

Universidad de Pamplona



Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Maestría en Gestión de Proyectos Informáticos

Método de Planificación de riesgos para proyecto de medición de contaminación mediante UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

Ing. Edwin José Vera Rozo

*Trabajo de investigación para optar por el título de Magister en Gestión de Proyectos Informáticos*

Director: Mg. Luis Alberto Esteban Villamizar

Pamplona, Colombia

Febrero, 2017

## Tabla de contenidos

1	Introducción.....	1
1.1	Planteamiento del Problema y Justificación.....	2
1.2	Objetivo General.....	3
1.3	Objetivos Específicos .....	3
1.4	Acotaciones .....	3
1.5	Metodología de Investigación .....	4
1.5.1	Enfoque.....	4
1.5.2	Alcance .....	5
1.5.3	Diseño de investigación.....	5
1.5.4	Fuentes de información .....	6
1.5.5	Población y muestra .....	7
1.5.6	Instrumentos .....	8
1.5.7	Tipos de análisis .....	8
1.5.8	Actividades .....	9
2	Marco Teórico .....	11
2.1	Los proyectos de medición de contaminación.....	11
2.2	Aplicaciones de UAV.....	12
2.3	Riesgos y su gestión en proyectos .....	13
2.4	Estado del arte de la gestión de riesgos en proyectos.....	14
2.5	Estándares, Métodos y Técnicas en la Gestión de Riesgos .....	45
2.5.1	A nivel organizacional.....	45
2.5.2	En proyectos .....	46
2.5.2.1	PMBOK.....	46
2.5.2.2	PRINCE2.....	47
2.5.2.3	IPMA.....	49

2.5.3	En gestión de tecnología.....	50
2.5.3.1	COBIT.....	50
2.5.3.2	ITIL.....	51
2.5.3.3	ISO/IEC 20000 Gestión de servicios de TI.....	53
2.5.3.4	RISK TI.....	54
2.5.3.5	NIST.....	55
2.5.4	En gestión de sistemas de información.....	56
2.5.4.1	Octave (Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation).....	56
2.5.4.2	CORAS.....	57
2.5.4.3	Estándar Australiano AS/NZS 4360:1999.....	59
2.5.4.4	NTC-ISO/IEC 27005: Gestión del Riesgo en la Seguridad de la Información.....	61
2.5.4.5	CRAMM – Método de análisis y gestión de riesgos.....	62
2.5.4.6	MAGERIT (Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información).....	64
3	Método para la planificación de riesgos mediante un UAV.....	66
3.1	Descripción del método.....	66
3.1.1	Identificación de riesgos.....	67
3.1.1.1	Instrumentación.....	69
3.1.1.2	Vuelo.....	69
3.1.1.3	Análisis de datos.....	70
3.1.2	Análisis de riesgos.....	70
3.1.2.1	Instrumentación.....	74
3.1.2.2	Vuelo.....	76
3.1.2.3	Análisis de datos.....	78
3.1.3	Definición de planes de respuesta.....	79
3.1.3.1	Instrumentación.....	81
3.1.3.2	Vuelo.....	82

3.1.3.3	Análisis de datos.....	83
3.2	Validación del método propuesto.....	84
3.2.1	Riesgos en fase de Instrumentación .....	85
3.2.1.1	Primeros dos proyectos .....	85
3.2.1.2	Últimos dos proyectos.....	85
3.2.2	Riesgos en fase de vuelo.....	87
3.2.2.1	Primeros dos proyectos .....	87
3.2.2.2	Últimos dos proyectos.....	89
3.2.3	Riesgos en fase de Análisis de datos .....	92
3.2.3.1	Primeros dos proyectos .....	92
3.2.3.2	Últimos dos proyectos.....	92
3.2.4	Análisis sobre el proceso de validación.....	94
4	Conclusiones, Resultados y Trabajos futuros.....	95
4.1	Conclusiones.....	95
4.2	Resultados.....	96
4.3	Trabajos futuros.....	97
5	Bibliografía.....	98
6	Anexos.....	110
6.1	Artículo.....	110
6.2	Ponencia .....	110

## Lista de Figuras

Figura 1 Línea de tiempo estado del arte.....	44
Figura 2 Gestión de riesgos según norma ISO 31000 .....	45
Figura 3 Riesgos en metodología PMBOK .....	47
Figura 4 Gestión de riesgos en PRINCE2 .....	49
Figura 5 Competencias IPMA .....	49
Figura 6 Gestión de riesgos en metodología COBIT .....	51
Figura 7 Proceso de gestión de riesgos en ITIL .....	53
Figura 8 Procesos de la ISO 20000 .....	54
Figura 9 Gestión de riesgos según metodología RISK TI.....	55
Figura 10 Gestión de riesgos según guía NIST .....	56
Figura 11 Gestión de riesgos en metodología OCTAVE .....	57
Figura 12 Gestión de riesgos en método CORAS .....	58
Figura 13 Gestión de riesgos en estándar Australiano AS/NZS 4360:1999 .....	61
Figura 14 Gestión de riesgos según norma NTC-ISO/IEC 27005 .....	62
Figura 15 Gestión de riesgos según método CRAMM .....	64
Figura 16 Gestión de riesgos según metodología MAGERIT.....	65
Figura 17 Proceso típico de la gestión de riesgos.....	66
Figura 18 Método propuesto para la gestión de riesgos .....	67
Figura 19 Anillos para la el impacto .....	71
Figura 20 Estimación de impacto para fase de instrumentación .....	75
Figura 21 Estimación de impacto para fase de vuelo .....	77
Figura 22 Estimación de impacto para fase de análisis de datos.....	79
Figura 23 Datos de contaminación en proyecto 1 .....	88
Figura 24 Datos de contaminación en proyecto 2 .....	88
Figura 25 Datos de contaminación en proyecto 3 .....	89
Figura 26 Datos de contaminación en proyecto 4 .....	89

## Lista de Tablas

Tabla 1 Niveles de impacto .....	14
Tabla 2 Competencias de IPMA.....	50
Tabla 3 Registro de riesgos .....	68
Tabla 4 Registro de riesgos en fase de instrumentación.....	69
Tabla 5 Registro de riesgos en fase de vuelo.....	70
Tabla 6 Registro de riesgos en fase de análisis de datos .....	70
Tabla 7 Niveles de probabilidad.....	71
Tabla 8 Niveles de probabilidad para condiciones climáticas.....	72
Tabla 9 Matriz probabilidad – impacto .....	72
Tabla 10 Registro de riesgos con probabilidad - impacto – prioridad.....	73
Tabla 11 Probabilidad de riesgo .....	74
Tabla 12 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de instrumentación .....	74
Tabla 13 Evaluación de riesgos en fase de instrumentación .....	76
Tabla 14 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de vuelo .....	76
Tabla 15 Evaluación de riesgos en fase de vuelo .....	78
Tabla 16 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de análisis de datos.....	78
Tabla 17 Plan de respuesta en fase de instrumentación.....	82
Tabla 18 Plan de respuesta en fase de vuelo .....	83
Tabla 19 Plan de respuesta en fase de análisis de datos .....	84
Tabla 20 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de instrumentación para los 4 proyectos.....	85
Tabla 21 Matriz probabilidad - impacto, proyectos 1 y 2 en fase de instrumentación.....	86
Tabla 22 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 3 en fase de instrumentación .....	86
Tabla 23 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 4 en fase de instrumentación .....	87
Tabla 24 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de vuelo para los 4 proyectos .....	90
Tabla 25 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 1 y 2 en fase de vuelo .....	90
Tabla 26 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 3 en fase de vuelo .....	91

Tabla 27 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 4 en fase de vuelo .....	91
Tabla 28 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de análisis de datos para los 4 proyectos.....	92
Tabla 29 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 1 y 2 en fase de análisis de datos.....	92
Tabla 30 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 3 en fase de análisis de datos.....	93
Tabla 31 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 4 en fase de análisis de datos.....	93

## **Resumen**

Este documento presenta un método de planificación de riesgos en proyectos de medición de contaminación en rellanos sanitarios mediante el uso de UAV(Unmanned Aerial Vehicle), dicho método se obtuvo del estudio de diferentes metodologías, estándares y normas que involucran la gestión de riesgos en diferentes contextos: a nivel organizacional, de proyectos, sistemas de información y de gestión de tecnología.

El método fue validado mediante su aplicación en dos de cuatro proyectos de medición de contaminación en el relleno sanitario del municipio de Pamplona y demostró la viabilidad y la innovación en el uso de UAV en este tipo de procesos.

## **Abstrac**

This document shows a risk planning method in pollution measurement projects in landfills sites through the use of UAV (Unmanned Aerial Vehicle), this method was obtained from the study of different methodologies, standards and norms that involve the risk management in different contexts: at the organizational level, of projects, information systems and technology management.

The method was validated through its application in two of four pollution measurement projects, in the landfill site of the Pamplona city and prove the feasibility and the innovation in the use of UAV in this type of processes.

# 1 Introducción

Este documento presenta la recopilación en la investigación que generó un método de planificación de riesgos, para proyectos de medición de niveles de contaminación en el relleno sanitario “la cortada” del Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia; mediante el uso de un vehículo aéreo no tripulado o por sus siglas en Inglés (UAV - Unmanned Aerial Vehicle). Un vehículo aéreo no tripulado o dron es una aeronave que vuela sin tripulación, existe una amplia variedad de formas, tamaños, configuraciones y características en el diseño de los UAV<sup>1</sup>. Existen dos variantes: algunos son controlados desde una ubicación remota, y otros vuelan de forma autónoma sobre la base de planes de vuelo pre-programados usando sistemas más complejos de automatización dinámica.

Los proyectos de medición de contaminación se consideran de corta duración, en el sentido que inician con la definición de la estrategia para recopilación de datos, la aplicación de la estrategia y el análisis de datos que determinan el nivel de contaminación, sin embargo se deberían ejecutar periódicamente para poder analizar la tendencia de las variables de interés.

En el caso particular de este trabajo, se definió como estrategia de recolección de datos de contaminación en rellenos sanitarios, el uso de una UAV, y desde la instrumentación hasta el análisis de datos se puede afirmar que son proyectos de una a dos semanas<sup>2</sup> que requieren una adecuada planificación y manejo de riesgos principalmente en la fase de vuelo.

Como principal producto de este trabajo se obtuvo un método a la medida de este tipo de proyectos para la planificación de riesgos, del cual se resalta como principal aporte la forma de estimar la probabilidad y el impacto de los riesgos típicos en este contexto, en la fase de análisis de riesgos.

Para validar el método aquí propuesto se utilizó como estrategia el “Análisis” de datos obtenidos mediante la ejecución de cuatro proyectos de medición de contaminación, dos de los cuales no utilizaron el método propuesto y los últimos dos proyectos ejecutados si lo aplicaron. Los cuatro proyectos de medición fueron realizados en el mismo relleno sanitario “la cortada” en diferentes fechas con una diferencia de dos años, en el relleno sanitario ubicado en el municipio de Pamplona, departamento de Norte de Santander. Aunque para el trabajo de investigación aquí documentado el objeto de estudio es la gestión de riesgos en proyectos, es importante resaltar que se obtuvieron datos de interés para el municipio de Pamplona mediante la ejecución de los cuatro procesos de medición de contaminación realizados desde el 2014, los cuales fueron entregados en forma de mapas aéreos geo-referenciados con sus respectivos análisis.

