejecutor del riesgo:

El Propietario del riesgo es responsable de gestionar y realizar el seguimiento de los aspectos relacionados con el riesgo. Además, puede llevar a cabo acciones que le hayan sido asignadas.

El Ejecutor del riesgo es alguien asignado para llevar a cabo acciones particulares además de dar apoyo al propietario del riesgo. Por lo tanto, no son responsables de gestionar ni de realizar el seguimiento.

Proceso 5: Comunicar

Este proceso se lleva a cabo de manera continua durante todas las fases de la Gestión del Riesgo y asegura que la información relacionada con las amenazas y oportunidades que enfrenta el proyecto se comunique dentro y fuera del proyecto a todas las partes interesadas necesarias.

Algunos de los informes de gestión que se utilizan para comunicar la información de los riesgos son: informes del punto de control, informes de desarrollo, informes al final de fase, informes al final de proyecto e informe sobre las lecciones.

1.2.3 Estrategias de riesgos

En la gestión de riesgos se han considerado dos formas de clasificar las estrategias para controlar los mismos: reactivas y proactivas.

Estrategia de Riesgos Reactiva:

La estrategia reactiva es la que reacciona en el momento que ocurren los problemas, para a partir de ahí combatirlos. En el mejor de los casos, la estrategia reactiva supervisa el proyecto en previsión de posibles riesgos. Los recursos se ponen aparte, en caso de que pudieran convertirse en problemas reales, pero lo más frecuente es que el equipo de software no haga nada respecto a los riesgos hasta que algo esté mal. Después el equipo se agiliza para corregir el problema rápidamente. La gestión entra en crisis, encontrándose el proyecto en peligro real. (16)

Estrategia de Riesgos Proactiva:

La estrategia proactiva es la estrategia considerada como la más inteligente para el control del riesgo. Esta empieza mucho antes de que comiencen los trabajos técnicos. Se identifican los riesgos potenciales, se valoran su probabilidad y su impacto y se establece una prioridad según su importancia. Después el equipo de *software* establece un plan para controlar el riesgo. El primer objetivo es evitar el riesgo, aunque es poco común que todos puedan ser detectados. Entonces el equipo trabaja para desarrollar un plan de contingencia que le permita responder de una manera eficaz y controlada (16).

De las anteriores estrategias se utilizará en el presente trabajo de diploma, la gestión de riesgos proactiva, por ser más inteligente y eficaz pues trata el riesgo desde el inicio antes que ocurra lo peor, propiciando así que el equipo de *software* tenga un buen control y seguimiento de los riesgos.

1.3 Característica del problema de toma de decisiones.

El objetivo de la investigación está centrado al análisis de la gestión de riesgos para el proceso de toma de decisiones en una empresa. Para una mejor comprensión del tema se detalla la definición de problema de toma de decisiones que brindan algunos autores.

Un problema de toma de decisiones es el *“proceso de definición de problemas, recopilación de datos, generación de alternativas y selección de un curso de acción”*. (1)

Según (17) , *“la toma de decisión es una tarea habitual de la vida cotidiana. Constantemente la humanidad se enfrenta a situaciones en las que existen varias alternativas y, al menos en algunas ocasiones, se tiene que decidir cuál es mejor o cuál llevar a cabo”*.

Para el desarrollo de la investigación se asume el primer concepto mencionado que engloba todo el proceso de toma de decisión y define en etapas claras las tareas que se deben realizar.

El estudio realizado permitió conocer que los problemas de toma de decisiones se pueden clasificar según el ambiente de decisión, número de criterios, número de expertos, consideración de los cambios en el tiempo y dominios de expresión. En esta incorporación se profundizará en número de criterios y número de expertos, específicamente en los problemas multicriterio y multiexperto. A continuación, se muestran las clasificaciones mencionadas, junto a una síntesis de su funcionamiento (ver Figura 4).

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

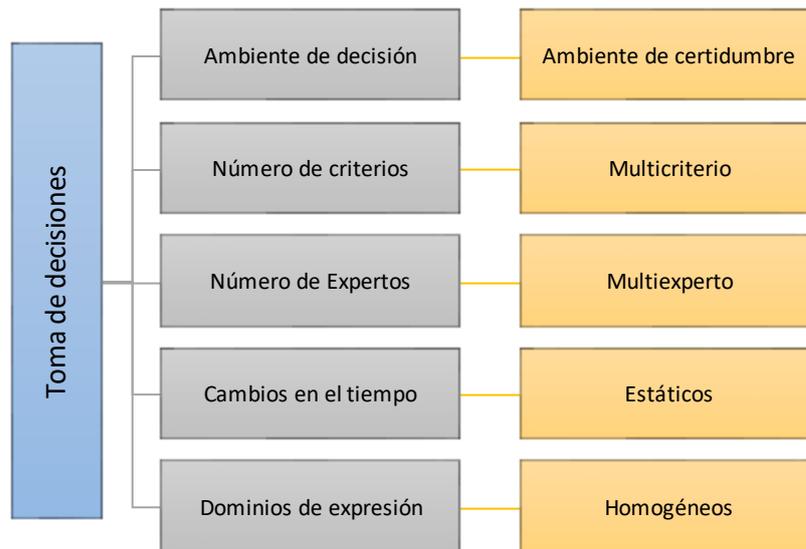


Figura 4 Clasificación de los Problemas de Toma de Decisiones (elaboración propia)

Ambiente de Decisión:

- Ambiente de Certidumbre: Un problema de decisión está definido en un ambiente de certidumbre si se conocen con exactitud todos los elementos o factores que intervienen en el problema.
- Ambiente de Riesgo: Un problema de decisión está definido en un ambiente de riesgo si alguno de los elementos o factores que intervienen están sujetos a las leyes del azar.
- Ambiente de Incertidumbre: Un problema de decisión está definido en un ambiente de incertidumbre si la información disponible sobre las distintas alternativas puede ser incompleta, vaga o imprecisa, lo que implica que la utilidad asignada a cada alternativa tenga que ser valorada de forma cualitativa.

Número de Criterios:

- Problemas con un sólo criterio o atributo: Problemas de decisión en los que, para evaluar las alternativas, se tiene en cuenta un único criterio o atributo que representa la valoración dada a esa alternativa.
- Problemas multicriterio o multiatributo: Problemas de decisión en los que, para evaluar las alternativas, se tienen en cuenta dos o más criterios o atributos que definen cada alternativa.

Número de Expertos:

- Unipersonales o Individuales: Las decisiones son tomadas por un único experto. En los problemas de decisión unipersonal o individual, cada alternativa es valorada por un único experto.
- En Grupo o Multiexperto: Las decisiones son tomadas en conjunto por un grupo de expertos que intentan alcanzar una solución al problema.

Consideración de los cambios en el tiempo:

- Estáticos: El punto de vista tradicional o clásico de la toma de decisión. 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: 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. Las alternativas y criterios valorados no son necesariamente fijos. El comportamiento temporal de las alternativas influirá en las decisiones.

Dominios de Expresión:

- Homogéneos: Todas las preferencias son emitidas con el mismo dominio de información.
- Heterogéneos o no-homogéneos: Las preferencias son emitidas con más de un dominio de información.

El proceso general de Toma de Decisiones puede llegar a tener ocho fases, pero se puede redefinir según las particularidades de las problemáticas y los objetivos que intenten cumplir. Para esta contribución se simplificó el proceso a tres fases principales, las cuales se explican a continuación (Ver Figura 5).

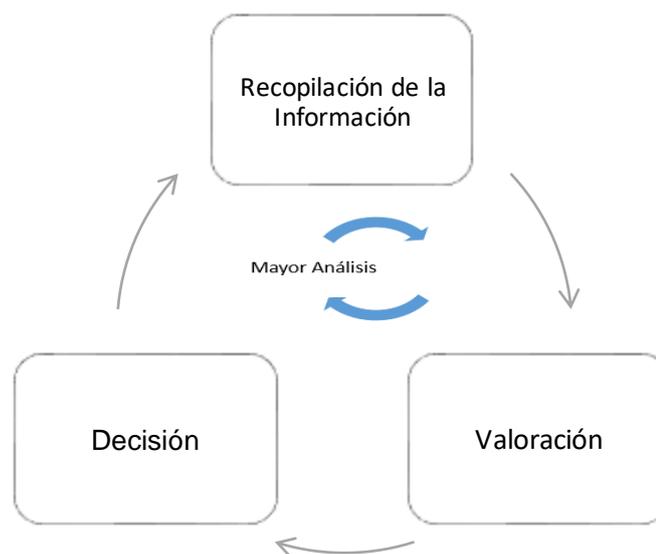


Figura 5 Proceso de Toma de Decisiones (elaboración propia)

1. **Recopilación de información:** Se identifican cada uno de los riesgos que pueden afectar el objetivo del proyecto y se clasifican según los criterios establecidos.
2. **Valoración:** Se presentan el conjunto de alternativas o variantes por cada experto basadas en el uso de los criterios especificados.
3. **Decisión:** Se aplica el método especificado por el autor, para la priorización de los riesgos, donde se obtiene la lista de riesgos priorizados a partir del juicio emitido por los expertos.

1.4 Toma de decisiones en la Gestión de riesgos

La toma de decisiones es uno de los procesos más difíciles a los que se enfrenta el ser humano. Siempre hay que tener en cuenta que cada persona afronta la resolución de problemas de una forma diferente, basada en su experiencia y su historia de reforzamiento. A diario se toman decisiones, algunas veces son fáciles de tomar, en otras ocasiones hay que pensar mucho antes de decidir, por lo tanto: decidir es elegir.

La esencia de asumir responsabilidades está en tomar decisiones y la mayoría de las decisiones que se deben tomar son decisiones frente a algún grado de incertidumbre. Es decir, que, aunque busquen información y se trabaje hasta el cansancio analizando las alternativas y sus posibles resultados, no sabrán las consecuencias de sus decisiones hasta que las tomen. Además, no hay nada que garantice que las condiciones en las que se tomó la decisión sigan siendo las mismas, ya que se está en un medio que cambia constantemente; aunque las que se toman sin previo análisis, al azar, están más expuestas que aquellas que siguen el proceso adecuado. Simón dijo: “constantemente opta por el curso de acción que se considere lo “suficientemente bueno” a la luz de las circunstancias dadas en ese momento”.

Métodos de decisión multicriterio discretos

La aparición hacia 1943 de los trabajos de *V. Neumann-Morgenstern* representa el punto de partida del tratamiento científico de los problemas de decisión individual y también de las decisiones de concurrencia: juegos de estrategia, negociaciones, etc. Las investigaciones de *Arrow* son paralelamente, a partir de 1951, el origen del estudio de los problemas de las decisiones colectivas, fundamentales en la vida política de las sociedades modernas.

El problema de tomar decisiones en ambiente de riesgo o de incertidumbre está asociado a juegos de azar, que se estudiaron científicamente a partir de Pascal y Fermat (1654), pero es *Huygens* (1657) quien introduce la noción de esperanza matemática del valor monetario sobre la que se basa una regla de decisión practicada, más o menos conscientemente, por los jugadores de azar durante siglos, a saber: maximizar el valor monetario esperado, es decir, la suma de los productos de las probabilidades de los sucesos posibles por las ganancias correspondientes. Esta regla permanece como una evidencia indiscutible, asociada a la interpretación frecuencial de la probabilidad, hasta Daniel Bernoulli que, en 1738, resuelve la paradoja de San Petersburgo y publicó un importante trabajo, en el que aportó ideas importantes para el tratamiento de las decisiones en riesgo o juegos, que él llamaba brevemente riesgos. Refiriéndose a la regla del valor esperado dice Bernoulli: el proceso de decisión depende de los valores, circunstancias y preferencias del decisor. Durante la década de los 90, y en especial a finales de la misma, los métodos de toma de decisión multicriterio (MCDM, del inglés *Multi-Criteria Decision Making*) han comenzado a trascender del ámbito académico y se han extendido al ámbito público y empresarial. Hoy en día estas técnicas se emplean con múltiples y diversas finalidades: localización de empresas, selección de maquinaria o

contratistas, predicciones financieras, definición de estrategias empresariales, análisis y selección de inversiones, análisis y selección de alternativas en infraestructuras, como es el caso de este artículo, etc. Los métodos de decisión multicriterio son poderosas herramientas que ayudan a generar consenso en contextos complejos de decisión.

Es muy importante hacer una distinción entre casos, si se tiene un simple o múltiple criterio. Dentro de los problemas multicriterio se pueden distinguir dos grupos diferenciados. Por un lado, aquellos problemas de decisión en los que el conjunto de alternativas a considerar por parte del centro decisor es infinito, tanto en el caso monocriterio como en el multicriterio, suelen denominarse problemas continuos dado el carácter matemáticamente continuo del conjunto de soluciones factibles. Por otra parte, se encuentran los problemas de decisión de tipo discreto en los que el conjunto de alternativas a considerar por parte del decisor es finito y normalmente no muy elevado. El interés práctico de los problemas multicriterio discretos resulta evidente. Así pues, existen multitud de contextos de decisión en los que un número reducido de alternativas o elecciones posibles deben evaluarse en base a varios criterios.

Como se ha indicado, un problema de decisión puede tener un simple o varios criterios. Entonces la decisión puede ser tomada implícitamente mediante la determinación de la alternativa que mejor valor se obtenga para este único criterio. En este caso se tiene una clásica forma de un problema de optimización. Si se tiene un número finito de criterios y un número ilimitado de posibles alternativas (las cuales cumplen los requerimientos) se encuentran en el campo de optimización de múltiple criterio.

Los métodos que se describen en los siguientes epígrafes, se centran en problemas de decisión cuando el número de criterios y alternativas es finito, y las alternativas son dadas o conocidas de forma explícita.

Dentro de los Métodos de Decisión Multicriterio (MCDM) se pueden distinguir dos grupos o familias principales, por una parte, los métodos basados en la llamada Teoría de la Utilidad Multi-atributo (*MAUT – Multi-attribute Utility Theory*), propios de la Escuela Americana y por otro los métodos llamados de Superación o Sobreclasificación o *Outranking*, propios de la Escuela Europea, conocida hasta hace poco como Escuela Franco-Belga. (17)

La familia de los métodos de MAUT consiste en agregar los diferentes criterios a una función, la cual tiene que ser maximizada. El concepto de superación o sobreclasificación fue propuesto por Roy (1968). La idea básica es como sigue: la alternativa A_i supera a la alternativa A_j si para la mayor parte de los criterios A_i es al menos igual de buena que A_j (condición de concordancia), mientras que no hay ningún criterio para el cual sea notoriamente inferior (condición de discordancia). Después de determinar para cada par de alternativas si una supera a otra, esta pareja debe ser combinada en un ranking parcial o completo. Contrariamente a los métodos MAUT, donde la alternativa con el mejor valor de la función agregada puede ser obtenida y considerada como la

mejor alternativa, en un ranking parcial de un método de superación la mejor alternativa no se puede estimar como mejor alternativa directamente.

Elementos del problema de decisión

En primer lugar, antes de profundizar en el estudio de los métodos de decisión que se desarrollan y aplican en esta investigación, es necesario conocer y definir los elementos que componen un problema de decisión.

1. Criterios de decisión: Los criterios de decisión $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ pueden definirse como las condiciones o parámetros que permiten discriminar alternativas y establecer preferencias del decisor, son elementos de referencia en base a los cuales se realiza la decisión. En la mayoría de problemas de decisión multicriterio resulta complicado establecer los criterios, no obstante, su determinación resulta un paso esencial en el proceso y deben cumplir una serie de requisitos para ser adecuados.

2. Pesos: Los pesos o ponderaciones son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor. Asociado con los criterios, se asigna un vector de pesos $[w] = [w_1, \dots, w_n]$, siendo n el número de criterios. El peso w_i refleja la relativa importancia del criterio C_i en la decisión, y es asumido que es positivo. En los problemas de toma de decisiones multicriterio es muy frecuente que los criterios tengan distinta relevancia para el decisor, aunque esto no significa que los criterios menos importantes no deban ser considerados. Existen en la bibliografía diferentes formas de asignación de pesos. Las más habituales son:

2.1. Método de asignación directa: Aquel en el que el decisor asigna directamente valores a los pesos. Se pueden asignar de diferentes formas: por ordenación simple, por tasación simple o por comparaciones sucesivas. El método de tasación simple, por ejemplo, consiste en pedir al decisor que dé una valoración de cada peso en una cierta escala (0 a 5, 0 a 10, etc.); una vez obtenidas las valoraciones, éstas se normalizan dividiendo cada valor por la suma de todos ellos.

2.2. Método del autovector: en este método los pesos asociados a cada criterio son las componentes del autovector asociado al autovalor dominante de una matriz de comparaciones pareadas entre los criterios. Este método de asignación de pesos es el utilizado en la metodología desarrollada en este artículo a través del método AHP, Proceso Jerárquico de Análisis.

3. Alternativas: Las alternativas son los diferentes enfoques para la resolución del problema. En el caso de problemas de decisión multicriterio discretos, las alternativas se definen como el conjunto finito de soluciones, estrategias, acciones, decisiones, etc. posibles que hay que analizar durante el proceso de resolución del problema de decisión que se considere. La descripción de cada alternativa deber mostrar de manera clara cómo se resuelve el problema definido y en qué difiere de otras alternativas.

El conjunto de alternativas se designa por $A=\{A_1,A_2,\dots,A_m\}$ donde A_i ($i=1,2,\dots,m$) son cada una de las alternativas posibles. Cada conjunto de alternativas A son alternativas diferentes, excluyentes y exhaustivas (Ver Figura 6).

		Criterios y pesos asociados					
		C_1	C_2	...	C_j	...	C_x
Alternativas	A_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1j}	...	a_{1x}
	A_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2j}	...	a_{2x}
	Valoraciones	
	A_i	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{ij}	...	a_{ix}

	A_m	a_{m1}	a_{m2}	...	a_{mj}	...	a_{mx}

Figura 6 Matriz de decisión (elaboración propia)

Matriz de valoración o decisión: Una vez establecidos los criterios y sus pesos asociados, el decisor es capaz de dar, para cada uno de los criterios considerados y para cada alternativa del conjunto de elección, un valor numérico o simbólico A_{ij} a que expresa una evaluación o juicio de la alternativa A_i respecto al criterio C_j . Esta evaluación puede ser numérica o verbal y se puede representar en forma de matriz, matriz de valoración o de decisión. Cada fila de la matriz expresa cualidades de la alternativa A_i respecto a los n criterios considerados. Cada columna de la matriz recoge las evaluaciones o juicios emitidos por el decisor de todas las alternativas respecto al criterio C_j . (18)

1.5 Análisis de algoritmos para la toma de decisiones

Con independencia de si la empresa se encuentra en una época de abundancia o en época de escasez, aunque especialmente relevante en estas últimas, tienen que asegurar que los medios de los que se disponen se gastan de manera eficiente en actividades que aportan valor a las organizaciones. Por eso, es muy importante establecer mecanismos que permitan conocer a qué dedican los recursos, identificar qué actividades y proyectos pueden aportar un mayor valor y enfocar los recursos a dichas actividades es una diligencia que traerá frutos para el buen desarrollo de cualquier proyecto. En este entorno, las herramientas de gestión de proyectos se convierten en un instrumento muy interesante para apoyar la actividad de las empresas, aunque su uso variará en función del tipo de empresa y su tamaño.

En la bibliografía existente se describen múltiples enfoques para el desarrollo y muestreo de la gestión de riesgo, los cuales están asociados a las posibilidades de elección. A continuación, se realiza un análisis detallado de cada uno de los enfoques existentes.

1. Conjunto continuo de alternativas

Optimización

- Programación multiobjetivo (MOP)
- Programación compromiso (CP)

Satisfacción

- Programación por metas (GP)

2. Conjunto discreto de alternativas

- Teoría de la utilidad multiatributo (MAUT)
- Proceso analítico jerárquico (AHP)
- Métodos de sobreclasificación (Electre, Promethee)

Para el desarrollo de la investigación se decide emplear el AHP, desarrollado por Thomas Saaty, ampliamente extendido para todo tipo de problemas; debido a que:

- No requiere obtener la solución en el menor tiempo.
- Fácil de entender por los decisores.
- No conlleva mucho cálculo.
- En muchos casos, ha sido el que más se ha acercado a las verdaderas preferencias.

Valoración del Autor

A partir de la descripción detallada de cada una de los enfoques investigados, se pudo constatar que, aunque estos posibilitan la gestión de los riesgos de un proyecto, hay muchos objetivos que deben ser medidos teniendo en cuenta las características del centro de estudio, lo que dificulta el análisis valorativo de los riesgos ya que la información emitida por el grupo de prevención y riesgo es excesiva para los decisores y el coste computacional es muy alto.

1.6 Métodos MAUT y método AHP

La base de los métodos MAUT es el uso de la función de utilidad. Estos métodos parten del supuesto de que el decisor trata de maximizar una función de utilidad que agrega los distintos criterios que intervienen en el problema. Cuando el problema es discreto y no existe una situación de incertidumbre, esta función se denomina función valor. MAUT asume que un problema de decisión puede modelarse mediante funciones valoradas reales que pueden ser maximizadas o minimizadas entre las alternativas. Los métodos basados en la función de valor consisten en construir una función (v) que asocia un número real a cada una de las alternativas posibles. Este número refleja el valor

o la utilidad que cada alternativa tiene para el decisor. La principal dificultad de estos métodos consiste precisamente en encontrar dicha función de valor, pero una vez obtenida, el problema de decidir la mejor de las alternativas se reduce a obtener el máximo o el mínimo de todos los valores calculados.

Dentro de los métodos MAUT, se encuadra el método Proceso Jerárquico de Análisis o método AHP, por sus siglas en inglés. A continuación, se detalla el método AHP, por su particularidad respecto al resto de métodos MAUT y por ser el método que se aplica en el caso que desarrolla en esta investigación.

El Proceso Jerárquico de Análisis, fue desarrollado en la década de los 70, del pasado siglo XX, por el matemático Thomas L. Saaty para resolver el tratado de reducción de armamento estratégico entre los Estados Unidos y la antigua URSS. Este proceso es un sistema flexible de metodología de análisis de decisión multicriterio discreta (número finito de alternativas u opciones de elección).

El AHP es uno de los métodos de decisión multiatributo más ampliamente utilizado. Su metodología se basa en comparación por parejas de la siguiente forma: ¿Cómo de importante es el criterio C_i respecto al C_j ? Preguntas de este tipo se utilizan para establecer los pesos de los diferentes criterios y priorizar las alternativas. De esta forma, también permite no solo valorar las diferentes alternativas, sino también establecer por comparaciones pareadas la importancia relativa de cada criterio respecto al resto, y establecer un vector de pesos.

El AHP, mediante la construcción de un modelo jerárquico, permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema de decisión, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar. En palabras de su propio autor: "Trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión."

La primera parte del método AHP consiste en establecer la jerarquía del problema de decisión. Para ello, se define el objetivo del problema de decisión en un primer nivel jerárquico, a continuación, los criterios y en un último nivel se establecen las alternativas o diferentes soluciones del problema. (18)

1.7 Método AHP

Para la presente investigación es importante diseñar un método de selección, ya que es un proceso de decisión donde existen múltiples objetivos. Este proceso se basa en que los elementos que afectan la decisión (es decir los criterios utilizados para tomar las decisiones y las alternativas de selección), son representados en niveles, el nivel más alto comprende las alternativas de selección. Una vez se construye la jerarquía el procedimiento consiste en priorizar: que consiste en dar una importancia relativa a cada elemento en cada nivel de dicha jerarquía. En la tabla 2 se muestran el grupo de decisión para cada uno de los criterios evaluados.

Tabla 2 Criterios a utilizar (elaboración propia)

Criterio (C4): Recursos Humanos	Criterio (C3): Atraso en el cronograma	Criterio (C2): Probabilidad	Criterio (C1): Impacto económico
Ligero	Ligero	Casi nula	Ligero
Serio	Serio	Baja	Serio
Importante	Importante	Media	Importante
Muy importante	Muy importante	Alta	Muy importante
Extremo	Extremo	Muy alta	Extremo

El método AHP utiliza una estrategia de asignación indirecta, por lo que el decisor sólo tiene que realizar una valoración sobre la importancia del criterio verbalizada en términos cualitativos y después acudir a una escala, que previamente ha sido establecida, para obtener los valores numéricos que se corresponden con su valoración. Por tanto, como paso previo a la resolución del problema de asignación de pesos, se debe definir la correspondencia entre la valoración cualitativa del decisor y la asignación numérica. La escala sugerida por Saaty es la siguiente:(ver Tabla 3).