Este documento está organizado en cuatro capítulos:

---

<sup>1</sup> Históricamente estos eran simplemente aviones pilotados remotamente pero cada vez más se está empleando el control autónomo de los UAV

<sup>2</sup> Son proyectos de una o dos semanas ya que al iniciar el proyecto se cuenta con el UAV listo (construido) para iniciar la fase de instrumentación, vuelo y análisis de datos.

En el primer capítulo se expresa los alcances de la investigación en términos de dar respuesta a que se obtuvo (método de planificación de riesgos), cómo (metodología de la investigación), por qué (justificación), para que (planteamiento del problema y objetivos), entre otros interrogantes que describen claramente el trabajo de investigación.

En el segundo capítulo se sintetizan los temas más relevantes para la definición del método, entre ellos metodologías, estándares y técnicas de gestión de riesgos o de gestión de proyectos que internamente definen herramientas para la gestión de riesgos. Es de resaltar que estas metodologías y estándares que involucran gestión de riesgos fueron organizadas principalmente en tres grupos: riesgos en proyectos, riesgos en gestión de tecnología al interior de organizaciones y riesgos en gestión de sistemas de información principalmente relacionadas con riesgos de seguridad de la información.

El tercer capítulo presenta el método propuesto y la documentación sobre la validación realizada mediante los cuatro proyectos de medición ejecutados en el relleno sanitario “la cortada” del municipio de Pamplona.

El cuarto capítulo presenta las conclusiones del trabajo de investigación, las recomendaciones para ser continuado con otros estudios.

Finalmente el capítulo cinco se encuentra un amplio compendio de referencias bibliográficas con las cuales se elaboró el estado del arte y el marco teórico, considerados como los elementos base para la diseño del método propuesto.

## ***1.1 Planteamiento del Problema y Justificación***

En un planeta cada vez más contaminado es de vital importancia la medición de contaminación en zonas de residuos o desechos orgánicos y vegetales como rellenos sanitarios. Aunque este monitoreo de información debería ser permanente, los municipios no cuentan con los suficientes recursos para disponer de infraestructura y personal especializado en la planta de personal, es por lo tanto que este proceso de medición puede ser contratado por los municipios como proyectos de muy corta duración (una a dos semanas) y que se puedan aplicar de manera menos frecuente (cada tres meses por ejemplo).

Este tipo de proyectos requieren ser adecuadamente planeados de manera ágil y se considera que un buen método de planificación de riesgos facilita de manera satisfactoria la ejecución de estos procesos de medición de contaminación.

El desarrollo de un método como el requerido genera algunas preguntas de investigación que se lograron responder mediante un adecuado análisis de literatura científica existente al respecto.

¿Porque el uso de UAV es una estrategia viable para la medición de contaminación en rellenos sanitarios?

¿Cuál es el nivel de importancia de la gestión de riesgos dentro de la gestión de proyectos de medición de contaminación?

¿Cuál de los subprocesos de la gestión de riesgos (identificación, análisis y definición de planes de contingencia) requiere de mayor atención en este tipo de proyectos?

Los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto realizando la medición de la contaminación en el relleno sanitario “la cortada” del Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia, son de ayuda para entidades como CORPONOR y EMPOPAMPLONA SA. ESP, para realizar futuros análisis de niveles de contaminación permitidos en estas zonas, para su posible control de propagación y estudios de mitigación posterior.

La utilización de una de las tecnologías más recientes en la adquisición de datos aéreos, supervisión y control desde el aire como el DRON o UAV sirve para una adecuada y económica obtención de los datos sobre los niveles de contaminación en rellenos sanitarios.

Una vez obtenido el método se considera apropiado también en proyectos de medición de calidad de aire en pequeñas poblaciones que permitan la realización de vuelos a baja altura y podría utilizarse en otros tipos de proyectos que requieran de imágenes aéreas, o mediciones de diferente tipo para lo cual sea viable la instrumentación del UAV con sensores adecuados para dicha medición.

## **1.2 Objetivo General**

Diseñar un método de planificación de riesgos para proyectos de medición de contaminación en rellenos sanitarios, mediante UAV (vehículo aéreo no tripulado).

## **1.3 Objetivos Específicos**

Realizar el estado del arte sobre los distintos métodos de planificación de riesgos existentes y posibles candidatos aplicables a la gestión de riesgos en proyectos de medición de contaminación.

Definir el método de planificación de riesgos para este tipo de proyecto en particular basado en factores de vital importancia para la ejecución satisfactoria del proyecto.

Realizar una validación del método de planificación de riesgos del proyecto mediante su aplicación en el relleno sanitario “la cortada” del Municipio de Pamplona en por lo menos cuatro proyectos dos de los cuales no se aplicó el método propuesto y los últimos dos en los que si se aplicó.

## **1.4 Acotaciones**

Un método es un conjunto de actividades organizadas para cumplir con un objetivo en particular, y es necesario diferenciarlo de metodologías las cuales no solo incluyen las actividades organizadas sino que además dan respuestas a quien las realiza, cómo, con qué y que producen, es decir que las metodologías definen claramente además de las actividades (proceso), los roles que ejecutan cada una de las actividades, las herramientas y técnicas utilizadas en cada actividad, incluido notaciones especiales y los artefactos producidos. Este trabajo se centró en el diseño de un método, más no de una metodología de planificación de riesgos.

Como limitaciones de territorio el proyecto se realizó en el relleno sanitario “la cortada” del municipio de Pamplona (Norte de Santander), Colombia donde se realizaron los diferentes vuelos y mediciones mediante el UAV.

## **1.5 Metodología de Investigación**

Epistemológicamente, el trabajo utilizó una metodología de investigación con enfoque cuantitativo, con alcance exploratorio<sup>3</sup> y un diseño de investigación de tipo cuasi-experimental en el sentido que se aplicó el método en dos de los cuatro ejemplos realizados como validación.

Respecto a los involucrados o stakeholders de este trabajo de investigación se identificaron en primera instancia al ejecutor (Estudiante de la maestría en gestión de proyectos informáticos) y director del proyecto (Docente de la Universidad de Pamplona), la empresa de aseo Empopamplona SA. ESP, como administradora del relleno sanitario sobre el cual se ejecutaron los cuatro proyectos de medición de contaminación, dos de los cuales aplicaron el método propuesto.

### **1.5.1 Enfoque**

De acuerdo a (Hernando Ramírez, A. F., & Anne Marie, 2012) algunos de criterios que se pueden usar para determinar la conveniencia de un enfoque cualitativo o cuantitativo pueden estar en el interés del investigador por explicar o por comprender el objeto de estudio.

Es claro en esta investigación que el objeto de estudio es la planificación dentro de la gestión de riesgos de proyectos, sin embargo sería conveniente definir la diferencia entre explicar (cuantitativo) y comprender (cualitativo):

- Explicar: Dar a conocer la causa o motivo de algo. En este caso dar a conocer cómo hacer la gestión de riesgos en proyectos de medición de contaminación.
- Comprender: Abrazar, ceñir o rodear por todas partes algo. Es decir estudiar cómo es la gestión de riesgos en un contexto particular.

Un segundo criterio podría estar en la forma como se aborda el proceso investigativo en términos de táctica o de estrategia:

- La estrategia es un proceso regulable, conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento.
- La táctica es el arte que enseña a poner en orden las cosas. Método o sistema para ejecutar o conseguir algo.

---

<sup>3</sup> Principalmente debido a la innovación del uso de los UAV para la medición de contaminación en rellenos sanitarios y a la escasa literatura respecto a métodos de planificación de riesgos asociadas a estos tipos de proyectos de medición de contaminación.

Es por lo tanto que la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo (Sampieri, Collado, & Lucio, 1998) en el sentido que intenta explicar la conveniencia de un método de gestión de riesgos en proyectos de medición de contaminación y para lograr esto se utiliza una táctica predefinida que da un orden cronológico a las etapas a seguir en la investigación.

Finalmente una de las preocupaciones más importante de esta investigación se centra en la validez de un modelo de despliegue y su confiabilidad mediante la valoración por parte de expertos, y es esto una característica de los enfoques cualitativos.

### **1.5.2 Alcance**

Esta investigación define un alcance exploratorio, pues antecede en el contexto a cualquier otro tipo de investigación que se ha realizado en la maestría respecto al despliegue de procesos de software, de igual manera intenta innovar en la forma conveniente de despliegues de procesos, identificando los elementos mínimos y suficientes, necesarios en el despliegue de procesos de desarrollo de software libre.

El presente estudio se caracteriza igualmente por su propósito de identificar y describir los posibles riesgos que se pueden presentar en un proyecto de medición de contaminación mediante el uso de un UAV. Las investigaciones que utilizan la validación mediante la ejemplificación, se pueden considerar descriptivas, si lo que se pretende es identificar y describir los distintos factores que ejercen influencia en el fenómeno estudiado, y exploratorias, si a través de las mismas se pretende conseguir un acercamiento entre las teorías inscritas en el marco teórico y la realidad objeto de estudio (Martínez Carazo, 2006).

### **1.5.3 Diseño de investigación**

Según Dávila (Dávila, 1995), en la investigación se tienen diseños tácticos y diseños estratégicos; cuando el diseño es táctico, este se presenta en etapas, existe un orden en el tiempo, una jerarquía; hay un criterio lógico, entre premisas y conclusiones.

Es por esta razón, dentro de esta investigación con enfoque cuantitativo se presenta un diseño en forma de etapas predefinidas antes de iniciar el proceso investigativo que incluye: revisión de conocimientos y antecedentes, replanteamiento del problema, construcción del marco teórico, planteamiento de hipótesis, aplicación de técnicas e instrumentos en la comprobación de hipótesis, validación de resultados.

Por otro lado una investigación puede ser formulada como una expresión lógica de la forma:  $(h_1 \wedge h_2 \wedge h_3 \wedge \dots \wedge h_k) \rightarrow T$ , donde T es la tesis que se desea demostrar y para lo cual es suficiente y necesario demostrar la veracidad de cada una de las hipótesis  $h_i$  las cuales deben ser sustentadas y/o demostradas usando diversos métodos y técnicas de investigación. Estas hipótesis de investigación son el fundamento o base, sobre la cual se sostiene la tesis, y por tal motivo de su validez depende la validez del resultado de investigación.

Este trabajo de investigación define como hipótesis:

1. Los procesos de investigación en el área de gestión de riesgos se centran en la valoración de riesgos<sup>4</sup> como elemento indispensable en el análisis de riesgos (Variable: grado de importancia de la valoración de riesgos dentro de la planificación de la gestión de riesgos).
2. Es viable la medición de contaminación en rellenos sanitarios, mediante el uso de UAV. (Variable: nivel de viabilidad)
3. La gestión de riesgos en proyectos que usen UAV es un factor relevante (Variable: Nivel de relevancia de la gestión de riesgos en este tipo de proyectos)

Sobre estas hipótesis y su validez, se soporta la siguiente tesis:

Se puede diseñar un método adecuado para la planificación de riesgos en proyectos de medición de contaminación en rellenos sanitarios mediante UAV.