Tabla 3 Escala numérica de comparaciones (elaboración propia)

Escala Numérica	Escala Verbal	Explicación
1	Igual importancia.	Dos actividades contribuyen por igual al objetivo.
3	Importancia moderada de un elemento sobre el otro.	La experiencia y el juicio están a favor de un elemento sobre otro.
5	Importancia fuerte de un elemento sobre el otro.	Un elemento es fuertemente favorecido.
7	Importancia muy fuerte de un elemento sobre el otro.	Un elemento es muy dominante.
9	Importancia extrema de un elemento sobre el otro.	Un elemento es favorecido por al menos un orden de magnitud de diferencia.

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

2,4,6,8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	
---------	---	--

Cuando se tiene la matriz de comparación se deben obtener los pesos relativos para cada elemento, lo cual no es otra cosa que un auto vector normalizado que se asocia a aquel mejor juicio o el de mayor auto valor.

Una vez construida la estructura jerárquica del problema se da paso a la segunda etapa del proceso de AHP: la valoración de los elementos. Para ello, el decisor realiza la valoración de los criterios a través de comparaciones pareadas, y de igual forma, valora las diferentes alternativas respecto a cada criterio, es decir, el decisor tiene que emitir juicios de valor sobre la importancia relativa de los criterios y de las alternativas, de forma que quede reflejado la dominación relativa, en términos de importancia, preferencia o probabilidad, de un elemento frente a otro. El AHP permite realizar las comparaciones pareadas basándose tanto en factores cuantitativos como cualitativos, ya que para ellos se utiliza la escala propuesta por Saaty.

El decisor puede expresar sus preferencias entre dos elementos verbalmente y representar estas preferencias descriptivas mediante valores numéricos. De esta forma cuando dos elementos sean igualmente preferidos o importantes el decisor asignará al par de elementos un "1"; "3" indica importancia moderada de un elemento sobre otro; "5", importancia fuerte de un elemento sobre otro; "7", importancia muy fuerte de un elemento sobre otro; y finalmente "9" indica extremadamente preferido o importancia de un elemento sobre otro. Los números pares se utilizan para expresar situaciones intermedias. La escala verbal utilizada en el AHP permite al decisor incorporar subjetividad, experiencia y conocimiento al proceso de decisión. Esta escala está justificada teóricamente y su efectividad ha sido validada empíricamente aplicándola a diferentes situaciones reales con aspectos tangibles para los que se ha comportado adecuadamente. (18)

1.8 Conclusiones

En el capítulo anterior se realizó la consulta de antecedentes bibliográficos con el objetivo de comprender cómo se ha incluido los riesgos como área de conocimiento en la gestión de proyectos e identificar la estructura que plantean modelos de gestión de riesgos por lo que se pudo conocer la evolución o desarrollo de la aplicación de esta área en diferentes trabajos de investigación. La búsqueda en artículos de investigación, tesis, libros y normatividad relacionada con el tema de estudio, permitió encontrar diferentes modelos sobre la Gestión de Riesgos, identificando sus etapas o bien la estructura que presentan, las técnicas o herramientas sugeridas, enfoques identificando las convergencias y aspectos significativos de cada uno.

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Los resultados obtenidos en el presente capítulo evidencian mediante el impacto positivo de la implementación de una herramienta para la toma de decisiones durante la Gestión de Riesgos en una organización que desarrolla proyectos de investigación.

Capítulo 2. Descripción del algoritmo.

En el presente capítulo se muestra la estrategia de inicio para la elaboración del algoritmo. Se analizan las tecnologías y herramientas a emplear en la confección del sistema que dará solución a la situación planteada. Contiene los principales artefactos a generar en cada etapa.

2.1 Jerarquía para el control de riesgos

Para la definición de los riesgos se realizó una entrevista a cinco expertos del Centro de Estudios de Matemática Computacional (CEMC), quedando definidos en la tabla

Tabla 4 Riesgos

Identificador	Riesgos
R1	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
R2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
R3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
R4	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

La jerarquía definida comprende cuatro criterios para evaluar la prioridad a tener en cuenta en cada uno de los riesgos, de forma ilustrativa, para comprender el procedimiento propuesto por el método AHP. Cada uno de los criterios fueron divididos por subniveles, para la futura construcción de matrices como herramienta de apoyo para la toma de decisiones por parte de los expertos (Ver Figura 7).

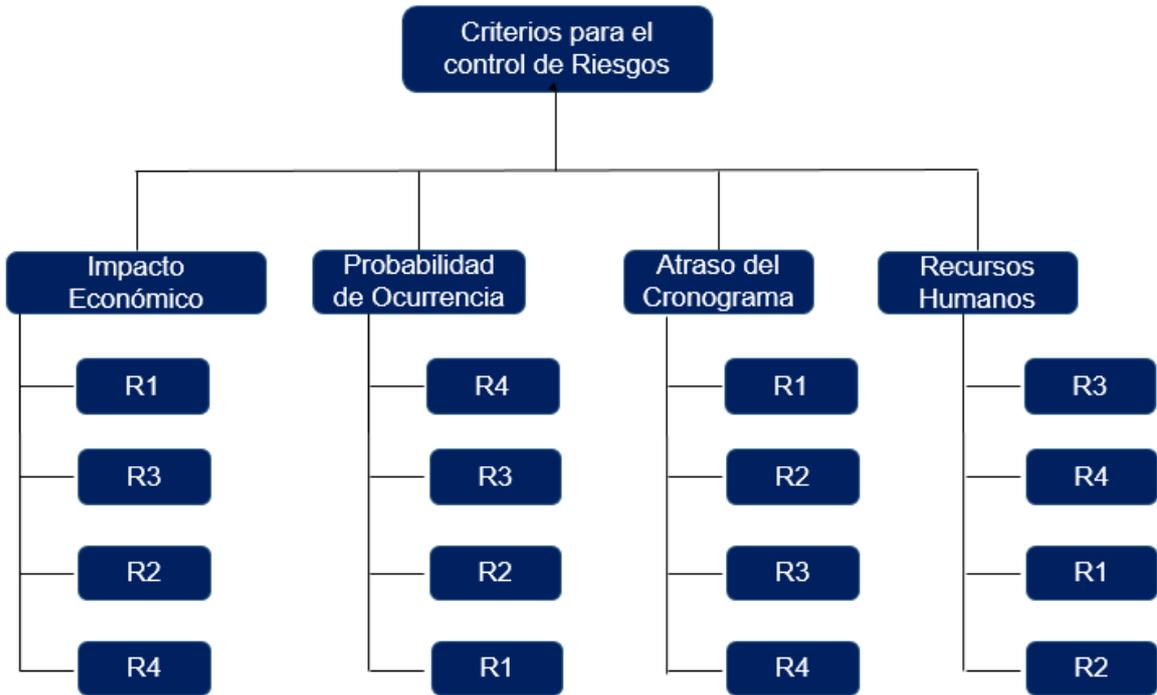


Figura 7 Jerarquía propuesta de los criterios para el control de riesgos

Después de realizar las comparaciones respectivas al desarrollo del método AHP, se obtuvo la siguiente lista priorizada de los riesgos.

Tabla 5 Resultados alcanzados en la primera iteración

Orden de prioridad
Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto
Fallos excesivos del fluido eléctrico
Falta de capacitación a los integrantes del proyecto

2.2 Herramientas y tecnologías

En el presente epígrafe se justifica la elección de las tecnologías y herramientas necesarias para el desarrollo de esta tarea. La solución estará desarrollada con herramientas y tecnologías libres, y sustentada sobre tecnología desktop.

2.2.1 Lenguaje de modelado

El Lenguaje de Modelado Unificado (UML), es el lenguaje de modelado de sistemas de software más conocido y utilizado en la actualidad, respaldado el mismo por el Grupo de Administración de Objetos OMG (por sus siglas en inglés de Object Management Group). UML tiene una notación gráfica muy expresiva que permite representar en mayor o menor medida todas las fases de un proyecto informático: desde el análisis con los casos de uso, el diseño con los diagramas de clases y objetos, hasta la implementación y configuración con los diagramas de despliegue. (30)

En resumen, UML es un lenguaje para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema que involucra una gran cantidad de software y está compuesto por diversos elementos gráficos que se combinan para conformar diagramas, los cuales tiene la finalidad de presentar diversas perspectivas de un sistema. (31)

2.2.2 Herramienta de modelado

Visual Paradigm es una herramienta CASE³ de modelado visual que facilita la construcción de artefactos en un proceso de desarrollo de software mediante el Lenguaje de Modelado Unificado (UML). Esta herramienta resulta ser una potente multiplataforma y a su vez es fácil de usar. Proporciona a los desarrolladores de software una plataforma de desarrollo para construir aplicaciones de calidad más óptimas y de menor costo. Posee capacidades de ingeniería directa e inversa, puede integrarse a los principales entornos de desarrollo y posee disponibilidad de múltiples versiones para cada necesidad. (32)

Las ventajas que proporciona Visual Paradigm para UML son:

- 3 Dibujo: facilita el modelado de UML, ya que proporciona herramientas específicas para ello. Esto también permite la estandarización de la documentación, ya que la misma se ajusta al estándar soportado por la herramienta.
- 4 Corrección sintáctica: controla que el modelado con UML sea correcto.
- 5 Coherencia entre diagramas: al disponer de un repositorio común, es posible visualizar el mismo elemento en varios diagramas, evitando duplicidades.
- 6 Integración con otras aplicaciones: permite integrarse con otras aplicaciones, como herramientas ofimáticas, lo cual aumenta la productividad.
- 7 Trabajo multiusuario: permite el trabajo en grupo, proporcionando herramientas de compartición de trabajo.
- 8 Reutilización: facilita la reutilización, ya que disponemos de una herramienta centralizada donde se encuentran los modelos utilizados para otros proyectos.

³ Siglas en inglés de Computer Aided Software Engineering lo que en español sería Ingeniería de Software Asistida por Ordenador.

- 9 Generación de código: permite generar código de forma automática, reduciendo los tiempos de desarrollo y evitando errores en la codificación del software.
- 10 Generación de informes: permite generar diversos informes a partir de la información introducida en la herramienta. (33)

2.2.3. Lenguajes de programación

2.2.3.1. Python (v 3.7)

Python es uno de los lenguajes de programación más utilizados en la actualidad para una gran variedad de proyectos debido, básicamente, a que está orientado a objetos y, además, soporta la programación imperativa y funcional, satisfaciendo las necesidades de prácticamente cualquier programador. Además, este lenguaje de programación es sencillo de leer y comprender, lo que sin duda es de agradecer para los nuevos programadores (cada vez más) que apuestan por él.

Este lenguaje de programación apareció por primera vez en 1991, y desde entonces ha cambiado mucho, siendo un lenguaje de lo más completo en cuanto a funciones y características, además de ser seguro y, sobre todo, sencillo de comprender a la hora de leer y analizar el código.

Python 3.7 cuenta con una gran cantidad de cambios y mejoras a nivel interno de manera que los programas estén mucho más optimizados y funcionen mejor al hacerlo sobre esta versión del lenguaje de programación. A continuación, se presentan algunas de las ventajas que este ofrece:

- Las clases de datos reduce el *Boilerplate* (secciones de código reutilizada en varias partes del programa)
- Se incluye un modo desarrollo en el intérprete para mejorar la depuración del código.
- Los objetos del tiempo se miden en nanosegundos.
- UTF-8 es el codificador de caracteres por defecto.
- Muchas mejoras en el depurador de código. (19)

Las características del lenguaje de programación Python se resumen a continuación:

- Es un lenguaje interpretado, no compilado, usa tipado dinámico.
- Es multiplataforma, lo cual es ventajoso para hacer ejecutable su código fuente entre varios sistemas operativos.
- Es un lenguaje de programación multiparadigma, el cual soporta varios paradigmas de programación como orientación a objetos, estructurada, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional.
- En Python, el formato del código (p. ej., la indentación) es estructural. (20)

2.2.4. Entorno de Desarrollo Integrado.

2.2.4.1. Spyder:

Spyder (*Scientific Python Development Environment*) es un entorno de desarrollo interactivo para el lenguaje *Python*. Posee funciones avanzadas de edición, pruebas interactivas, depuración e introspección y un entorno informático numérico. Gracias al soporte de *IPython* (*Matplotlib* intérprete interactivo mejorado de *Python*) y bibliotecas populares de *Python* como *NumPy*, *SciPy* o (trazado interactivo *2D / 3D*). *Spyder* también se puede usar como una biblioteca que proporciona *widgets* potentes relacionados con la consola para aplicaciones basadas en *PyQt*. Se puede utilizar para integrar una consola de depuración directamente en el diseño de su interfaz gráfica de usuario. Este IDE se liberó bajo la licencia de MIT. *Spyder* es extensible con complementos. Incluye soporte de herramientas interactivas para la inspección de datos e incorpora controles de calidad específicos de *Python* e instrumentos como *Pyflakes*, *Pylint* y *Rope*.