Para soportar la validez de las hipótesis fue necesario, recurrir a diversos métodos y técnicas de investigación y de consulta bibliográfica de la siguiente manera:

Métodos y herramientas utilizadas para la Hipótesis 1: Argumentación mediante consulta bibliográfica, o investigación documental, principalmente de artículos y Metodologías, estándares y guías que involucran la gestión de riesgos en diferentes contextos como son a nivel de organizaciones, proyectos, sistemas de información y gestión de tecnología en organizaciones.

Siguiendo recomendaciones generales y de buenas prácticas en el proceso de investigación, se tomaron en cuenta múltiples fuentes bibliográficas y se aplicó el principio de interrelación para garantizar la validez interna de la investigación. Esto permite comprobar si existe relación entre las diferentes bibliografías seleccionadas.

Las fuentes de información consultadas fueron artículos, revistas y libros de: Scopus, Publindex, Latindex, Scielo, ScienDirect/Elsevier, Springer, ACIS, IEEE, ACM, entre otros.

Métodos y herramientas utilizadas para la Hipótesis 2: Validación del método propuesto, mediante su aplicación en cuatro proyectos de medición de contaminación, en el relleno sanitario del municipio de Pamplona en el Norte de Santander.

Métodos y herramientas utilizadas para la Hipótesis 3: Argumentación mediante justificación del método propuesto, basado en la experiencia del autor en el uso de UAV.

#### **1.5.4 Fuentes de información**

Las principales fuentes de información en esta investigación se centraron en artículos de investigación relacionados con la gestión de riesgos. Se consultaron aproximadamente 100 artículos, 14 metodologías, normas y estándares que de una u otra forman incluyen la gestión de riesgos a nivel de organizaciones, proyectos, sistemas de información o en el área de gestión de tecnología en las organizaciones.

---

<sup>4</sup> Búsqueda de técnicas y herramientas adecuadas para la estimación de probabilidad e impacto, que facilitan la priorización de riesgos.

Esta información se usó para la construcción del estado del arte y analizar los diferentes métodos usados para la planificación de riesgos en proyectos donde involucre un UAV que tengan como propósito una herramienta para identificar los riesgos, realizar un análisis y posteriormente unos planes de respuesta. Posteriormente se realizó un análisis para identificar los principales elementos que involucran los riesgos que se pueden presentar en un proyecto de medición de contaminación.

Una vez identificados y analizados los elementos más importantes relacionado con los riesgos que se puedan presentar en nuestro proyecto en particular, se realiza una adaptación de un método para ser implementado en el proyecto usando un UAV, realizando un vuelo sobre los desechos.

El método construido basado en la adaptación de diferentes métodos consultados previamente debe satisfacer una ejecución satisfactoria del proyecto, brindándonos unas herramientas para la identificación de riesgos, un análisis de estos y unos planes de respuesta a los más importantes y posibles impases que se puedan presentar al ejecutar este.

Se diseñaron una serie de técnicas, herramientas y procedimientos que permiten guiar el diseño, la implementación, el seguimiento y la evaluación del impacto de proyectos relacionados con UAV's para el control de niveles de contaminación, los cuales son de gran importancia para entidades como Empopamplona y Corponor.

Usando la herramienta de validación por ejemplificación mediante la implementación de método en 4 ocasiones, se realizó una validación del método de planificación de riesgos del proyecto mediante su aplicación en el relleno sanitario del Municipio de Pamplona, Norte de Santander, Colombia para posteriormente realizar la presentación de los resultados obtenidos.

Finalmente es importante resaltar que para la gestión de este gran número de fuentes bibliográficas, se utilizó una herramienta denominada JafRef, la cual permite extraer el título, un resumen o abstract, el(los) autor(es) y además permite realizar un pequeño resumen de la temática del proyecto para su posterior clasificación. Una segunda herramienta de gran utilidad fue Mendeley a la cual se importó toda la información bibliográfica administrada en JafRef, y desde allí fue incorporada al informe final.

### **1.5.5 Población y muestra**

El concepto de población y muestra en este trabajo de investigación es relativo. En cuanto a la población que puede usar el método aquí propuesto, se podría estimar en aproximadamente 275 rellenos sanitarios en 650 municipios del país, (Villani, 2009).

Como muestra tan solo se realizó el proceso de validación del método en uno solo de estos rellenos (el del municipio de Pamplona), por conveniencia respecto a la facilidad de acceso al terreno donde se realizaron los vuelos y a la cooperación de la empresa administradora del relleno (EMPOPAMPLONA S.A E.S.P).

De manera indirecta se puede considerar población para esta investigación las personas que se benefician de adecuados procesos de tratamiento de basuras, en el cual la medición de la contaminación es un factor de gran importancia. Siendo así la información sobre los niveles

de contaminación en el relleno sanitario del municipio de Pamplona, será de importancia para la población total de la ciudad de aproximadamente 60.000 (Araque, 2013) habitantes, y los directamente beneficiados se podrían considerar como muestra un aproximado de 500 (Araque, 2013) personas que trabajan en el relleno o que viven en zonas aledañas.

### **1.5.6 Instrumentos**

El análisis documental se constituye en el principal instrumento de recolección de datos para el soporte de las hipótesis 1 y 3 definidas en el diseño de investigación

Las fuentes de información consultadas fueron artículos, revistas y libros de Scopus, Publindex, Latindex, Scielo, ScienDirect/Elsevier, Springer, ACIS, IEEE, ACM; como instrumentos de medición se utilizaron un datalogger basado en ARDUINO®, con una shield de GPS con el cual se ha georeferenciado la medición, una shield Micro SD con la cual se grabaron los datos, un sensor de temperatura y humedad DHT11, un sensor de gas metano (CH<sub>4</sub>) MQ4, lo cual se integró en un UAV (Vehículo Aéreo no Tripulado) como consideraciones éticas, los datos obtenidos de los niveles de contaminación fueron de completa confidencialidad (compromiso adquirido cuando se solicitó el permiso para el desarrollo del proyecto) para las empresas de aseo (Empopamplona SA. ESP).

Un segundo tipo de instrumentos se hace necesario para demostrar la hipótesis 2 incluye el análisis de datos obtenidos de la aplicación de método propuesto en la medición de contaminación del relleno sanitario en el municipio de Pamplona.

### **1.5.7 Tipos de análisis**

Dos tipos de análisis se realizarán dentro de la demostración de las hipótesis 1 y 3: uno la clasificación de artículos consultados en tres categorías: Análisis, evaluación y gestión de riesgos.

Como segundo tipo de análisis condensado en el marco teórico se estudiaron los procesos de gestión de riesgos en metodologías, estándares y normas organizadas también en cuatro categorías: a nivel organizacional, de proyectos, de sistemas de información y gestión de tecnologías de la información.

El estudio se enmarca en las orientaciones del enfoque cualitativo, y se justifica en la intención de soportar sus resultados en evidencias empíricas, brindando la posibilidad de pasar de la casuística, de lo informal a conocimientos más elaborados que permitan generalizaciones, aunque no necesariamente universales, pero si con la posibilidad de aplicarse en contextos similares al del objeto de estudio.

Los resultados serán buscados bajo el criterio de exploración de los elementos más importantes relacionados con los riesgos en proyectos donde se evidencie un UAV o DRONES involucrados y los posibles impactos que pueda tener sobre el desarrollo general de este tipo de procesos de medición.

Explorar y describir cómo se desarrollan los riesgos en proyectos de UAV y el impacto que pueden llegar a tener en un proyecto de medición de contaminación, ayudará a construir un marco de referencia basado en los datos empíricos obtenidos y analizados.

### **1.5.8 Actividades**

1. Revisión y estudio bibliográfico de los diferentes métodos usados para la implementación de proyecto usando un UAV: Buscar en bases de datos especializadas e internet en general, seleccionar y clasificar la bibliografía relevante y significativa para el desarrollo del proyecto.
2. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos definido en la guía del PMBOK®: se realizar una lectura analítica de la guía del PMBOK® del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
3. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos definido por la metodología PRINCE2: se realizar una lectura analítica de PRINCE2 del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
4. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos definido en la metodología IPAM: se realizar una lectura analítica de IPAM del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
5. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión tecnológica definido en la metodología COBIT: se realizar una lectura analítica de COBIT del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
6. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión tecnológica definido en la metodología ITIL: se realizar una lectura analítica de ITIL del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
7. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en la metodología OCTAVE: se realizar una lectura analítica de OCTAVE del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
8. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en la metodología CORAS: se realizar una lectura analítica de la guía de CORAS del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
9. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en el Estándar Australiano AS/NZS: se realizar una lectura analítica del estándar Australiano AS/NZS del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
10. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en la norma ISO 27000 y 27005: se realizar una lectura analítica de la norma ISO 27000 y 27005 del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.
11. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en la metodología CRAMM: se realizar una lectura analítica de

CAMM del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.

12. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en la metodología MAGERIT: se realizar una lectura analítica de MAGERIT del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.

13. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en las metodologías NIST y NIST2: se realizar una lectura analítica de NIST y NIST2 del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.

14. Análisis de la planificación de riesgos en proyectos de gestión de sistemas de información definido en la metodología RISK TI: se realizar una lectura analítica de RISK TI del cual se hace una síntesis en lo referente a la planificación de riesgos en los proyectos.

15. Selección y/o adaptación de un método para nuestro proyecto en particular. De la revisión bibliográfica y del análisis realizado seleccionar un modelo para ser adaptado y aplicarlo a el proyecto de medición de contaminación mediante un UAV.

16. Elaborar el marco de referencia: construir un marco de referencia que permita apoyar el proceso de toma de decisiones para seleccionar de forma asertiva los principales riesgos que involucran este tipo de proyectos, para su posterior análisis y planes de respuesta.

17. Identificar los riesgos, analizar lo riesgos y realizar planes de respuesta para cada una de las diferentes fases del proyecto como lo son la fase inicial de instrumentación, la fase posterior de vuelo y la fase final de análisis de datos, utilizando los diferentes modelos planteados.

18. Comprobar la funcionalidad de la propuesta mediante un vuelo realizado en el relleno sanitario del municipio de Pamplona Norte de Santander mediante la aplicación de las métricas e indicadores a los proyectos ya ejecutados y compararlos con los resultados obtenidos.

19. Revisar los resultados obtenidos en cada uno de los proyectos, sus impactos y su desarrollo en general mediante las técnicas de observación, aplicación de test, mediciones no estadísticas y análisis descriptivos entre otros métodos empíricos.

## 2 Marco Teórico

La gestión de riesgos se refiere a “las actividades de planeación, monitorización y control que se basan en la información producida en el análisis de riesgos” (Scarff, F., Carty, A., & Charette, 1993).

Se trata de la identificación e implementación de controles de seguridad para reducir los riesgos a un nivel aceptable, según lo indicado por la evaluación de riesgos (Moses, 1992). La reducción del riesgo se puede lograr evitando el riesgo, transfiriendo el riesgo, reduciendo la probabilidad de las amenazas, reduciendo las vulnerabilidades, reduciendo los posibles impactos, detectando tempranamente eventos no deseados, o reaccionando y recuperándose de algún incidente (Moses, 1992). La alternativa que se tome para reducir el riesgo depende del entorno empresarial específico y las circunstancias en las que la organización lleva a cabo su negocio. Incluso después de implementar todos los controles de seguridad, todavía existirá algún tipo de riesgo. El riesgo restante se denomina riesgo residual. Este riesgo podría ser el resultado de algunos activos dejados intencionalmente sin protección, ya sea a causa del bajo riesgo que representan o debido al alto costo del control sugerido. El riesgo residual debe ser clasificado como "aceptable" o "inaceptable". El riesgo inaceptable no debe tolerarse y las decisiones deben ser tomadas para aplicar controles adicionales o controles más estrictos, lo que reducirá aún más el riesgo (Humphreys, E. J., Moses, R. H., & Plate, 1998).