Como ya se ha dicho, es un IDE multiplataforma a través de *Anaconda*, en *Windows* con *WinPython* y *Python* (x, y), en *macOS* a través de *MacPorts*. También está disponible para las principales distribuciones de *Gnu/Linux* como *Arch Linux*, *Debian*, *Fedora*, *Gentoo Linux*, *openSUSE* y *Ubuntu*

Características generales de *Spyder*:

- El editor que integra este IDE es multilenguaje. Posee un navegador de función/clase, funciones de análisis de código (*pyflakes* y *pylint* son actualmente compatibles), la opción de finalización de código, división horizontal y vertical y definición goto.
- Consola interactiva. Las consolas *Python* o *IPython* son un espacio de trabajo y soporte de depuración para evaluar al instante el código escrito en el Editor. También viene con la integración de figuras *Matplotlib*.
- Posee un visor de documentación. El programa podrá mostrar documentación para cualquier llamada de clase o función realizada en el Editor o en una consola.
- Otra de las características que ostenta el IDE es que permite explorar las variables creadas durante la ejecución de un archivo, las cuales van a ser posible editarlas con varios editores basados en GUI, como un diccionario y los de matriz *Numpy*.
- Cuenta con la posibilidad de buscar en archivos. También va a ofrecer soporte de expresiones regulares.
- Dispone de un explorador de archivos para una mayor comodidad. Se podrá también tener acceso al registro del historial.
- *Spyder* también se puede utilizar como una biblioteca de extensión *PyQt5 / PyQt4* (*spyder de módulo*). El *widget* de shell interactivo de *Python* utilizado en *Spyder* puede estar integrado en su propia aplicación *PyQt5 / PyQt4*. (20)

- Se puede consultar el código fuente del proyecto y sus características en la página de GitHub del proyecto. (19)

2.2.5. Bibliotecas:

2.2.5.1. Numpy:

Numpy es una librería de Python muy utilizada a la hora de simplificar el trabajo con matrices y vectores, es decir, dentro del área del Álgebra Lineal, en el fondo usa otras librerías codificadas en FORTRAN y C++ para todo lo que significa operaciones. Se trata de librerías muy conocidas en el cómputo científico tales como *Lapack*, *Atlas* e incluso *Intel MKL* que es una versión optimizada de las anteriores y que emplea los conocimientos profundos que Intel tiene sobre sus propios procesadores para optimizar a nivel instrucción de máquina.

Numpy y Python son únicamente interfaces que facilitan el uso de estas librerías, es por eso que se dice que Python es un excelente lenguaje “pegamento” algo parecido a lo que ocurre con los materiales prefabricados de construcción.

- Python tiene listas, enteros, punto flotante, etc. Para cálculo numérico se necesitan más, allí aparece Numpy.
- Numpy es un paquete que provee a Python con arreglos multidimensionales de alta eficiencia y diseñados para cálculo científico.

Un array puede contener:

- Tiempos discretos de un experimento o simulación.
- Señales grabadas por un instrumento de medida.
- Píxeles de una imagen, etc.

El objeto arreglo

- Los arreglos de NumPy son de tipado estático y homogéneo.
- Son más eficientes en el uso de la memoria.
- Las funciones matemáticas complejas y computacionalmente costosas (p.ej: la multiplicación de matrices) son implementadas en lenguajes compilados como C o Fortran. (20)

2.2.5.2. Pandas:

En Computación y Ciencia de datos, Pandas es una biblioteca de software escrita como extensión de NumPy para manipulación y análisis de datos para el lenguaje de programación Python. En particular. Ofrece estructuras de datos y operaciones para manipular tablas numéricas y series

temporales. Es un *software* libre distribuido bajo la licencia BSD versión tres cláusulas.¹ El nombre deriva del término "datos de panel", término de econometría que designa datos que combinan una dimensión temporal con otra dimensión transversal.²

Características de la biblioteca

- Tipo de datos *DataFrame* para manipulación de datos con indexación integrada.
- Herramientas para leer y escribir datos entre estructuras de dato en-memoria y formatos de archivo variados.
- Alineación de dato y manejo integrado de datos faltantes.
- Reestructuración y segmentación de conjuntos de datos.
- Segmentación vertical basada en etiquetas, indexación elegante, y segmentación horizontal de grandes conjuntos de datos.
- Inserción y eliminación de columnas en estructuras de datos.
- Agrupación predefinida en la librería lo que permite realizar cadenas de operaciones dividir-aplicar-combinar sobre conjuntos de datos.
- Mezcla y unión de datos.
- Indexación jerárquica de ejes para trabajar con datos de altas dimensiones en estructuras de datos de menor dimensión.
- Funcionalidad de series de tiempo: generación de rangos de fechas y conversión de frecuencias, desplazamiento de ventanas estadísticas y de regresiones lineales, desplazamiento de fechas y retrasos.³

La biblioteca ha sido altamente optimizada en cuanto a rendimiento, con caminos de código crítico escritos en Cython o en [[C (lenguaje de programación) |C].⁴

Su principal desarrollador, Wes McKinney, empezó a desarrollar Pandas en el año 2008 mientras trabajaba en AQR Capital por la necesidad que tenía de una herramienta flexible de alto rendimiento para realizar análisis cuantitativo en datos financieros. Antes de dejar AQR convenció a la administración de la empresa de distribuir esta librería bajo licencia de código abierto. Otro empleado de AQR, Chang Ella, se unió en 2012 al esfuerzo de desarrollo de la biblioteca. (20)

2.2.5.3. Anaconda:

Anaconda es una distribución libre y abierta¹ de los lenguajes Python y R, utilizada en ciencia de datos, y aprendizaje automático (*machine learning*). Esto incluye procesamiento de grandes volúmenes de información, análisis predictivo y cómputos científicos. Está orientado a simplificar el despliegue y administración de los paquetes de software.²

Las diferentes versiones de los paquetes se administran mediante el sistema de gestión de paquetes *conda*, el cual lo hace bastante sencillo de instalar, correr, y actualizar *software* de ciencia de datos y aprendizaje automático como ser Scikit-team, TensorFlow y SciPy.³ La distribución Anaconda es utilizada por 6 millones de usuarios e incluye más de 250 paquetes de ciencia de datos válidos para Windows, Linux y MacOS. (20)

2.3. Modelo de dominio

Un modelo de dominio captura los tipos más importantes de objetos en el contexto del negocio. Los objetos del dominio representan los elementos que existen o los eventos que suceden en el entorno en el que trabaja. Todo ello se representa a través de clases relacionadas, mediante el lenguaje UML, con el objetivo de tener una mejor comprensión de la estructura y dinámica de la organización, los problemas actuales dentro de esta, e identificar las mejoras potenciales. (25)

Para representar los conceptos más significativos en el dominio del problema se realizará una modelación del dominio y se procederá a explicar cada uno de los conceptos que forman parte del mismo.

2.4. Diagrama de clases del dominio:

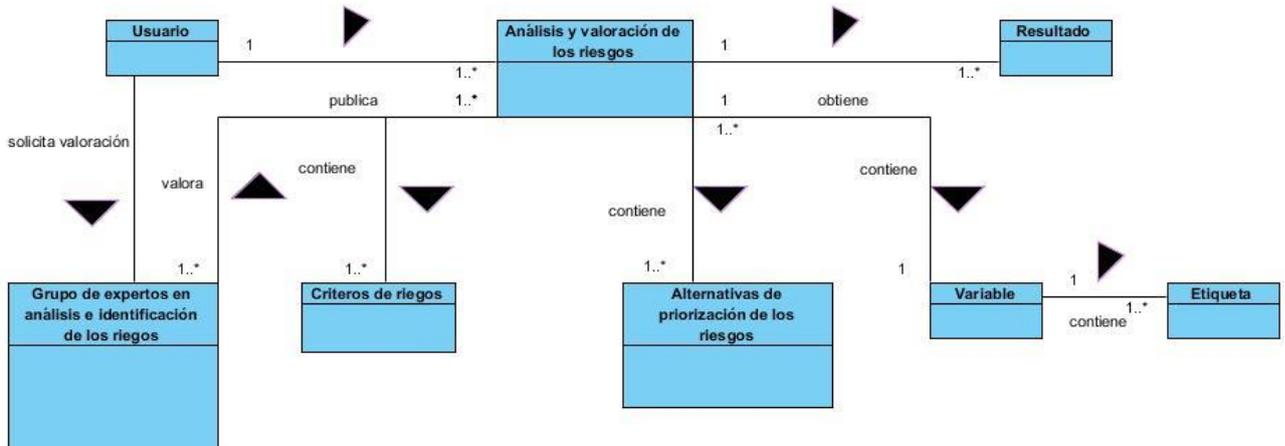


Figura 8 Diagrama de clases del dominio

2.4.3. Descripción del modelo de dominio

El usuario inserta cada uno de los riesgos y sus atributos como parte de la primera fase de la gestión de riesgo (Identificación de los riesgos) en busca de darle la prioridad más acertada para su posterior respuesta, y de esta forma disminuir el grado de incertidumbre en el proyecto. El problema estará compuesto por un grupo de alternativas de priorización y criterios de riesgos, sobre las cuales el grupo de expertos en análisis e identificación de los riesgos facilitan su valoración mediante el uso de las etiquetas asociadas a la variable utilizada, para poder conformar ideas mejor fundamentadas, y brindar un nivel mayor de calidad en sus respuestas. Estas valoraciones se realizarán luego de que el usuario (quien inserta el problema) haya culminado exitosamente la primera fase de la gestión

de riesgo y posteriormente utilice para el análisis y la valoración la opinión de los expertos que dominen este tema, los cuales son identificados y nombrados previamente como grupo de expertos para el análisis e identificación de los riesgos.

2.4.4. Definición de las clases del modelo de dominio

Usuario: Persona que accede al algoritmo con el objetivo de darle solución a un problema.

Análisis y valoración de los riesgos: Situación de análisis de la cual se espera una solución.

Resultado: Es la solución o respuesta de un problema.

Grupo de expertos en análisis e identificación de los riesgos: Grupo de personas nombradas en la primera fase de identificación de los riesgos las cuales son las encargadas de emitir valoraciones sobre el tema que esté en análisis.

Criterios de riesgos: Representa una parte del conjunto de riesgos analizados para caracterizar una alternativa.

Alternativas de priorización de los riesgos: Representa un conjunto de respuestas a partir del elemento que forma parte del conjunto de riesgos analizados que puede ser seleccionado como camino a seguir.

Variable: Representa un conjunto finito de etiquetas.

Etiqueta: Valor que puede tomar una variable.

2.5. Propuesta de algoritmo para la toma de decisiones en la gestión de riesgos :

A continuación, se detalla cómo quedará conformado el algoritmo propuesto como solución.

Entrada: El cliente inserta un Excel con una lista de riesgos y criterios en su primera hoja. Desde la segunda hoja hasta la hoja $n - 1$ se crean matrices de comparación pareada entre sus riesgos, así como en su hoja n la matriz de comparación de los criterios. Teniendo a n como cantidad total de hojas que tenga el Excel (la cual es proporcional al tamaño de la lista de criterios aumentada en 2).

1. Correr el algoritmo realizado.

Desglosando la tarea 1 en pasos:

- 1.1. Leer Excel insertado por el cliente.
- 1.2. Se recorren cada uno de las hojas hasta el final y se guardan sus datos en matrices. (en el caso de la hoja uno se lee en una lista).
- 1.3. Se calcula el vector propio de cada matriz.
- 1.4. Los vectores propios de cada matriz de riesgo se guardan en una matriz $n \times n$ (siendo n el tamaño de la lista de riesgos).

- 1.5. Luego se le halla la transpuesta a esta matriz, en donde cada columna está compuesta por el vector propio de cada matriz de riesgos, siguiendo el orden de las hojas.
- 1.6. Se multiplica dicha matriz de vectores propios de los riesgos por la matriz columna conformada por el vector propio de matriz pareada de criterios de tamaño $n \times 1$.

El resultado es un vector columna de tamaño $n \times 1$ al cual se le hace corresponder cada fila con su respectivo riesgo de la lista entrante por el cliente, dándole una prioridad relativa a cada uno de estos.

Salida: Devolver la lista de riesgos entrada por el cliente priorizado en otro Excel.

2.6. Conclusiones parciales

Las herramientas seleccionadas permiten la creación de un algoritmo que priorice los riesgos existentes en cualquier institución según el grado de afectación que puede llegar a causar. Este resuelve principalmente los problemas de análisis y valoración de los riesgos, así como un mejor entendimiento de la estrategia a seguir después de una valoración detallada por parte del usuario o cliente. La biblioteca Numpy posibilita el trabajo a la hora de aplicar el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

Capítulo 3. Implementación y pruebas del algoritmo

Luego de haber definido el funcionamiento del algoritmo anteriormente mencionado, así como haber desglosado paso a paso su marcha, los principales elementos que se muestran en el presente capítulo son las pruebas realizadas al mismo. Se expondrán propuestas de casos de pruebas, junto a sus resultados reales que permitirán mostrar lo antes planteado.

3.1 Validación del algoritmo propuesto

Para el proceso de validación de la investigación se tuvo en cuenta los criterios de un grupo de expertos, mostrándose los resultados de la posible lista priorizada según estos antes de correr el algoritmo. Luego se muestran las tablas de comparación pareada entre los riesgos respecto a cada uno de los criterios basándose en el criterio de cada experto, así como la tabla de comparación pareada de los criterios, mostrándose el resultado obtenido y posteriormente realizando una comparación entre esta lista priorizada resultante y la antes prevista por los expertos. Midiendo de esta manera la efectividad del mismo a la hora de reflejar el resultado de la manera más precisa posible.

Tabla 6 Lista de riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
Riesgo 2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

Tabla 7 Lista de criterios

Identificador	Criterio
Criterio 1	Impacto sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

Tabla 8 Orden de prioridad emitido por el grupo de expertos

	Orden de prioridad dado por el grupo de expertos
Riesgo 1	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
Riesgo 2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

Tabla 9 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1

	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4
R1	1.00	7.00	7.00	7.00
R2	0.14	1.00	0.25	0.25
R3	0.14	4.00	1.00	0.20
R4	0.14	3.00	5.00	1.00

Tabla 10 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4
R1	1.00	0.20	0.17	0.14
R2	5.00	1.00	3.00	0.20
R3	6.00	0.33	1.00	0.25
R4	7.00	5.00	4.00	1.00

Tabla 11 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4
R1	1.00	7.00	7.00	7.00
R2	1/7	1.00	2.00	3.00
R3	0.14	0.50	1.00	3.00
R4	0.14	0.33	0.33	1.00

Tabla 12 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	Riesgo 1	Riesgo 2	Riesgo 3	Riesgo 4
R1	1.00	2.00	0.33	0.33
R2	0.50	1.00	0.20	0.25
R3	3.00	5.00	1.00	2.00
R4	3.00	4.00	0.50	1.00

Tabla 13 Matriz de comparación pareada de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	6.00	7.00	7.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Criterio 2	0.17	1.00	1.00	3.00
Criterio 3	0.14	1.00	1.00	3.00
Criterio 4	0.14	0.33	0.33	1.00

Tabla 14 Resultados obtenidos

Orden de prioridad
Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico.
Fallos excesivos del fluido eléctrico.
Falta de capacitación a los integrantes del proyecto.
Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto.

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos.

Tabla 15 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
Riesgo 1	Riesgo 1
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3
Riesgo 4	Riesgo 4

Después de haberse realizado la comparación se puede concluir que en esta primera prueba los resultados obtenidos coinciden en un 100% con los antes previstos.

Prueba 2.

Tabla 16 Lista de riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Baja de los trabajadores
Riesgo 2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 6	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

Tabla 17 Lista de criterios

Identificador	Criterio
Criterio 1	Impacto económico sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

	Orden de prioridad dado por el grupo de expertos
Riesgo 1	Baja de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 4	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
Riesgo 6	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto
Riesgo 2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto

Tabla 18 Matriz de comparación pareada respecto al criterio1

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	1.00	0.20	4.00	0.14	3.00	0.17
R2	5.00	1.00	4.00	0.20	5.00	0.25
R3	0.25	0.25	1.00	0.11	5.00	0.20
R4	7.00	5.00	9.00	1.00	7.00	3.00
R5	0.33	0.20	0.20	0.14	1.00	0.20
R6	6.00	4.00	5.00	0.33	5.00	1.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Tabla 19 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	1.00	2.00	5.00	0.17	0.33	4.00
R2	0.50	1.00	3.00	0.50	7.00	3.00
R3	0.20	0.33	1.00	0.25	0.20	7.00
R4	6.00	2.00	4.00	1.00	2.00	0.17
R5	3.00	0.14	5.00	0.50	1.00	7.00
R6	0.25	0.33	0.14	6.00	0.14	1.00

Tabla 20 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	1.00	0.33	0.14	2.00	6.00	0.20
R2	3.00	1.00	0.20	0.33	5.00	0.33
R3	7.00	5.00	1.00	0.25	0.50	3.00
R4	0.50	3.00	4.00	1.00	6.00	0.33
R5	0.17	0.20	2.00	0.17	1.00	2.00
R6	5.00	3.00	0.33	3.00	0.50	1.00

Tabla 21 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
R1	1.00	0.33	0.25	0.20	4.00	0.33
R2	3.00	1.00	0.50	0.14	0.17	1.00
R3	4.00	2.00	1.00	3.00	0.50	2.00
R4	5.00	7.00	0.33	1.00	0.17	3.00
R5	0.25	6.00	2.00	6.00	1.00	7.00
R6	3.00	1.00	0.50	0.33	0.14	1.00

Tabla 22 Matriz de comparación pareada de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	4.00	3.00	0.50
Criterio 2	0.25	1.00	0.20	2.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Criterio 3	0.33	5.00	1.00	3.00
Criterio 4	2.00	0.50	1.00	1.00

Tabla 23 Resultado obtenido

1	Orden de prioridad		
2	Baja de los trabajadores		
3	Falta de personal en el proyecto por enfermedad		
4	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnologico		
5	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto		
6	Fallos excesivos del fluido eléctrico		
7	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto		

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos.

Tabla 24 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
Riesgo 1	Riesgo 1
Riesgo 5	Riesgo 5
Riesgo 4	Riesgo 4
Riesgo 6	Riesgo 6
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3

Prueba 3.

Tabla 25 Lista de riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Baja de los trabajadores
Riesgo 2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnologico
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad

Tabla 26 Lista de criterios

Identificador	Criterio
Criterio 1	Impacto económico sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

	Orden de prioridad dado por el grupo de expertos
Riesgo 1	Baja de los trabajadores
Riesgo 4	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 5	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnológico
Riesgo 2	Fallos excesivos del fluido eléctrico
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto

Tabla 27 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	1.00	0.25	4.00	0.14	3.00
R2	4.00	1.00	4.00	0.20	4.00
R3	0.25	0.25	1.00	0.11	5.00
R4	7.00	5.00	9.00	1.00	6.00
R5	0.33	0.25	0.20	0.17	1.00

Tabla 28 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	1.00	2.00	5.00	0.17	0.33
R2	0.50	1.00	3.00	0.50	7.00
R3	0.20	0.33	1.00	0.25	0.20
R4	6.00	2.00	4.00	1.00	2.00
R5	3.00	0.14	5.00	0.50	1.00

Tabla 29 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	1.00	0.33	0.14	2.00	6.00
R2	3.00	1.00	0.20	0.33	5.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

R3	7.00	5.00	1.00	0.25	0.50
R4	0.50	3.00	4.00	1.00	6.00
R5	0.17	0.20	2.00	0.17	1.00

Tabla 30 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	R1	R2	R3	R4	R5
R1	1.00	0.33	0.25	0.20	4.00
R2	3.00	1.00	0.50	0.14	0.17
R3	4.00	2.00	1.00	3.00	0.50
R4	5.00	7.00	0.33	1.00	0.17
R5	0.25	6.00	2.00	6.00	1.00

Tabla 31 Matriz de comparación pareada de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	4.00	3.00	0.50
Criterio 2	0.25	1.00	0.20	2.00
Criterio 3	0.33	5.00	1.00	3.00
Criterio 4	2.00	0.50	0.33	1.00

Tabla 32 Resultado obtenido

1	Orden de prioridad
2	Baja de los trabajadores
3	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
4	Ocurrencia de un incendio en el departamento tecnologico
5	Fallos excesivos del fluido eléctrico
6	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos. En la siguiente prueba solo se eliminó un riesgo de la anterior, manteniendo el mismo orden.

Tabla 33 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
---------------------------	---------------------------

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Riesgo 1	Riesgo 1
Riesgo 5	Riesgo 5
Riesgo 4	Riesgo 4
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3

Al eliminar un elemento la lista mantuvo el mismo orden de la prueba anterior coincidiendo en un 100% con el resultado previsto anteriormente.

Prueba 4.

Tabla 34 Lista de riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Ocurrencia de un huracán
Riesgo 2	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Problema con el pago de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 6	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
Riesgo 7	Cambios en el objetivo del proyecto
Riesgo 8	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
Riesgo 9	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

Tabla 35 Lista de criterios

Identificador	Criterios
Criterio 1	Impacto económico sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

	Orden de prioridad dado por el experto
Riesgo 1	Ocurrencia de un huracán
Riesgo 7	Cambios en el objetivo del proyecto
Riesgo 6	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
Riesgo 4	Problema con el pago de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 2	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 9	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto
Riesgo 8	Fallas tecnológicas dentro del proyecto

Tabla 36 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R1	1.00	3.00	5.00	6.00	4.00	3.00	6.00	5.00	4.00
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.25	3.00	5.00	0.50	0.25
R3	0.20	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	0.20
R4	0.17	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	0.33
R5	0.25	4.00	0.33	0.17	1.00	0.13	4.00	0.20	0.17
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	3.00	0.33
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	4.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	7.00
R9	0.25	4.00	5.00	3.00	6.00	3.00	0.25	0.14	1.00

Tabla 37 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R1	1.00	0.20	0.20	4.00	6.00	0.14	5.00	0.25	0.17
R2	5.00	1.00	0.25	0.25	0.17	0.33	0.20	0.14	0.20
R3	5.00	4.00	1.00	0.25	0.33	0.20	7.00	0.17	4.00
R4	0.25	4.00	4.00	1.00	0.20	0.17	3.00	7.00	0.20
R5	0.17	6.00	3.00	5.00	1.00	4.00	6.00	0.25	0.14
R6	7.00	3.00	5.00	6.00	0.25	1.00	3.00	0.17	4.00
R7	7.00	5.00	0.14	0.33	0.17	0.33	1.00	5.00	0.20
R8	4.00	7.00	6.00	0.14	4.00	6.00	0.20	1.00	6.00
R9	6.00	5.00	0.25	5.00	7.00	0.25	5.00	0.17	1.00

Tabla 38 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R1	1.00	0.20	4.00	0.20	4.00	6.00	0.50	0.20	7.00
R2	5.00	1.00	0.13	0.25	0.17	0.25	4.00	0.13	4.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

R3	0.25	8.00	1.00	5.00	6.00	0.33	0.20	0.17	0.50
R4	5.00	4.00	0.20	1.00	0.33	4.00	0.17	7.00	3.00
R5	0.25	6.00	0.17	3.00	1.00	0.25	0.17	3.00	2.00
R6	0.17	4.00	3.00	0.25	4.00	1.00	0.14	0.25	0.17
R7	0.17	0.25	5.00	6.00	6.00	7.00	1.00	6.00	0.14
R8	5.00	8.00	6.00	0.14	0.33	4.00	0.17	1.00	3.00
R9	0.14	0.25	2.00	0.33	0.50	6.00	7.00	0.33	1.00

Tabla 39 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
R1	1.00	6.00	7.00	4.00	0.50	5.00	0.20	6.00	4.00
R2	0.17	1.00	0.20	0.20	0.14	6.00	0.25	0.17	5.00
R3	0.14	5.00	1.00	0.25	4.00	3.00	0.33	5.00	0.14
R4	0.25	5.00	4.00	1.00	6.00	0.25	0.17	3.00	0.13
R5	2.00	7.00	0.25	0.17	1.00	0.20	6.00	0.17	0.14
R6	0.20	0.17	0.33	4.00	5.00	1.00	3.00	0.13	0.20
R7	0.20	4.00	3.00	6.00	0.17	0.33	1.00	6.00	0.14
R8	0.17	6.00	0.20	0.33	6.00	8.00	0.17	1.00	0.20
R9	0.25	0.20	7.00	8.00	7.00	5.00	7.00	5.00	1.00

Tabla 40 Matriz de comparación pareada de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	5.00	5.00	0.50
Criterio 2	0.20	1.00	0.17	3.00
Criterio 3	0.20	6.00	1.00	3.00
Criterio 4	2.00	0.33	0.33	1.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Tabla 41 Resultado obtenido

1	Orden de prioridad
2	Ocurrencia de un huracán
3	Cambios en el objetivo del proyecto
4	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
5	Problema con el pago de los trabajadores
6	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
7	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
8	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
9	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto
10	Fallas tecnológicas dentro del proyecto

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos.