### 2.1 Los proyectos de medición de contaminación

La disposición definitiva de los residuos sólidos es, hoy en día, uno de los problemas más importantes que afectan a la región América Latina en términos ambientales. El sistema más adecuado para la disposición final es el relleno sanitario.

En los rellenos sanitarios se genera el metano, que es un gas de invernadero muy potente, contribuyente clave para el cambio global del clima (más de 21 veces más fuerte que el CO<sub>2</sub>). La vida atmosférica del metano es corta (10 años). Debido a que el metano es potente y tiene una vida corta, reducir las emisiones de metano de rellenos de residuos sólidos municipales es una de las mejores formas de lograr un impacto benéfico a corto plazo al mitigar el cambio climático global.

El CH<sub>4</sub> y el CH<sub>2</sub> son los constituyentes principales del gas de vertedero y son producidos por microorganismos que se encuentran bajo condiciones anaeróbicas<sup>5</sup>.

En su gran mayoría la medición de CH<sub>4</sub> o gas metano se realiza mediante el uso del sensor electrónico MQ4, los sensores de gas basados en óxidos semiconductores presentan un cambio en la resistencia cuando son expuestos a ciertos gases. El óxido de estaño, SnO<sub>2</sub>, es el compuesto más utilizado en la fabricación de sensores de gas, y con el fin de mejorar su eficiencia normalmente se le adicionan óxidos de paladio, bismuto, antimonio entre otros.

Los rellenos sanitarios deberían disponer de procesos de medición permanente de la emisión de estos gases, pero por lo general no cuentan con los recursos necesarios, para

---

<sup>5</sup> Estados del agua en la cual la concentración de oxígeno disuelto es demasiado baja para permitir la existencia de bacterias aeróbicas.

realizar dichos procesos, es así como podrían contratar la medición como proyectos outsourcing, periódicos (por lo menos cada tres meses) que incluyan la toma de datos y el análisis de datos.

Actualmente algunos rellenos sanitarios utilizan el sensor MQ4, incorporado en algunos instrumentos de medición comerciales, realizando una medición punto a punto, planeando una matriz que cubre la totalidad del terreno utilizado como relleno, estas mediciones se realizan manualmente paseando por los diferentes puntos del relleno, pero tiene la desventaja de que algunos puntos son inaccesibles por la topografía de los montículos, es así como estas mediciones pueden incurrir en errores de datos pues por lo general se toman en condiciones particulares y lo dispendioso de la toma de datos satura el sensor debido a que este procedimiento puede durar horas.

## **2.2 Aplicaciones de UAV**

A nivel internacional el Instituto de Agricultura Sostenible IAS (“Revista ambienta,” 2014) en España realiza estudios mediante UAV en zonas de cultivos agrícolas (J. Torres-Sánchez, J.M. Peña, 2014), (Gómez-Candón, 2014), (J.M. Peña-Barragán, J. Torres-Sánchez, 2013), (Peña-Barragán, F. López-Granados, L. García-Torres, 2010) y (García-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J.M., Lee, W.S., Rasmussen, J and Eshani, 2013) presentando algunos listados de riesgos muy particulares en dicho contexto. En China la Revista Internacional de Ingeniería Agrícola y Biológica IJABE (Huang, Y., Thomson, S.J., Hoffmann, W.C., Lan, 2013) presenta el desarrollo y perspectivas de las tecnologías de los UAV para la gestión de la producción agrícola, presentando de igual manera algunos riesgos muy particulares del uso de los UAV para tal fin. La revista New Scientist (“new scientist,” n.d.) presenta un análisis de riesgos de un UAV.

A nivel nacional la empresa HeliCam Colombia (HeliCam Colombia, 2014) ubicada en la ciudad de Medellín, expone una serie de riesgos que presenta el uso de un UAV para diferentes aplicaciones entre las cuales se mencionan:

**Seguridad ciudadana:** Control y vigilancia de hechos delictivos llevados a cabo en lugares de difícil o peligroso acceso. La grabación de los videos tomados desde los HeliCams podrá ser puesta a disposición de las Autoridades Competentes de la Justicia para el esclarecimiento de los sucesos.

**Defensa civil – bomberos – fuerzas militares:** Seguimiento en tiempo real desde el Aire de la situación del siniestro y la presencia de personas o elementos inflamables sin poner en peligro la vida del personal que debe actuar en estas situaciones.

**Transito – seguridad vial:** Control del tránsito y elementos de seguridad vial ubicados en carretera, como el apoyo en siniestros viales como derrumbes, deslizamientos de tierra, accidentes que involucren vehículos es abismos.

**Inspección municipios:** Toma de Video y Fotografía para el seguimiento de factores relacionados con la contaminación ambiental, depósitos clandestinos de residuos y construcciones no autorizadas o habitadas clandestinamente.

A nivel regional la empresa Aerocam Solutions (“Aerocam Colombia,” n.d.), cuenta con una serie de documentos denominados “manuales de vuelo” donde se exponen los riesgos de los UAV si no se siguen los procedimientos adecuados.

### **2.3 Riesgos y su gestión en proyectos**

El concepto de riesgo ha sido abordado desde diferentes contextos y se presenta aquí algunas definiciones comúnmente encontradas:

En el contexto de riesgos de seguridad en sistemas de información:

Es la estimación del grado de exposición a que una amenaza se materialice sobre uno o más activos causando daños o perjuicios a la Organización (Duque, 2001).

El riesgo indica lo que le podría pasar a los activos si no se protegieran adecuadamente. Es importante saber qué características son de interés en cada activo, así como saber en qué medida estas características están en peligro, es decir, analizar el sistema (Duque, 2001).

En el contexto de los proyectos:

Según PRINCE2 (referencia) es un conjunto de eventos inciertos que, si ocurre, tendrá un efecto en el logro de objetivos del proyecto. Esta definición concuerda en casi todas las metodologías como PMBOK en la cual un riesgo se entiende como un evento o condición incierta que en caso de ocurrir puede tener un impacto positivo o negativo sobre cualquiera de los objetivos del proyecto; IPMA según otras metodologías de gestión de proyectos.

En el contexto de este trabajo

Un riesgo es un evento que se puede o no presentar durante cualquier fase del proyecto y al presentarse repercute directamente sobre costos, tiempo y alcance del proyecto. Esta repercusión o impacto sobre estas tres variables puede ser de manera positiva o negativa. Un riesgo se considera positivo si al ocurrir disminuye tiempos, disminuye costos o aumenta alcance y un riesgo es negativo si al ocurrir aumenta tiempos, aumenta costos o disminuye alcance.

En todo proyecto se idéntica claramente dos fases la planificación y el seguimiento control. En estas dos fases se identifican, se analizan y se definen planes de respuesta, sin embargo la fase de seguimiento y control incluye la implementación de planes de respuesta en caso de que materialice el riesgo. Es por lo tanto la fase de planificación en la que recae el interés de este trabajo. Es así como se requiere conocer de diferentes técnicas y herramientas para la identificación de riesgos al inicio del proyecto, análisis de riesgos mediante la estimación de probabilidades

Dentro del proceso de planificación de riesgos el análisis de riesgos, después de su identificación se constituye en un factor determinante para la su futuro seguimiento y costos. Este análisis concluye con la clasificación de los riesgos de manera sistemática que permita al director de proyecto dedicar mayor esfuerzo a ciertos riesgos clasificados como de atención prioritaria. Las técnicas y herramientas para la estimación de probabilidad e impacto de un riesgo son el aspecto determinante para un buen proceso de análisis de

riesgos como proceso sistemático para estimar la magnitud de los riesgos a que está expuesta una organización (Duque, 2001).

Las técnicas para la estimación de probabilidad e impacto están basadas en la experiencia de quien valora los riesgos, sin embargo se pueden encontrar algunas escalas que facilitan el trabajo, por ejemplo la siguiente tabla muestra una escala para el impacto típica en proyectos y discrimina el impacto de acuerdo a las variables típicas del proyecto (coste, tiempo, alcance y calidad):

Objetivo del proyecto	Impacto Elevado (E)	Impacto Moderado (M)	Impacto Leve (L)
Costes	Rebasamiento del presupuesto 20-40%	Rebasamiento del presupuesto 10-20%	Rebasamiento del presupuesto <10%
Plazo	Retraso 10-20%	Retraso 5-10%	Retraso <5%
Alcance	Reducción inaceptable de alcance	Sacrificios negociables	Sacrificios mínimos
Calidad	Reducción inaceptable de datos	Sacrificios negociables	Sacrificios mínimos

*Tabla 1 Niveles de impacto*

*Fuente: Autor*

En las fases de seguimiento y control de riesgos, no incluidas dentro de la metodología aquí propuesta, el énfasis de las técnicas y herramientas se centran en la selección e implantación de salvaguardas para conocer, prevenir, impedir, reducir o controlar los riesgos identificados (Duque, 2001).

Por otro lado este trabajo está acotado por el tipo de proyecto sobre el cual se hace la planificación de riesgos, y existen diversos métodos, metodologías, estándares, normas y guías los cuales se analizaron en la sección 2.4 para de planificación de riesgos de proyectos aplicados a diferentes aéreas, pero se tiene muy poca información sobre métodos de planificación de riesgos en proyectos de medición de contaminación mediante UAV, debido a que esta es una de las muchas aplicaciones de los vehículos aéreos no tripulados; por su alto costo y riesgo que implica la toma de mediciones en estos sitios, por el contrario se basó en métodos actuales y se dio un enfoque a esta aplicación particular.

## **2.4 Estado del arte de la gestión de riesgos en proyectos**

La gestión de riesgos se estudia desde diversos contextos, entre estos la gestión de riesgos ambientales, la gestión de riesgos empresariales y la gestión de riesgos en proyectos. Dentro de este trabajo se ha centrado la consulta en la gestión de riesgos en proyectos y gran parte de las referencias se ubican en una ventana de observación de los 5 años<sup>6</sup>, sin

<sup>6</sup> A partir de la fecha en que se realizó este estado del arte, como fase anterior a la propuesta del método objeto de este trabajo.

embargo se ha realizado un estudio del tema desde los orígenes de la gestión de proyectos con unas referencias que representan los inicios de la disciplina.

La gestión de riesgos tiene sus orígenes en un contexto diferente al de la gestión proyectos, pues es en la gestión de riesgos de desastres (naturales o no), en la cual se acuñó y evolucionó el concepto de gestión de riesgos.