Tabla 42 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
Riesgo 1	Riesgo 1
Riesgo 7	Riesgo 7
Riesgo 6	Riesgo 6
Riesgo 4	Riesgo 4
Riesgo 5	Riesgo 5
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3
Riesgo 9	Riesgo 9
Riesgo 8	Riesgo 8

Prueba 5.

Tabla 43 Lista de riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Baja de los trabajadores
Riesgo 2	Falta de tecnología de máxima calidad

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Cambio de líder del proyecto
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto
Riesgo 6	Cierre del local tecnológico por reparación
Riesgo 7	Fallos en el fluido eléctrico

Tabla 44 Lista de criterios

Identificador	Criterios
Criterio 1	Impacto económico sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

	Orden de prioridad dado por el experto
Riesgo 1	Baja de los trabajadores
Riesgo 4	Cambio de líder del proyecto
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto
Riesgo 2	Falta de tecnología de máxima calidad
Riesgo 3	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
Riesgo 6	Cierre del local tecnológico por reparación
Riesgo 7	Fallos en el fluido eléctrico

Tabla 45 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	1.00	3.00	0.33	0.17	4.00	0.50	0.14
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.25	3.00	5.00
R3	3.00	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33
R4	6.00	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00
R5	0.25	4.00	0.33	0.17	1.00	0.13	4.00
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00

Tabla 46 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

R1	1.00	0.20	0.17	4.00	0.25	0.50	4.00
R2	5.00	1.00	5.00	0.33	0.17	3.00	4.00
R3	6.00	0.20	1.00	2.00	0.33	0.25	0.17
R4	0.25	3.00	0.50	1.00	3.00	5.00	4.00
R5	4.00	6.00	3.00	0.33	1.00	0.33	0.20
R6	2.00	0.33	4.00	0.20	3.00	1.00	4.00
R7	2.00	0.25	6.00	0.25	5.00	0.25	1.00

Tabla 47 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	1.00	5.00	0.17	4.00	0.17	2.00	0.20
R2	0.20	1.00	6.00	3.00	0.14	0.17	0.13
R3	6.00	0.17	1.00	6.00	4.00	0.14	7.00
R4	0.25	0.33	0.17	1.00	0.14	0.25	0.50
R5	6.00	7.00	0.25	7.00	1.00	0.50	0.17
R6	0.50	6.00	7.00	4.00	2.00	1.00	4.00
R7	0.50	8.00	0.14	2.00	6.00	0.25	1.00

Tabla 48 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1	1.00	0.60	0.20	0.25	4.00	0.17	3.00
R2	1.67	1.00	0.20	5.00	6.00	0.17	0.25
R3	5.00	5.00	1.00	0.20	0.17	0.17	7.00
R4	4.00	0.20	5.00	1.00	0.33	3.00	0.14
R5	0.25	0.17	6.00	3.00	1.00	5.00	0.33
R6	6.00	6.00	6.00	0.33	0.20	1.00	2.00
R7	6.00	4.00	0.14	7.00	3.00	0.50	1.00

Tabla 49 Matriz de comparación pareada de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	0.20	0.33	4.00
Criterio 2	5.00	1.00	0.17	3.00
Criterio 3	3.00	6.00	1.00	0.50
Criterio 4	0.25	0.33	2.00	1.00

Tabla 50 Resultado obtenido

1	Orden de prioridad
2	Baja de los trabajadores
3	Cambio de líder del proyecto
4	Falta de personal en el proyecto
5	Falta de tecnología de máxima calidad
6	Falta de capacitación a los integrantes del proyecto
7	Cierre del local tecnológico por reparación
8	Fallos en el fluido eléctrico

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos.

Tabla 51 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
Riesgo 1	Riesgo 1
Riesgo 4	Riesgo 4
Riesgo 5	Riesgo 5
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3
Riesgo 6	Riesgo 6
Riesgo 7	Riesgo 7

Una vez analizado el resultado obtenido al ejecutar el algoritmo se logra un 100% de precisión.

Prueba 6.

Tabla 52 Lista de los riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Ocurrencia de un huracán
Riesgo 2	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
Riesgo 3	Falta de capacitación de los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Problema con el pago de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 6	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
Riesgo 7	Cambios en el objetivo del proyecto
Riesgo 8	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
Riesgo 9	Carencia de papel para imprimir las actas de las reuniones realizadas
Riesgo 10	Pérdida del acta planificación de las actividades
Riesgo 11	Pérdida de computadoras dentro del Centro
Riesgo 12	Problemas con la conexión a internet dentro del proyecto
Riesgo 13	Reducción en la jornada laboral por problemas de construcción en el Centro
Riesgo 14	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

Tabla 53 Lista de criterios

Identificador	Criterios
Criterio 1	Impacto económico sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

Identificador	Orden de prioridad dado por el grupo de expertos
Riesgo 1	Ocurrencia de un huracán
Riesgo 13	Reducción en la jornada laboral por problemas de construcción en el Centro
Riesgo 11	Pérdida de computadoras dentro del Centro
Riesgo 8	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
Riesgo 9	Carencia de papel para imprimir las actas de las reuniones realizadas
Riesgo 2	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
Riesgo 3	Falta de capacitación de los integrantes del proyecto
Riesgo 12	Problemas con la conexión a internet dentro del proyecto
Riesgo 4	Problema con el pago de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 6	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
Riesgo 7	Cambios en el objetivo del proyecto
Riesgo 10	Perdida de acta de planificación de las actividades
Riesgo 14	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

Tabla 54 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
R1	1.00	3.00	5.00	6.00	4.00	3.00	6.00	5.00	6.00	3.00	6.00	2.00	7.00	4.00
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.25	3.00	5.00	0.50	0.25	5.00	4.00	0.14	0.14	0.25
R3	0.20	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	0.25	0.50	0.25	4.00	8.00	0.20
R4	0.17	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	7.00	0.13	0.20	5.00	5.00	0.33
R5	0.25	4.00	0.33	0.17	1.00	0.13	4.00	0.20	0.14	0.25	0.13	6.00	0.50	0.17
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	3.00	0.25	6.00	2.00	8.00	0.17	0.33
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	0.14	0.14	0.17	3.00	2.00	4.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	0.50	3.00	0.14	0.20	0.25	7.00
R9	0.17	4.00	4.00	0.14	7.00	4.00	7.00	2.00	1.00	0.17	0.25	0.33	0.14	5.00
R10	0.33	0.20	2.00	8.00	4.00	0.17	7.00	0.33	6.00	1.00	4.00	2.00	0.25	0.14
R11	0.17	0.25	4.00	5.00	8.00	0.50	6.00	7.00	4.00	0.25	1.00	8.00	3.00	0.20
R12	0.50	7.00	0.25	0.20	0.17	0.13	0.33	5.00	3.00	0.50	0.13	1.00	0.20	7.00
R13	0.14	7.00	7.00	0.20	2.00	6.00	0.50	4.00	7.00	4.00	0.33	5.00	1.00	6.00
R14	0.25	4.00	5.00	3.00	6.00	3.00	0.25	0.14	0.20	7.00	5.00	0.14	0.17	1.00

Tabla 55 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
R1	1.00	0.50	5.00	0.20	8.00	3.00	0.13	3.00	5.00	0.11	0.25	0.25	5.00	4.00
R2	2.00	1.00	2.00	0.14	2.00	3.00	5.00	0.50	0.20	0.25	3.00	0.25	0.13	0.25
R3	0.20	0.50	1.00	0.17	0.17	0.17	0.33	5.00	0.14	0.20	5.00	0.25	7.00	0.20
R4	5.00	7.00	6.00	1.00	6.00	0.25	3.00	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.33	0.33
R5	0.13	0.50	6.00	0.17	1.00	0.13	4.00	0.20	3.00	4.00	0.25	4.00	0.11	0.17
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	0.25	0.17	0.25	8.00	0.13	5.00	0.33
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	0.17	7.00	5.00	0.25	6.00	4.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	0.25	2.00	2.00	0.17	0.11	7.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

R9	0.20	5.00	7.00	7.00	0.33	6.00	6.00	4.00	1.00	0.33	0.50	0.13	5.00	0.17
R10	9.00	4.00	5.00	7.00	0.25	4.00	0.14	0.50	3.00	1.00	5.00	0.20	0.17	6.00
R11	4.00	0.33	0.20	7.00	4.00	0.13	0.20	0.50	2.00	0.20	1.00	3.00	7.00	0.17
R12	4.00	4.00	4.00	2.00	0.25	8.00	4.00	6.00	8.00	5.00	0.33	1.00	0.25	4.00
R13	0.20	8.00	8.00	3.00	9.00	0.20	0.17	9.00	0.20	6.00	0.14	4.00	1.00	2.00
R14	0.25	4.00	5.00	3.00	6.00	3.00	0.25	0.14	6.00	0.17	6.00	0.25	0.50	1.00

Tabla 56 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
R1	1.00	3.00	0.17	0.25	5.00	3.00	0.50	0.13	0.11	6.00	4.00	0.14	0.20	4.00
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	4.00	3.00	5.00	0.50	0.17	0.50	0.17	5.00	0.20	0.25
R3	6.00	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	0.17	5.00	0.13	6.00	0.14	0.20
R4	4.00	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	0.13	4.00	4.00	0.17	0.14	0.33
R5	0.20	0.25	0.33	0.17	1.00	0.13	5.00	0.20	2.00	0.11	3.00	4.00	0.17	0.17
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	3.00	0.20	6.00	0.25	7.00	0.33	0.33
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	0.25	5.00	2.00	5.00	6.00	4.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	0.33	0.50	0.17	2.00	0.17	7.00
R9	9.00	6.00	6.00	8.00	0.50	5.00	4.00	3.00	1.00	0.17	4.00	3.00	4.00	5.00
R10	0.17	2.00	0.20	0.25	9.00	0.17	0.20	2.00	6.00	1.00	0.13	0.13	8.00	9.00
R11	0.25	6.00	8.00	0.25	0.33	4.00	0.50	6.00	0.25	8.00	1.00	0.20	0.11	7.00
R12	7.00	0.20	0.17	6.00	0.25	0.14	0.20	0.50	0.33	8.00	5.00	1.00	4.00	2.00
R13	5.00	5.00	5.00	7.00	6.00	3.00	0.17	6.00	0.25	0.13	9.00	0.25	1.00	0.17
R14	0.25	4.00	5.00	3.00	6.00	3.00	0.25	0.14	0.20	0.11	0.14	0.50	6.00	1.00

Tabla 57 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14
R1	1.00	3.00	5.00	6.00	4.00	3.00	6.00	5.00	0.50	0.20	4.00	8.00	0.25	4.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.25	3.00	5.00	0.50	0.14	6.00	6.00	4.00	0.50	0.25
R3	0.20	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	0.17	0.17	0.17	3.00	6.00	0.20
R4	0.17	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	0.17	4.00	0.14	0.20	6.00	0.33
R5	0.25	4.00	0.33	0.17	1.00	0.13	4.00	0.20	5.00	0.20	4.00	6.00	0.17	0.17
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	3.00	8.00	0.25	0.20	0.17	2.00	6.00
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	4.00	0.17	0.11	0.25	5.00	4.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	0.14	2.00	7.00	7.00	0.14	7.00
R9	2.00	7.00	6.00	6.00	0.20	0.13	0.25	7.00	1.00	8.00	0.25	0.13	0.25	6.00
R10	5.00	0.17	6.00	0.25	5.00	4.00	6.00	0.50	0.13	1.00	3.00	0.20	4.00	0.20
R11	0.25	0.17	6.00	7.00	5.00	5.00	9.00	0.14	4.00	0.33	1.00	5.00	0.25	0.14
R12	0.13	0.25	0.33	5.00	0.25	6.00	4.00	0.14	8.00	5.00	0.20	1.00	4.00	0.17
R13	4.00	2.00	2.00	0.17	0.17	0.50	0.20	7.00	4.00	0.25	4.00	0.25	1.00	2.00
R14	0.25	4.00	5.00	3.00	6.00	3.00	0.25	0.14	0.17	5.00	7.00	6.00	0.50	1.00

Tabla 58 Matriz de comparación pareada de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	3.00	7.00	5.00
Criterio 2	0.33	1.00	0.25	0.25
Criterio 3	0.14	4.00	1.00	3.00
Criterio 4	0.20	4.00	0.33	1.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Tabla 59 Resultado obtenido

1	Orden de prioridad
2	Ocurrencia de un huracán
3	Pérdida del acta de planificación de las actividades
4	Pérdida de computadoras dentro del Centro
5	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
6	Carencia de papel para imprimir las actas de las reuniones realizadas
7	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
8	Falta de capacitación de los integrantes del proyecto
9	Problemas con la conexión a internet dentro del proyecto
10	Problema con el pago de los trabajadores
11	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
12	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
13	Cambios en el objetivo del proyecto
14	Reducción en la jornada laboral por problemas de construcción en el Centro
15	Falta de comunicación con alguna de las partes involucradas en el desarrollo del producto

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos.

Tabla 60 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
Riesgo 1	Riesgo 1
Riesgo 13	Riesgo 10
Riesgo 11	Riesgo 11
Riesgo 8	Riesgo 8
Riesgo 9	Riesgo 9
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3
Riesgo 12	Riesgo 12
Riesgo 4	Riesgo 4
Riesgo 5	Riesgo 5
Riesgo 6	Riesgo 6
Riesgo 7	Riesgo 7

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Riesgo 10	Riesgo 13
Riesgo 14	Riesgo 14

Al comparar el resultado obtenido con lo antes previsto por el grupo de expertos se pudo apreciar un intercambio entre el Riesgo 10 y el Riesgo 13, obteniéndose una probabilidad de acierto de 12/14, es decir, aproximadamente un 87%.

Prueba 7.

Tabla 61 Lista de los riesgos

Identificador	Riesgos
Riesgo 1	Ocurrencia de un huracán
Riesgo 2	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
Riesgo 3	Falta de capacitación de los integrantes del proyecto
Riesgo 4	Problema con el pago de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 6	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
Riesgo 7	Cambios en el objetivo del proyecto
Riesgo 8	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
Riesgo 9	Problemas con la conexión a internet dentro del Centro
Riesgo 10	Cierre temporal del Centro por problemas de reparación
Riesgo 11	Pérdida de computadoras en el Centro
Riesgo 12	Exceso de personal en el Centro

Prueba 8.

Tabla 62 Lista de los criterios

Identificador	Criterios
Criterio 1	Impacto económico sobre el proyecto
Criterio 2	Probabilidad de ocurrencia
Criterio 3	Atraso en el cronograma
Criterio 4	Recursos Humanos

	Orden de prioridad dado por el grupo de expertos
Riesgo 10	Cierre temporal del proyecto por problemas de reparación
Riesgo 1	Ocurrencia de un huracán
Riesgo 6	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Riesgo 2	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
Riesgo 3	Falta de capacitación de los integrantes del proyecto
Riesgo 11	Pérdida de computadoras en el Centro
Riesgo 12	Exceso de personal en el Centro
Riesgo 4	Problema con el pago de los trabajadores
Riesgo 5	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
Riesgo 7	Cambios en el objetivo del proyecto
Riesgo 8	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
Riesgo 9	Problemas con la conexión a internet dentro del Centro

Tabla 63 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio1

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
R1	1.00	3.00	0.14	4.00	0.50	3.00	3.00	5.00	0.17	0.14	0.17	6.00
R2	0.33	1.00	2.00	5.00	0.25	3.00	5.00	0.50	4.00	3.00	6.00	7.00
R3	7.00	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	3.00	0.14	5.00	0.25	0.50
R4	0.25	0.20	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	7.00	5.00	0.20	0.20
R5	2.00	4.00	0.33	0.17	1.00	0.17	4.00	0.20	6.00	2.00	6.00	3.00
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	5.00	0.17	0.17	6.00	6.00
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	4.00	0.13	4.00	4.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	0.17	0.14	0.14	0.14
R9	6.00	0.25	7.00	0.14	0.17	6.00	0.25	6.00	1.00	4.00	7.00	2.00
R10	7.00	0.33	0.20	0.20	0.50	6.00	8.00	7.00	0.25	1.00	4.00	0.17
R11	6.00	0.17	4.00	5.00	0.17	0.17	0.25	7.00	0.14	0.25	1.00	0.14
R12	0.17	0.14	2.00	5.00	0.33	0.17	0.25	7.00	0.50	6.00	7.00	1.00

Tabla 64 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio2

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

R1	1.00	3.00	0.33	0.17	4.00	0.13	0.20	0.14	0.14	0.14	0.11	0.50
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.50	3.00	5.00	0.50	6.00	3.00	0.25	0.20
R3	3.00	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	0.17	0.20	5.00	0.17
R4	6.00	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	2.00	0.33	0.33	5.00
R5	0.25	2.00	0.33	0.17	1.00	0.11	5.00	0.20	0.17	5.00	0.20	0.25
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	6.00	3.00	0.14	6.00	5.00
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	4.00	0.17	0.50	6.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	0.17	7.00	0.17	5.00
R9	7.00	7.00	6.00	6.00	0.20	0.13	0.25	7.00	1.00	8.00	0.25	0.13
R10	5.00	0.17	6.00	0.25	5.00	4.00	6.00	0.50	0.13	1.00	3.00	0.20
R11	0.25	0.17	6.00	7.00	5.00	5.00	9.00	0.14	4.00	0.33	1.00	5.00
R12	0.13	0.25	0.33	5.00	0.25	6.00	4.00	0.14	8.00	5.00	0.20	1.00

Tabla 65 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio3

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
R1	1.00	3.00	0.33	2.00	0.20	3.00	6.00	5.00	0.17	0.20	0.13	8.00
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.25	3.00	5.00	0.50	7.00	0.14	0.25	0.50
R3	3.00	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	0.50	7.00	0.14	0.25
0.50	0.50	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	0.17	3.00	3.00	7.00
R5	5.00	4.00	0.33	0.17	1.00	0.13	4.00	0.20	0.25	2.00	0.50	6.00
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	3.00	0.20	0.14	0.14	2.00
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	0.25	4.00	6.00	6.00
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	6.00	0.20	4.00	7.00
R9	6.00	0.14	4.00	6.00	4.00	5.00	4.00	0.17	1.00	0.17	7.00	3.00
R10	5.00	7.00	7.00	0.33	0.50	7.00	0.25	5.00	6.00	1.00	4.00	4.00
R11	8.00	4.00	0.20	0.33	2.00	7.00	0.17	0.25	0.14	0.25	1.00	0.20
R12	0.13	2.00	5.00	0.14	0.17	0.50	0.17	0.14	0.33	0.25	5.00	1.00

Tabla 66 Matriz de comparación pareada de los riesgos respecto al criterio4

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
R1	1.00	3.00	5.00	6.00	4.00	3.00	6.00	5.00	4.00	4.00	6.00	0.14
R2	0.33	1.00	2.00	7.00	0.25	3.00	5.00	0.50	0.25	8.00	3.00	0.20
R3	0.20	0.50	1.00	0.17	3.00	0.17	0.33	5.00	6.00	5.00	4.00	0.20
R4	0.17	0.14	6.00	1.00	6.00	0.25	5.00	0.14	2.00	0.50	0.33	8.00
R5	0.25	4.00	0.33	0.17	1.00	0.13	4.00	0.20	0.25	0.33	6.00	0.14
R6	2.00	0.33	6.00	4.00	8.00	1.00	0.17	3.00	6.00	7.00	0.11	0.14
R7	7.00	0.20	3.00	0.20	0.25	6.00	1.00	0.20	4.00	0.11	5.00	0.14
R8	0.20	2.00	0.20	7.00	5.00	0.33	5.00	1.00	3.00	8.00	6.00	0.17
R9	0.25	4.00	0.17	0.50	4.00	0.17	0.25	0.33	1.00	0.25	2.00	0.20
R10	0.25	0.13	0.20	2.00	3.00	0.14	9.00	0.13	4.00	1.00	6.00	0.25
R11	0.17	0.33	0.25	3.00	0.17	9.00	0.20	0.17	0.50	0.17	1.00	0.20
R12	7.00	5.00	5.00	0.13	7.00	7.00	7.00	6.00	5.00	4.00	5.00	1.00

Tabla 67 Matriz de comparación de los criterios

	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4
Criterio 1	1.00	2.00	3.00	0.50
Criterio 2	0.50	1.00	0.20	7.00
Criterio 3	0.33	5.00	1.00	0.20
Criterio 4	2.00	0.14	5.00	1.00

Algoritmo para la toma de decisiones durante la gestión de riesgos en el CEMC

Tabla 68 Resultado obtenido

1	Orden de prioridad
2	Ocurrencia de un huracán
3	Cierre temporal del Centro por problemas de reparación
4	Expulsión de personal del proyecto por indisciplina
5	Tardanza de los trabajadores para llegar al proyecto
6	Falta de capacitación de los integrantes del proyecto
7	Pérdida de computadoras en el Centro
8	Exceso de personal en el Centro
9	Problema con el pago de los trabajadores
10	Falta de personal en el proyecto por enfermedad
11	Cambios en el objetivo del proyecto
12	Fallas tecnológicas dentro del proyecto
13	Problemas con la conexión a internet dentro del Centro

A continuación, se realiza una comparación entre la lista resultante antes prevista por el grupo de expertos y el resultado obtenido después de ejecutar el algoritmo basándose en el criterio de los mismos.

Tabla 69 Comparación de eficiencia

Resultado previsto	Resultado obtenido
Riesgo 10	Riesgo 1
Riesgo 1	Riesgo 10
Riesgo 6	Riesgo 6
Riesgo 2	Riesgo 2
Riesgo 3	Riesgo 3
Riesgo 11	Riesgo 11
Riesgo 12	Riesgo 12
Riesgo 4	Riesgo 4
Riesgo 5	Riesgo 5
Riesgo 7	Riesgo 7
Riesgo 8	Riesgo 8
Riesgo 9	Riesgo 9

Después de realizar la comparación se aprecia un cambio en el orden de los Riesgos 10 y 1, obteniéndose así una eficiencia de 10/12, aproximadamente un 83%.

3.2. Conclusiones parciales

Luego de verificar todos los resultados obtenidos se puede concluir que la eficiencia del método AHP para la toma de decisiones en la gestión de riesgos varía entre un 83% y un 100%, siendo estos estándares bastante elevados para el objetivo que se intenta cumplir.

Conclusiones generales:

A partir de los retos planteados en los objetivos a lo largo de la presente investigación se ha llevado a cabo una propuesta de solución que ha permitido llegar a las siguientes conclusiones:

El estudio de los diferentes modelos y normas para la gestión de riesgo permitió definir PRINCE2 como modelo a aplicar, teniendo en cuenta que realiza una compilación de las buenas prácticas estudiadas, ajustándose a las necesidades y estructura del CEMC.