Entre los principales hitos que se pueden referenciar en esta evolución están:

1928. Se establece la ICRP (International Commission on Radiation Protection) en Suecia. (Clarke, 2008)

1939. UK establece fiabilidad del 99.999% por 1 hora de vuelo comercial. (Madrid, 2014)

1944. Von Neumann and Morgenstern escriben Theory of Games and Economic Behavior. (Von Neumann & Oskar Morgenstern, 2014)

1949. Callendar especula que un incremento del 10% de CO<sub>2</sub> entre 1850-1940 se vincula con el calentamiento observado en Europa y América del Norte desde 1880. (Madrid, 2014)

1961. Bell Labs desarrolla los árboles de fallos para la USAF para evaluar la seguridad en el lanzamiento de los Minuteman. (Madrid, 2014)

1972-1973. Artículos de Kahnemann y Tversky sobre Probabilidad Subjetiva y Psicología de la Predicción. (Madrid, 2014)

1975. La US Nuclear Regulatory Commission publica el primer ARP de seguridad nuclear. (Madrid, 2014)

1981. Kaplan y Garrick caracterizan el riesgo en términos de sucesos, consecuencias y probabilidades. (Madrid, 2014)

1991. Artículo de Boehm sobre metodologías de gestión de riesgos en procesos o proyectos. (Boehm, 1991)

1997. MAGERIT. Metodología de análisis y gestión de riesgos de TI. (Alberts C., 2001)

1999. Haimes presenta el papel del análisis de riesgos para tratar amenazas emergentes sobre infraestructuras críticas, incluido ciber-sabotaje y terrorismo. (Madrid, 2014)

1999. Estandar AS/NZS 4360, Estandar Australiano que define las prácticas de riesgos para cualquier actividad. (ISO, 2009a)

2000. Libro Ingeniería del software. McGraw Hill - Identificación de riesgos en etapas de prueba. (Sommerville., 2000)

2001. Artículo de Cardoso sobre identificación de riesgos en etapas de prueba en proyectos de software. (Cardoso, 2001)

2002. Artículo de Pressman sobre identificación de riesgos en etapas de prueba. (Pressman, 2002)

2003. Artículo de Thayer sobre metodologías de gestión de riesgos en procesos o proyectos (Thayer, 2003)

2005. NTC5254. Norma técnica Colombiana para la gestión de riesgos en los procesos o proyectos. (ISO, 2005)

2010. Metodología Risk TI. (Rueda, 2016)

2007. COBIT5. Conjunto de herramientas de soporte para gerenciar los requerimientos de control, temas técnicos y riesgos de negocio. (ISACA, 2012)

2010. Artículos de Perez & Donoso sobre modelos de gestión de riesgos (Perez & Donoso, 2010).

Respecto a la evolución propia del tema dentro de la gestión de proyectos, esta se ha practicado desde las primeras civilizaciones. ¡Cómo si no, se hubieran hecho grandes construcciones como las pirámides, circos o templos romanos, etc.!. Como regla general, hasta el siglo XX, los proyectos de ingeniería civil en general, eran gestionados por los arquitectos, ingenieros, constructores, etc. Existen registros que evidencian la existencia de “directores de proyecto” en la construcción de las grandes pirámides de Egipto, uno por cada cara de la pirámide que supervisaban la ejecución de los trabajos.

Según muchos autores el origen de la Gestión o Dirección de Proyectos puede situarse a comienzos del siglo XX, considerándose la aparición de los primeros métodos.

En el contexto de la gestión de proyectos, la historia de la gestión de riesgos evoluciona en paralelo al mismo concepto de gestión de proyectos, por lo tanto los principales hitos de la gestión de proyectos son:

1917. La primera gran innovación en la Gestión de Proyectos como disciplina se dio cuando Henry Gantt desarrolla el diagrama de programación que lleva su nombre. (Rueda, 2016)

1931. Uno de sus primeros usos del Diagrama de Gantt fue en el proyecto de la presa Hoover. (Montero, 2012)

1933. Proyecto de la línea Nueva York – San Francisco. (Virola, 2002)

1937. Teoría de la organización. (Daft, 2010)

1945. Proyecto Manhattan. (Quintanilla, 2007)

1945. Administración por objetivos (MBO). (Ponce, 2005)

1956. Se constituye la American Association of Cost Engineers, actualmente denominada AACE International. (Jennie, 2005)

1957. El método de la Ruta Crítica (Critical Path Method, CPM) fue desarrollado por la Dupont Corporation. (Montero, 2012)

1958. La Oficina de Proyectos Especiales de la Armada norteamericana, inventó la técnica PERT (Program Evaluation Review Technique) para el desarrollo de su proyecto de submarino Polaris. (Montero, 2012)

1962. El departamento de Defensa de Estados Unidos creó el concepto de Estructura de Desglose de Trabajo, EDT, (Work Breakdown Structure, cuyas siglas son WBS) y lo publicó para su uso en posteriores proyectos. (Montero, 2012)

1965. Se funda la organización IPMA (International Project Management Association). (Montero, 2012)

1969. Cinco voluntarios fundan el PMI (Project Management Institute) como una organización profesional sin fines de lucro dedicada a promover la práctica, la ciencia y la profesión de gestión de proyectos. (Montero, 2012)

1975. La empresa Simfact Systems Limited crea el método PROMPTII como un intento de establecer las directrices para el flujo de fase de un proyecto de equipo. (Montero, 2012)

1986. Aparece SCRUM1 por primera vez como una metodología para la Gestión de Proyectos. (Montero, 2012)

1987. El PMI publica la Guía PMBOK® como un libro blanco para documentar y estandarizar la información y prácticas aceptadas para la gestión de proyectos. (Montero, 2012)

1989. La Subsecretaría de Defensa para Adquisiciones de Estados Unidos incorpora la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management - EVM) como una parte esencial de sus programas y compras. (Montero, 2012)

1996. La agencia británica CCTA publica PRINCE (PRojects IN Controlled Environments), como una evolución del PROMPTII. (Montero, 2012)

1997. Se publica el libro "La Cadena Crítica". (Montero, 2012)

1998. El American National Standards Institute (ANSI) reconoce el PMBOK® como un estándar. (Montero, 2012)

2006. El AACE Internacional el "Marco para la Gestión Total de Costes". (Montero, 2012)

2008. Se publica la cuarta edición del PMBOK®. (Montero, 2012)

2009. La Office of Government Commerce (OGC) del Reino Unido realiza una revisión profunda de la metodología PRINCE, conocida como PRINCE2. (Montero, 2012)

2010. Se publica la quinta y actual edición de la guía PMBOK® del PMI. (Montero, 2012)

La temática de riesgos puede ser estudiada desde diferentes enfoques, uno de dichos enfoques son los riesgos en proyectos, para lo cual la literatura revisada conduce a el origen de investigaciones al respecto, en los años 45 en donde la gestión de proyectos se define como una disciplina de estudio.

En la actualidad<sup>7</sup>, se han presentado diversos estudios enfocados principalmente en tres categorías: El análisis de riesgos, la gestión de riesgos y evaluación de riesgos.

Respecto al **análisis de riesgos, es el proceso en el que se examinan los riesgos en diversos grados de detalle - calificación y cuantificación - para determinar el alcance de los riesgos, cómo los componentes de riesgo están relacionados entre sí, y cuáles son los más importantes a tratar.**

En los últimos cinco años se publicaron artículos principalmente relacionados con:

Modelo de análisis de riesgo para el proyecto de ingeniería aeroespacial incorporación de los factores humanos y de organización basados en el mecanismo (Meng, Mai, & An, 2012) en el cual se evalúa la calidad de fabricación de componentes de naves espaciales teniendo en cuenta los factores humanos y de organización, y luego se evaluó la probabilidad de coherencia entre la calidad de trabajo operativo y los diferentes tipos de defectos, y la severidad de la falla se calculó de acuerdo con la distribución de Poisson<sup>8</sup>; la tasa de incumplimiento previo del componente actualizado se basa en el teorema bayesiano<sup>9</sup>, posteriormente el modelo es validado por un proyecto de ingeniería aeroespacial con los datos modificados;

Un modelo complejo o fuzzy de análisis de riesgos de cronograma asistido por ordenador para evaluar la actividad de la construcción de redes de incertidumbre cuando se correlacionan duración de las actividades y factores de riesgo (Akmen & AztaAY, 2014) utiliza simulación de Monte Carlo<sup>10</sup> y un procedimiento denominado método del camino crítico fuzzificado realizado por conjuntos difusos y operaciones difusas.

Un procedimiento de análisis de riesgos extendido para proyectos de realización de un nuevo producto/servicio (Berlec, Starbek, Duhovnik, & Kuar, 2014); muestra que un análisis de riesgo habitual de las actividades del proyecto se basa en la evaluación de la probabilidad de que se produzcan eventos de riesgo y en la evaluación de sus consecuencias, en proyectos de realización del producto/proceso son cíclicamente recurrente, por lo que se añade un tercer parámetro en el procedimiento propuesto: una estimación de la incidencia de los eventos de riesgo.

---

<sup>7</sup>El estudio realizado incluyó artículos en scopus publicados principalmente a partir de 2010 y hasta el 2014.

<sup>8</sup>La distribución de Poisson es una distribución de probabilidad discreta que expresa, a partir de una frecuencia de ocurrencia media, la probabilidad de que ocurra un determinado número de eventos durante cierto período de tiempo. Concretamente, se especializa en la probabilidad de ocurrencia de sucesos con probabilidades muy pequeñas, o sucesos "raros".

<sup>9</sup>El teorema Bayesiano es una proposición planteada por el filósofo inglés Thomas Bayes en 1763 que expresa la probabilidad condicional de un evento aleatorio A dado B en términos de la distribución de probabilidad condicional del evento B dado A y la distribución de probabilidad marginal de sólo A.

<sup>10</sup>El método de Monte Carlo es un método no determinista o estadístico numérico, usado para aproximar expresiones matemáticas complejas y costosas de evaluar con exactitud. El método se llamó así en referencia al Casino de Monte Carlo (Principado de Mónaco) por ser "la capital del juego de azar", al ser la ruleta un generador simple de números aleatorios. El nombre y el desarrollo sistemático de los métodos de Monte Carlo datan aproximadamente de 1944 y se mejoraron enormemente con el desarrollo de la computadora.

Un modelo de simulación de análisis de riesgos para la evaluación económica de un proyecto de ingeniería hidroeléctrica (Cunbin, Xian, & Minxia, 2012) es sometido a una distribución Pearson-III<sup>11</sup> para estimar los parámetros de distribución y los beneficios que pueden ser simulados en un periodo determinado.

Un proyecto de desarrollo espacial a gran escala o por sus siglas en inglés LSDP<sup>12</sup> (J. Li & Lei, 2012) presenta un nuevo método de análisis de riesgos basado en tecnología multi agentes; el cual posee unas características especiales y es importante para el desarrollo de la economía social y la seguridad nacional. El análisis de riesgos fue una garantía importante para llevar a cabo los proyectos diseñados con alta calidad y bajo costo. El proceso de gestión y los factores de riesgo de la LSDP, utilizaron la teoría y la tecnología multi-agente para perturbar la gestión del proyecto y posteriormente se aplica a un proyecto de desarrollo espacial a gran escala. El nivel de riesgo del proyecto se evalúa y se identifican los factores de riesgo clave y se muestran resultados que pueden proporcionar información de decisión para el control y gestión de riesgos de este proyecto en particular.

Un modelo de datos multidimensional para proyectos de un túnel de metro (Ma, Luo, & Chen, 2013) presenta los indicadores más importantes de seguridad y posterior análisis del asentamiento del terreno, luego muestra un modelo de Gauss doble para representar la mejor solución para más de dos túneles gemelos; También se propone un parámetro de anchura para representar el alcance de las zonas de riesgo de seguridad.

Un modelo económico-probabilístico para llevar a cabo el análisis de riesgos en proyectos de innovación tecnológica con sus siglas en inglés TI, (Miorando, Ribeiro, & Cortimiglia, 2014); El modelo integra los riesgos y el análisis económico mediante la cuantificación de valor y probabilidad de ocurrencia de desviaciones de flujo de efectivo, lo que resulta en un análisis probabilístico económico de los rendimientos esperados. Las principales categorías de riesgo y los factores en los proyectos de TI son identificados y asociados a los grupos de flujo de caja. El modelo permite calcular valores ajustados al riesgo para los grupos de flujo de caja y proyectar el valor actual neto a través de la simulación estocástica; El modelo ofrece beneficios importantes desde el punto de vista de los profesionales, incluyendo una lista resumida de los factores de riesgo independientes y el uso de una escala monetaria para evaluar el impacto del riesgo que es familiar para la mayoría de las decisiones tomadas.

Existen tres fases para que los proyectos de construcción tengan éxito mediante el análisis de una IM<sup>13</sup>, (Weshah, El-Ghandour, Falls, & Jergeas, 2014); La primera fase identifica los principales problemas que afectan a una interfaz IM. La segunda fase incluye la mejora de rendimiento de los proyectos mediante el desarrollo y la aplicación de varios modelos de

---

<sup>11</sup>La distribución de Pearson en una familia de distribuciones probabilísticas continuas, fue publicada por primera vez por Karl Pearson en 1895 y subsecuentemente extendida por él en 1901 y 1916 en una serie de artículos de bioestadística, Pearson-III significa de tercer orden.

<sup>12</sup> En inglés Large-scale Space Development Project (LSDP) y consiste en una serie de proyectos los cuales requieren una inversión muy grande como los parques eólicos, parques solares, proyectos espaciales de la NASA.

<sup>13</sup> De las siglas en inglés Interface Management - Interface de Gestión.

análisis de regresión entre los factores subyacentes de problemas de interfaz y los indicadores de desempeño del proyecto. La última fase incluye la medición de la gravedad del impacto de cada problema de mensajería instantánea para desarrollar un modelo de análisis de riesgo de IM.

Un enfoque sistémico ayuda a la decisión para el análisis de riesgos de seguridad en condiciones de incertidumbre en la construcción de túneles. Las FBN<sup>14</sup> se utilizan para investigar las relaciones causales entre el daño inducido por el túnel y sus variables influyentes en base al análisis de mecanismos de riesgo/peligro. Con el objetivo de superar las limitaciones en la estimación de la probabilidad actual, se propone un indicador de confianza de expertos para garantizar la fiabilidad de los datos de la encuesta para la evaluación de la probabilidad difusa de factores de riesgo básicos. Un procedimiento de inferencia basado en fuzzy detallada es desarrollado, que tiene una capacidad de aplicar el razonamiento deductivo, análisis de sensibilidad y el razonamiento abductivo (Zhang, 2014), posterior a esto se lleva a cabo una comparación de las ventajas y desventajas entre FBN y FFTA<sup>15</sup> como herramientas de análisis de riesgos, el modelo puede ser utilizado para proporcionar directrices para el análisis de la seguridad y la gestión de proyectos de construcción, y por lo tanto aumentar la probabilidad de éxito de un proyecto en un entorno complejo.

Desde otra perspectiva de estudios, la **evaluación de riesgos** consiste en seleccionar los criterios de evaluación<sup>16</sup>, comparación de los riesgos estimados con los criterios de riesgo, priorización de riesgos y proposición de estrategias de gestión de riesgo y medidas: en los últimos cinco años se publicaron artículos principalmente relacionados con:

Un proyecto de construcción de transmisión de potencia ultra alto voltaje (Zhao & Guo, 2014) o sus siglas en inglés UHV<sup>17</sup> es un proyecto de red eléctrica de construcción de alta tecnología que se enfrenta a muchos riesgos y la incertidumbre. La identificación de los riesgos puede ayudar a mitigar el riesgo de pérdidas y promover el continuo desarrollo de este, la evaluación de riesgos en la construcción de proyectos de transmisión de energía UHV se lleva a cabo sobre la base de Proceso Analítico Jerárquico AHP<sup>18</sup> y el método difuso evaluación integral FCE<sup>19</sup>; Después de que el sistema de índice de evaluación de

---

<sup>14</sup> De las siglas en inglés Fuzzy Bayesian Networks – Redes Bayesianas Difusas.

<sup>15</sup> De las siglas en inglés Fuzzy Fault Tree Analysis - análisis de árbol de fallas difusa.

<sup>16</sup> Normas que representan puntos de vista de cuánto riesgo es aceptable o tolerable, se utilizan para traducir un nivel de riesgo en un juicio de valor.

<sup>17</sup> De las siglas en inglés Ultra High Voltage (UHV) el cual consiste en la transmisión de voltaje a elevadas potencias, desde 443 GW en 2004 a 793 GW en 2008, de 1,463 GW a 1,056 GW en el 2011 y de 6,000 a 6,600 TWh en el 2015

<sup>18</sup> De las siglas en inglés Analytic Hierarchy Process (AHP) es una técnica estructurada para tratar con decisiones complejas. En vez de prescribir la decisión “correcta”, el AHP ayuda a los decisores a encontrar la solución que mejor se ajusta a sus necesidades y a su comprensión del problema.

<sup>19</sup> De las siglas en inglés Fuzzy Comprehensive Evaluation (FCE) es una técnica la cual se adapta mejor al mundo real en el que vivimos, e incluso puede comprender y funcionar con nuestras expresiones, La clave de esta adaptación al lenguaje se basa en comprender los cuantificadores de calidad para nuestras inferencias.

riesgos se construye, la AHP es utilizada para determinar los pesos de los indicadores de riesgo, y el método FCE se usa para llevar a cabo la evaluación de riesgos; El resultado de la evaluación muestra que proyecto de construcción de transmisión de energía UHV tiene un riesgo moderado, lo que indica la probabilidad de ocurrencia de los riesgos del proyecto es de tamaño medio y la aparición de riesgos causará pérdida general para el proyecto, "sociedad del riesgo" tiene el nivel más alto, y el siguiente es el "riesgo político y la ley", "riesgo técnica", "riesgo ambiental natural" y "riesgo de gestión", respectivamente, y se debe mantener la atención puesta principalmente en el riesgo social, la política y el riesgo de la ley , y el riesgo de la técnica.

Numerosos accidentes industriales han puesto de manifiesto la ineficacia de los métodos de evaluación de riesgo convencionales, así como la negligencia de los factores de riesgo que tienen un impacto importante en la salud y seguridad de los trabajadores y residentes de la zona. La falta de evaluaciones fiables y completas desde el inicio de un proyecto genera malas decisiones que podrían terminar en peligro la propia existencia de una organización (Badri, Nadeau, & Gbodossou, 2012); Se evidencia un enfoque sistemático para la evaluación de los riesgos de salud y seguridad ocupacional y se conoce un nuevo procedimiento basado en el número de factores de riesgo identificados y su importancia relativa. Un nuevo concepto llamado factor de concentración de riesgo, junto con la ponderación de categorías de factores de riesgo como contribuyentes a eventos no deseados se utilizan en el modelo multi-criterios de comparación en procesos de jerarquía analítica con "selección de los expertos". Un estudio de caso se utiliza para ilustrar las diferentes etapas del enfoque de evaluación de riesgos y la integración rápida y sencilla de proyectos OHS<sup>20</sup> en una fase inicial de un proyecto. El enfoque permite la continua evaluación de criterios en el curso del proyecto o cuando se adquieren nuevos datos. De este modo es posible diferenciar los riesgos de salud y seguridad ocupacional de los riesgos de pérdida de calidad en el caso del proyecto de ampliación de la fábrica.

La incertidumbre en los proyecto está presente en muchos lugares, incluyendo las estimaciones de duración de las actividades, en la ocurrencia de eventos no planificados o imprevistos, así como en la disponibilidad de recursos críticos. El impacto puede ocasionar retrasos en la terminación del proyecto, aumento de los costos, y la disminución de los beneficios de las partes interesadas (Cates & Mollaghasemi, 2007); la valoración del proyecto por técnica de simulación PAST<sup>21</sup> mejora la visibilidad de las partes interesadas de la incertidumbre del proyecto, es decir, el riesgo de proyectar el rendimiento y la finalización. En ciertas situaciones, esta visibilidad mejorada puede conducir a la mejora de la gestión de riesgos del proyecto y un mejor rendimiento de finalización del proyecto.

---

<sup>20</sup> De las siglas en inglés occupational health and safety (OHS) el cual muestra la responsabilidad y desempeño de seguridad y salud en el trabajo, requeridos en toda la organización. También el compromiso formal de una organización, particularmente el de la alta gerencia relacionado con la gestión de seguridad y salud en el trabajo.

<sup>21</sup> De las siglas en inglés Project Assessment by Simulation Technique (PAST) es una técnica numérica que se utiliza para realizar experimentos en una computadora digital, a partir de un modelo lógico- matemático que se programa en la computadora y que describe el comportamiento de los componentes del sistema y su interacción en el tiempo.

Recientemente varios enfoques de evaluación de riesgos de seguridad sistemáticas, tales como el análisis de árbol de fallos FTA<sup>22</sup> y Modo de Fallo y Análisis de criticidad Efecto FMECA<sup>23</sup>, son utilizadas para evaluar los riesgos de seguridad en proyectos de puentes (G. . Chen, Wang, & Li, 2013). Sin embargo, estos métodos tradicionales abordan de forma ineficaz dependencias entre factores de seguridad en varios niveles que no proporcionan alertas tempranas para prevenir los accidentes de trabajo. Con el fin de superar las limitaciones del enfoque tradicional, se encuentra un modelo de evaluación del riesgo de caídas para los proyectos de construcción de puentes, se desarrolla mediante el establecimiento de una red bayesiana BN<sup>24</sup> sobre la base de árbol de fallos FTA. Se encuentra que el modelo proporciona una mejor capacidad de gestión de seguridad de la obra, permitiendo una mejor comprensión de la probabilidad de riesgos de caídas a través del análisis de las causas de la caída y sus relaciones en un BN.

Los gerentes requieren un buen conocimiento acerca de la naturaleza de los riesgos involucrados en un proyecto de construcción debido a la duración, calidad y presupuesto de los proyectos pueden ser afectados por estos riesgos. Por lo tanto, la identificación de riesgos y la determinación de sus prioridades en cada fase de la construcción pueden ayudar a los administradores de proyectos en la planificación y la adopción de medidas adecuadas contra los mismos. Por lo tanto, priorizar los riesgos a través de los factores de riesgo puede aumentar la fiabilidad de éxito (Ebrat & Ghodsi, 2014). Los riesgos involucrados en los proyectos de construcción se identifican y se disponen en una estructura jerárquica sistemática. Posteriormente, sobre la base de los datos obtenidos de un sistema de inferencia de adaptación Neuro-Fuzzy ANFIS<sup>25</sup> se diseña la evaluación de los riesgos del proyecto. Además, un modelo de regresión paso a paso también se diseña y sus resultados se comparan con los resultados de ANFIS. Los resultados muestran que los modelos

---

<sup>22</sup> De las siglas en inglés Fault Tree Analysis (FTA), La técnica del árbol de fallos nació en 1962 con su primera aplicación a la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman. Los árboles de fallos constituyen una técnica ampliamente utilizada en los análisis de riesgos debido a que proporcionan resultados tanto cualitativos como cuantitativos. En este apartado se describe únicamente la técnica en su aplicación cualitativa.