Las entrevistas estructuradas en el CEMC y a expertos en el tema, permitió colaborar le necesidad de una herramienta para toma de decisiones, durante el análisis cuantitativo y cualitativo en la gestión de riesgos.

El análisis realizado del problema de toma de decisiones en la gestión de riesgo en el CEMC, permitió caracterizar el problema en cuanto a número de criterios y número de expertos, específicamente en los problemas multicriterio y multiexperto. Definiendo tres fases para el problema de toma de decisiones durante la gestión de riesgo en el CEMC: recopilación de información, valoración y decisión.

Los estudios realizados a los métodos MAUT reconoció el método Proceso Jerárquico de Análisis o método AHP, por sus siglas en inglés, cómo el algoritmo implementado en la solución, a partir de que permite de una manera eficiente y gráfica organizar la información respecto de un problema de decisión, descomponerla y analizarla por partes, visualizar los efectos de cambios en los niveles y sintetizar.

La utilización de las librerías Numpy permitió el trabajo con vectores y matrices durante la implementación del algoritmo.

En la etapa de validación y verificación se ejecutaron pruebas que permitieron demostrar la eficiencia del algoritmo a la hora de priorizar los riesgos valorados por varios expertos en el tema, permitiendo tener un control detallado sobre la importancia de estos y la necesidad de atención de cada uno en un orden descendente.

Recomendaciones

El autor de este trabajo recomienda:

- ✓ Divulgar los principales resultados de la investigación, a partir de la presentación y aplicación de la propuesta a otros centros de investigación de la universidad.
- ✓ Integrar futuras versiones de la herramienta, con la implementación de un sistema WEB que consuma el servicio del algoritmo implementado.
- ✓ Flexibilizar y ampliar el marco de trabajo mediante el desarrollo de funcionalidades que permitan la modelación y resolución de problemas definidos en otros contextos complejos bajo incertidumbre durante la gestión de riesgo.

Bibliografía

1. Hellriegel, Don, Jackson, Susan E. y Slocum, John W. Jr. *Administración: Un enfoque basado en competencias*. Novena edición. Bogotá : Thomson Learning, 2002.
2. **Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente**. *Decreto Ley No.323 "De las entidades de ciencia, tecnología e innovación"*. La Habana : s.n., 2014.
3. **Hernández, Rolando Alfredo y Coello, Sayda**. *El paradigma cuantitativo de la investigación científica*. La Habana : Editorial Universitaria, 2002. ISBN: 959-16-0343-6.
4. **Chun Wei Choo, Daniel Rey Diaz**. *La organización inteligente: el empleo de la información para dar significado, crear conocimiento y tomar decisiones*. Mexico DF : s.n., 1999.
5. **Romero, Alfonso**. *Gestión de riesgos con CMMI, RUP e ISO en Ingeniería*. 2007.
6. **Rudas, Leidy Paola**. *Modelo de gestión de riesgos para proyectos de desarrollo tecnológico*. 2017.
7. **Group, SAE International**. *Aerospace standard*. Estados Unidos : s.n., 2009.
8. **(ICONTEC), Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación**. *Gestión del riesgo. Principios y directrices*. Colombia : s.n., 2011.
9. **Resolución NO. 60/11 Normas del sistema de control interno**. La Habana : s.n., 2012.
10. **Manuel Alain Asmat Cordova, MBA, SCPM(c), PMP, PMI-SP, PMI-RMP, PMI-ASP**. *Gestión de riesgos en proyectos según el Pmbok Lineamientos generales para su implementación*. Perú : s.n., 2016.
11. **LESMES, JEISSON ANDRÉS ROMERO LESMES y SEBASTIÁN AGUILERA**. *Formulación de un modelo de gestión del riesgo para proyectos de construcción*. . 2014.
12. **Alameda, Eugenio Arellano**. *Proyectica: buenas prácticas para la gestión de proyectos software*. s.l. : Centro de Estudios RAmón Areces, 2016.
13. **Sommerville, Ian**. *Ingeniería del software*. Madrid : s.n., 2005.
14. **General, Contralora**. *Resolución No. 60/11 ANEXO II*. La Habana : s.n., 2011.

15. Turley, Frank. *The Prince2 Foundation Training Manual*. 2016.
16. Cedeño, Gerardo Porras. *Arquitectura empresarial*. 2008.
17. Quesada, Manuel. *Modelo de Resolución de Problemas de Toma de Decisión Multicriterio*. Dpto. Informática, Universidad de Jaén. Jaén : s.n., 2015. Proyecto Fin de Carrera.
18. Belén Muñoz, Manuel G.Romana. *Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte*.
19. Urgelles, Verónica Hernández. *Sistema informático para la realización de auditorías de Seguridad Informática en CEGEL*. s.l. : Universidad de las Ciencias Informáticas, 2016.
20. Maceo, Jorge Enrique Ricardo y Lara, Jorge Fonseca. *Desarrollo del Componente de Seguridad Onyx para el sistema Quarxo fase 2*. s.l. : Universidad de las Ciencias Informáticas, 2014.
21. Visual Paradigm Product Overview. [En línea] [Citado el: 20 de septiembre de 2018.] http://www.visualparadigm.com/support/documents/vpuserguide/12/13/5963_visualparadi.html.
22. Guión Visual Paradigm for UML. [En línea] 2013. [Citado el: 20 de septiembre de 2018.] <http://www.ie.inf.uc3m.es/grupo/docencia/reglada/1s1y2/PracticaVP.pdf>.
23. Velasco, Rubén. <https://www.redeszone.net/category/python/>. <https://www.redeszone.net/category/python/>. [En línea] 11 de febrero de 2018.
24. COVANTEC. Entrenamiento python básico. [En línea] Covantec R.L, 2014. <https://entrenamiento-python-basico.readthedocs.io/es/latest/leccion1/caracteristicas>.
25. Amoedo, Damian. ubunlog.com. *ubunlog.com*. [En línea] 2018.
26. Jacobson, Ivar, Booch, Grady y Rumbaugh, James. *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. Madrid : Addison-Wesley, 2000.
27. Torrecilla, Pablo. Nosolopau. *El Proceso Unificado Ágil: fases y disciplinas*. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de Noviembre de 2014.] <http://nosolopau.com/>.
28. —. Nosolopau. *El Proceso Unificado Ágil: modelos y documentación*. [En línea] 2012. [Citado el: 16 de Noviembre de 2014.] <http://nosolopau.com/>.
29. Sánchez, Tamara Rodríguez. *Metodología de desarrollo para la Actividad productiva de la UCI*. La Habana : s.n., 2014.

30. Velasco, Rubén. PHP 7.2, todas las novedades de esta nueva versión de PHP. [En línea] 13 de noviembre de 2017. [Citado el: 20 de septiembre de 2018.] <https://www.redeszone.net/2017/11/13/novedades-php-7-2/>.
31. Lázaro, Diego. Introducción a Doctrine ORM. *Explicación y funcionamiento del mapa de objetos relacional Doctrine ORM y sus principales características*. [En línea] 2018. [Citado el: 4 de noviembre de 2018.] <https://diego.com.es/introduccion-a-doctrine-orm>.
32. Caceres, Martin. DevCode. *¿Qué es TypeScript?* [En línea] [Citado el: 4 de noviembre de 2018.] <https://devcode.la/blog/que-es-typescript/>.
33. web, Desarrollo. Aula Formativa Soluciones Online S.L. *Definición, usos y ventajas del lenguaje CSS3*. [En línea] 30 de junio de 2017. [Citado el: 4 de noviembre de 2018.] <https://blog.aulaformativa.com/definicion-usos-ventajas-lenguaje-css3/>.
34. Fernández, Alberto. Quora. *¿Qué es HTML5 y para qué sirve?* [En línea] 9 de agosto de 2016. [Citado el: 4 de noviembre de 2018.] <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-es-HTML5-y-para-qu%C3%A9-sirve>.
35. Pineda, Juan Miguel Vergara. CORIAWEB. [En línea] 2016. [Citado el: 6 de noviembre de 2018.] <https://www.coriaweb.hosting/symfony-principales-caracteristicas/>.
36. Fontela, Alvaro. Raiola Networks. *¿Que es Bootstrap?* [En línea] 16 de julio de 2015. [Citado el: 4 de noviembre de 2018.] <https://raiolanetworks.es/blog/que-es-bootstrap/>.
37. Montalvo, Alvaro Mauricio Carrera. *SISTEMA DE GEOLOCALIZACIÓN PARA SELECCIONAR CURSOS FORMATIVOS EN LA CIUDAD DE QUITO*. Quito : FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS, 2018.
38. Duarte, Eugenio. Capacity Information Technology Academy. *jQuery: Qué es, Orígenes, Ventajas y Desventajas*. [En línea] 2016. [Citado el: 7 de noviembre de 2018.] <http://blog.capacityacademy.com/2013/03/16/jquery-que-es-origenes-ventajas-desventajas/>.
39. NeatBeans y sus Características. [En línea] mayo de 2018. [Citado el: 7 de noviembre de 2018.] <https://blog.megacursos.com/2018/05/neatbeans-y-sus-caracteristicas/>.
40. Andrés. Códigofacilito. [En línea] 2015. [Citado el: 7 de noviembre de 2018.] <https://codigofacilito.com/articulos/que-es-git>.
41. Crespo, Álvaro González. Qué es GitLab. [En línea] 2016. [Citado el: 19 de enero de 2019.] <https://es.linkedin.com/learning/gitlab-esencial/que-es-gitlab>.
42. Culturacion . *¿Qué es Apache?* [En línea] [Citado el: 19 de enero de 2019.] <http://culturacion.com/que-es-apache/>.

43. PHP Group. PHP: Hypertext Preprocessor. [En línea] 2014. [Citado el: 20 de Noviembre de 2014.] <http://php.net/>.
44. JetBrains Company. PhpStorm. *JetBrains*. [En línea] 2015. [Citado el: 11 de Febrero de 2015.] <https://www.jetbrains.com/phpstorm/>.
45. Potencier, Fabien. Symfony. *High Performance PHP Framework for Web Development*. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de Septiembre de 2015.] <https://symfony.com/>.
46. Martinez, Rafael. PostgreSQL-es. *Portal en español sobre PostgreSQL*. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de Febrero de 2015.] <http://www.postgresql.org.es/>.
47. Eguiluz, Javier. *Introducción a AJAX*. s.l. : Creative Commons, 2008.
48. Issi, Lázaro. *JavaScript*. Madrid : Ediciones Anaya Multimedia, 2002.
49. The Apache Software Foundation. The Apache Software Foundation. [En línea] 1999. [Citado el: 15 de Septiembre de 2015.] <http://www.apache.org/>.
50. The jQuery Foundation. jQuery. *Write less, do more*. [En línea] 2015. [Citado el: 4 de Marzo de 2015.] <http://jquery.com/>.
51. —. jQuery UI. *User Interface*. [En línea] 2015. [Citado el: 4 de Marzo de 2015.] <https://jqueryui.com/>.
52. Imaginanet SL DISEÑO. Imaginanet. *DISEÑO, Imaginanet SL, et al. HTML5 Frameworks. HTML5 Boilerplate y Twitter Bootstrap. Navegadores, CSS, Google Analytics, Accesibilidad, HTML5*. [En línea] 2013. [Citado el: 20 de Septiembre de 2015.] <https://www.imaginanet.com/blog/html5-frameworks-html5-boilerplate-y-twitter-bootstrap.html>.
53. Otto, Mark. Bootstrap. [En línea] 2015. [Citado el: 20 de Septiembre de 2015.] <http://getbootstrap.com/>.
54. Highsoft AS. HIGHCHARTS. [En línea] 2009. [Citado el: 12 de Septiembre de 2015.] <http://www.highcharts.com>.
55. Pressman, Roger S. *Ingeniería de Software. Un enfoque práctico*. Séptima . México DF : McGraw-Hill INTERAMERICA EDITORES, 2010.
56. Belén Muñoz, Manuel G. Romana. *Aplicación de métodos de decisión multicriterio discretos al análisis de alternativas en estudios informativos de infraestructuras de transporte*.