<sup>23</sup> De las siglas en inglés Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA) consiste en realizar un análisis de la criticidad utilizado para evaluar, por medio de diagramas adecuados, la gravedad de las consecuencias de un fallo correlacionado con la probabilidad de ocurrencia. El análisis, que se utiliza en diversos sectores, destaca los modos de fallo que tienen tanto una posibilidad de que ocurra relativamente alta combinada con una alta gravedad de las consecuencias, poniendo de relieve las debilidades de un proyecto, en el que se debe actuar con las modificaciones apropiadas.

<sup>24</sup> De las siglas en inglés Bayesian Network (BN) es un modelo probabilístico en un grafo acíclico dirigido es un modelo grafo probabilístico (un tipo de modelo estático) que representa un conjunto de variables aleatorias y sus dependencias condicionales a través de un grafo acíclico. Por ejemplo, una red bayesiana puede representar las relaciones probabilísticas entre enfermedades y síntomas. Dados los síntomas, la red puede ser usada para computar la probabilidad de la presencia de varias enfermedades. Formalmente, las redes bayesianas son grafos dirigidos acíclicos cuyos nodos representan variables aleatorias en el sentido de Bayes: las mismas pueden ser cantidades observables, variables latentes, parámetros desconocidos o hipótesis.

<sup>25</sup> De las siglas en inglés Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) es la combinación que existente entre la lógica difusa y las redes neuronales, estos sistemas son parte de un mecanismo que tiene su origen en la inteligencia artificial, este modelo es el soft computing, que se encuentra compuesto por la lógica difusa, el razonamiento de carácter probabilístico y la neurocomputación.

ANFIS son más satisfactorios en la evaluación de los riesgos de proyectos de construcción. La metodología propuesta puede ser aplicada por los administradores de proyectos de construcción y profesionales para evaluar de factor de riesgo de los proyectos de construcción de una manera apropiada

La implementación exitosa de construcción - operación - transferencia BOT<sup>26</sup>, en proyectos de infraestructura depende de un análisis completo y exhaustivo de factores que incluyen social, económica y política, entre otros. Junto a las evaluaciones enfocadas económicamente, factores cualitativos también tienen un fuerte impacto en el proyecto, por lo tanto se requieren técnicas específicas para el análisis (Fahad Al-Azemi, Bhamra, & Salman, 2014); Se evidencia un nuevo marco de evaluación, basado en la técnica de proceso de jerarquía analítica, para su uso en la evaluación de los factores de decisión más comunes e importantes en riesgos relativos a proyectos BOT. Las consultas con un grupo de expertos identifican una serie de factores de decisión de riesgo. Los resultados resultantes fueron veintiocho factores de riesgo importantes, que tienen un impacto particular sobre los riesgos de los proyectos. El marco de riesgo del proyecto se construye mediante la clasificación de los factores en cinco categorías y se valida exitosamente utilizando un estudio de caso del proyecto. El anterior estudio se realiza con una valiosa contribución al campo por desarrollar y validar un nuevo marco de evaluación de riesgos.

Un sistema de índice de evaluación integral de arrendamiento financiero de aviones se construye (Fei, 2012) y utiliza AHP para calcular los pesos de los indicadores con la prueba de consistencia. Posteriormente es propuesto un modelo de evaluación integral del riesgo de financiación de aviones de arrendamiento.

En comparación con el modo de contratación tradicional, contratistas toman la mayor parte del riesgo en proyectos EPC. Es más importante para los contratistas hacer la evaluación de riesgos en proyectos EPC. Entre algunos métodos de evaluación de riesgo, como AHP y método de evaluación difusa, los datos se basan en la opinión de expertos (Feng, Chang, & Wang, 2013). Presenta un nuevo método y el procedimiento en el que los datos se basan en el estudio de casos y optimizado similares o relacionados. El respectivo método hace el análisis cuantitativo de evaluación del riesgo más precisa y objetiva. El modelo es aprobado usando 5 estudios de casos con buenos resultados. Se evidencia que este método de análisis cuantitativo fue eficaz en la evaluación del riesgo de los proyectos de contrato EPC para los contratistas, los cuales proporcionan una base para que los contratistas tomen sus decisiones.

En la industria de la construcción de túneles se han visto grandes avances en los proyectos de construcción subterránea. Ahora, evidenciando grandes cambios con las dos últimas décadas. En muchas ocasiones, los proyectos de construcción de túneles se ven involucrados en la situación con condiciones inesperadas que amenazan la continuidad de los proyectos (Fouladgar, Yazdani-Chamzini, & Zavadskas, 2012). Los gerentes siempre buscan una técnica fiable para superar las limitaciones de las finanzas y el tiempo. El

---

<sup>26</sup> De las siglas en inglés Build - Operate - Transfer (BOT) es una modalidad de contrato según el cual una compañía privada se compromete a construir y operar, ser propietario y después transferir los activos a la administración. Dada la magnitud de las inversiones esta clase de contratos se suele suscribir por períodos largos de tiempo, 20 a 25 años.

método TOPSIS<sup>27</sup> es ampliamente utilizado para resolver problemas de toma de decisión de múltiples criterios MADM<sup>28</sup>. La técnica asigna la mejor alternativa entre un conjunto de alternativas factibles. Por otra parte, debido a las incertidumbres inherentes en la construcción de túneles se utiliza la lógica difusa con el fin de tener en cuenta si estas incertidumbres pueden ser útiles. Además, se introducen nuevos factores para promover la exactitud del análisis de riesgos. Por último se presenta un estudio de caso en el mundo real para mostrar la eficacia y la precisión del nuevo modelo de evaluación de riesgos.

La participación del Servicio Geológico de Canadá en el proyecto de paisajes geo-químicos del suelo de América del Norte 2004-2009 condujo al desarrollo de protocolos para apoyar las evaluaciones de riesgo ambiental y sanitario. Se presentan recomendaciones para la adquisición de muestras de suelo, análisis de los mismos y los datos geoquímicos resultantes para apoyar las evaluaciones de riesgo, así como las líneas generales de un procedimiento para estimar el fondo geoquímico (Friske et al., 2013).

El proyecto de reutilización de aguas regeneradas mediante la financiación ABS<sup>29</sup> ayuda a resolver el problema de la escasez de fondos para la construcción efectiva. Sin embargo, la adopción de nuevos métodos se enfrenta a diversos riesgos (Gao & He, 2013). Sobre la base de la introducción de la teoría relacionada acerca de la financiación del proyecto ABS de reutilización de agua regenerada, se establece un sistema de índice de evaluación de riesgos e introduce la entropía<sup>30</sup> en el método de medición.

El nivel de riesgo del proyecto HDD<sup>31</sup> es un parámetro clave en la evaluación de la viabilidad del proyecto. También es un punto de partida para la introducción de la

---

<sup>27</sup> De las siglas en inglés Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) es un método de análisis de decisión multicriterio, que fue desarrollado originalmente por Hwang y Yoon en 1981 con los nuevos acontecimientos por Yoon en 1987, y Hwang, Lai y Liu en 1993. TOPSIS se basa en el concepto de que la alternativa elegida debe tener la distancia geométrica más corta desde la solución ideal positivo (PIS) y la distancia geométrica más larga de la solución ideal negativa (NIS). se trata de un método de agregación compensatoria que compara un conjunto de alternativas mediante la identificación de los pesos para cada criterio, la normalización de las puntuaciones para cada criterio y calcular la distancia geométrica entre cada alternativa y la alternativa ideal, que es la mejor puntuación en cada criterio.

<sup>28</sup> De las siglas en inglés Multi Criteria Decision Making (MCDM) es una subdisciplina de la investigación de operaciones que tiene en cuenta explícitamente criterios múltiples en entornos de toma de decisiones. Coste o precio suele ser uno de los criterios principales. Alguna medida de la calidad suele ser otro criterio que está en conflicto con el costo.

<sup>29</sup> De las siglas en inglés Asset - Backed Securities (ABS) hace referencia al sector de las finanzas que fue creado para ayudar a proveer con mayor liquidez o fuentes de financiación a mercados como el inmobiliario, así como para transferir el riesgo. La transferencia de liquidez y riesgo se consiguen en las finanzas estructuradas a través de la titulación de varios activos financieros (por ejemplo, una hipoteca, las deudas asociadas a una tarjeta de crédito o un préstamo para la compra de un automóvil), lo que ha contribuido a abrir nuevas fuentes de financiación para consumidores y empresarios.

<sup>30</sup> La entropía consiste es una magnitud física que para un sistema termodinámico en equilibrio mide el número de microestados compatibles con el macroestado de equilibrio, también se puede decir que mide el grado de organización del sistema, o que es la razón incremental entre un incremento de energía interna frente a un incremento de temperatura del sistema.

<sup>31</sup> De las siglas en inglés Hard Disk Drive (HDD) es el dispositivo de almacenamiento de datos que emplea un sistema de grabación magnética para almacenar archivos digitales. Se compone de uno o más platos o discos

estrategia de gestión del riesgo que tiene como objetivo reducir el número de errores de instalación y de sus consecuencias negativas aplicando (Gierczak, 2014). Se desarrolla un nuevo modelo matemático para la evaluación de riesgos cualitativa y cuantitativa de los proyectos de HDD de varios tamaños (MINI<sup>32</sup>, MIDI<sup>33</sup> y MAXI<sup>34</sup>), lo que permite tener en cuenta la especificidad de instalación (la posibilidad opcional de la aplicación de diversas herramientas y máquinas). La evaluación de riesgos se lleva a cabo aplicando un Análisis Fuzzy del árbol de fallos. Los eventos no deseados se dividieron en 4 clases: problemas con el suelo, las máquinas, el medio ambiente y la gestión. La aplicación de la teoría de conjuntos difusos en el modelo propuesto hace posible disminuir la incertidumbre, la falta de precisión y de las dificultades con la obtención de los valores nítidos de la probabilidad de eventos básicos, que se producen en el análisis de árbol de fallos convencional.

La desviación del agua provoca cambios en el régimen de caudales aguas abajo, que pueden intensificar la crisis de escasez de agua. El efecto de la desviación de la escasez de agua depende de los volúmenes de demanda de agua trasvasada y el agua de la zona de origen, la afluencia de aguas arriba y la manera de hacer funcionar el depósito. (Gu, Shao, & Jiang, 2012) presentan los resultados de un estudio para evaluar el impacto de desviación de agua desde el embalse de Danjiangkou<sup>35</sup> en media y baja del río Hanjiang<sup>36</sup>, parte de la zona fuente de Sur a Norte la transferencia del agua del proyecto, en China. El modelo de evaluación de riesgos consta de cuatro partes, incluyendo la generación de flujo de entrada, la demanda de agua, la simulación y la evaluación del desempeño se realiza mediante el modelo de Thomas-Fiering<sup>37</sup> y el método de Monte-Carlo se utilizan para simular los datos mensuales depositados en la entrada y un vector aleatorio de 12 dimensiones se utiliza para describir la demanda de agua de 12 meses de media y baja del río Hanjiang. Se establece un modelo de simulación de yacimientos para un funcionamiento óptimo del embalse de Danjiangkou.

---

rígidos, unidos por un mismo eje que gira a gran velocidad dentro de una caja metálica sellada. Sobre cada plato, y en cada una de sus caras, se sitúa un cabezal de lectura/escritura que flota sobre una delgada lámina de aire generada por la rotación de los discos. Es memoria no volátil.

<sup>32</sup> La palabra MINI es usada para definir proyectos HDD de tamaño pequeño.

<sup>33</sup> La palabra MIDI es usada para definir proyectos HDD de tamaño mediano.

<sup>34</sup> La palabra MAXI es usada para definir proyectos HDD de tamaño grande.

<sup>35</sup> Embalse de Danjiangkou es un depósito en la ciudad de Danjiangkou, la provincia de Hubei, centro de China. Creado por la presa de Danjiangkou, que sirve como una fuente de agua para la región, así como el riego, la generación de electricidad y control de inundaciones. Fue construido en 1958, y en ese momento era uno de los embalses más grandes de Asia.

<sup>36</sup> El río Hanjiang a menudo llamado Han o Hànsǔi es un largo río de China, uno de los principales afluentes del río Yangtsé, que le aborda en su curso medio por la margen izquierda en la ciudad de Wuhan. Tiene una longitud de 1.532 km y drena una cuenca de 174 300 km<sup>2</sup>, mayor que países como Túnez, Surinam o Nepal.

<sup>37</sup> El modelo de Thomas y Fiering contempla además de la media y la varianza, el coeficiente de correlación pues estos autores consideraron que los registros históricos indicaban la importancia de preservar este estadístico (consecuencia del fenómeno de persistencia observable en los procesos hidrológicos).

La gestión del riesgo de los proyectos portuarios se basa en el análisis secuencial de las actividades de gestión, el cual se traduce en respuestas específicas del proyecto para reducir el riesgo. La evaluación de riesgos previamente se ha investigado en proyectos portuarios; sin embargo, todavía es relativamente descuidado debido a la complejidad del proceso de evaluación de riesgos con métodos de remuestreo no paramétricos<sup>38</sup> y los cálculos de intervalo. En la evaluación de riesgos, los datos requeridos y los juicios de los expertos a menudo son limitados. Por otra parte, distribuciones estadísticas de los parámetros, las cuales juegan un papel importante, son generalmente desconocidas. Por lo tanto, los enfoques tradicionales no cuentan con la suficiente precisión como para ayudar a este tipo de problemas. (Hashemi, Mousavi, Tavakkoli-Moghaddam, & Gholipour, 2013) presenta un novedoso enfoque de la clasificación de compromiso basado en intervalos de confianza bootstrap<sup>39</sup> para la evaluación del riesgo en proyectos portuarios. La clasificación de los riesgos del proyecto se obtienen mediante la comparación de los números de intervalos basados en el método de remuestreo bootstrap de acuerdo con un nuevo peso de la estrategia para la mayoría de los criterios de evaluación de riesgo y nivel de optimismo de los expertos.

La falta de un método de evaluación adecuado sobre los riesgos de rendimiento en proyectos de contrato de rendimiento energético EPC<sup>40</sup> es una de las razones que impiden el desarrollo de empresas de servicios energéticos ESCOs<sup>41</sup> del mercado. (P. . Lee, Lam, Yik, & Chan, 2013) propone un método basado en la simulación para evaluar la probabilidad de ahorro de déficit teniendo en cuenta las variaciones en los parámetros influyentes, incluyendo las condiciones climáticas, la ocupación, horas de funcionamiento durante el período del contrato de energía. El método consiste en el uso de un programa detallado de energía del edificio de simulación, análisis de sensibilidad y técnicas de simulación de Monte Carlo. Los datos empíricos son utilizados para desarrollar las funciones de distribución de probabilidad para los parámetros identificados para simular las variaciones reales anuales en las condiciones posteriores a la modificación.

---

<sup>38</sup> Los métodos de remuestreo no paramétricos consisten en el uso de técnicas de remuestreo en el cual se se parte de una muestra aleatoria de datos  $X=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  procedentes de una determinada población y se utiliza únicamente esta información muestral para realizar estimaciones de parámetros poblacionales, sin necesidad de hacer supuestos adicionales sobre la distribución de la población entera.

<sup>39</sup> El bootstrap es un tipo de técnica de remuestreo de datos que permite resolver problemas relacionados con la estimación de intervalos de confianza o la prueba de significación estadística, se refiere a la realización de inferencias estadísticas basadas en el remuestreo de un conjunto de datos procedentes de una muestra aleatoria.

<sup>40</sup> De las siglas en inglés Energy Performance Contracting (EPC) es una forma de "financiamiento creativo" para la mejora de capital que permite mejoras energéticas financiación de la reducción de costes.

<sup>41</sup> De las siglas en inglés Energy Service Companies (ESCOs) es una empresa que genera negocio a base de conseguir ahorro energético, y por tanto ahorro a sus costes totales, a sus clientes. Las ESCO pueden mejorar su eficiencia energética y pueden disminuir el impacto ambiental asociado al consumo energético, que también está relacionado con su sostenibilidad y la capacidad de carga. El cliente ahorra dinero sin ver disminuida la calidad de sus productos o servicios.

Antecedentes de trombo embolismo venoso TEV<sup>42</sup> es un importante problema de salud en todo el mundo. Los datos sobre las prácticas de profilaxis<sup>43</sup> de TEV en los países en desarrollo son escasos (Mokhtari et al., 2014). Los datos sobre 1219 pacientes de veinte hospitales en Irán fueron extraídos de la base de datos del proyecto principal AVAIL-ME<sup>44</sup> y los riesgos de TEV y están clasificados de acuerdo al modelo de evaluación de riesgos de Caprini<sup>45</sup>. Un análisis por regresión logística se lleva a cabo para evaluar los factores que influyen en la profilaxis de TEV. También se examina el impacto de un programa educativo que consiste en la conciencia, la evaluación de riesgos, implementación del protocolo interno y re-evaluación, en las prácticas de profilaxis de TEV.

Un modelo de evaluación de riesgo es incierto para los proyectos de construcción, el modelo combina el principio promedio ponderado difuso con una medida de similitud de los números difusos generalizados<sup>46</sup>. La probabilidad de fallo de cada objetivo del proyecto puede evaluarse utilizando un algoritmo de promedio ponderado difuso (Rezakhani, Jang, Lee, & Lee, 2014). Se evidencia un modelo que puede hacer frente a la incertidumbre asociada a los proyectos de construcción basados en la teoría de conjuntos difusos y facilitar la evaluación de riesgos difusos al permitir cálculos sofisticados y aportes teóricos que permitan a los investigadores evaluar con rapidez los riesgos del proyecto. Un caso de prueba verifica la capacidad de uso y la validez del método.

Los proyectos de innovación tecnológica IT<sup>47</sup> llevan un alto riesgo de fracaso debido a la existencia de grandes obstáculos durante la fase de planificación, aplicación y desarrollo. Los riesgos de los proyectos son multidimensionales, y deben ser evaluados por múltiples

---

<sup>42</sup> De las siglas en inglés Thrombo Embolism Venous (TEV) es una complicación conocida de los pacientes con cáncer y aproximadamente el 15% de los pacientes con cáncer desarrollará un TEV.

<sup>43</sup> Profilaxis es la infusión periódica de concentrados de factor de coagulación para evitar hemorragias. La idea de la profilaxis surgió a partir de la observación de que las personas con hemofilia leve o moderada (que tienen niveles de factor de coagulación de 1% o mayores) rara vez presentan hemorragias espontáneas. También tienen menos lesiones articulares que las personas que padecen hemofilia grave.

<sup>44</sup> Proyecto en particular denominado AVAIL-ME el cual se basó en 1219 pacientes de veinte hospitales en Irán.

<sup>45</sup> El modelo de Caprini es una herramienta de medida utilizada para evaluar la probabilidad de que un paciente va a desarrollar peligrosos coágulos en las venas profundas de las piernas o los pulmones después de la cirugía.

<sup>46</sup> Los números difusos generalizados son una extensión de un número regular en el sentido que no se refiere a un único valor sino a un conjunto de posibles valores, que varían con un peso entre 0 y 1, llamado función miembro. Un número difuso es así un caso especial de conjunto difuso convexo. Así como la lógica difusa es una extensión de la lógica booleana (que sólo utiliza valores 0 y 1, exclusivamente), los números difusos son una extensión de los números reales. Los cálculos con números difusos permiten la incorporación de incertidumbre en parámetros, propiedades, geometría, condiciones iniciales, etc.

<sup>47</sup> De las siglas en inglés Innovation Tecnology (IT) se define como la transformación de una idea en un producto o equipo vendible, nuevo o mejorado; en un proceso operativo en la industria o el comercio, o en una nueva metodología para la organización social. Cubre todas las etapas científicas, técnicas, comerciales y financieras, necesarias para el desarrollo y comercialización exitosa del nuevo o mejorado producto, proceso o servicio social.

atributos de métodos de toma de decisiones. (Taylan, 2014) proporciona herramientas analíticas para la evaluación de los riesgos en proyecto de TI de la organización de aprendizaje en virtud de la información incompleta e imprecisa. Uno de los objetivos es poner el riesgo en una categoría adecuada y predecir el nivel de avance en el desarrollo de estrategias para contrarrestar los factores de alto riesgo los cuales son diseño, metodología y enfoque. Un análisis financiero y evaluación de riesgos utiliza conjuntos y sistemas difusos con ayuda de un sistema difuso desarrollado es un sistema experto que puede predecir la categoría de riesgo de proyectos de TI en organizaciones de aprendizaje.

Los proyectos de construcción se iniciaron en el entorno dinámico que se traducen en circunstancias de alta incertidumbre y los riesgos debido a la acumulación de muchos parámetros interrelacionados. (Taylan, Bafail, Abdulaal, & Kabli, 2014) presenta el uso de nuevas herramientas analíticas para evaluar los proyectos de construcción y sus riesgos generales bajo situaciones incompletas e inciertas. Algo muy importante es poner el riesgo en una categoría adecuada y predecir el nivel de avance en el desarrollo de estrategias y contrarrestar los factores de alto riesgo. El estudio abarca la identificación de los criterios de riesgo clave de los proyectos de construcción en la Universidad Rey Abdulaziz KAU<sup>48</sup>, y la evaluación de los criterios por los métodos híbridos integrados. Las metodologías híbridas propuestas se inician con una encuesta para la recogida de datos. Se aplica el método del índice de importancia relativa RII<sup>49</sup> para priorizar los riesgos del proyecto en base a los datos obtenidos. Los proyectos de construcción se clasifican en AHP fuzzy y metodologías TOPSIS difusas. Se utiliza AHP difuso o también denominado FAHP<sup>50</sup> para crear pesos favorables para las variables difusas de proyectos de construcción de riesgo general. El método TOPSIS es muy adecuado para la solución de problemas de toma de decisión en entornos fuzzy o complejos.

Los proyectos de rendimiento energético tiene muchos grupos de interés y su estructura es compleja. (J. Wang & Li, 2013) presenta un amplio sistema de índices de evaluación de riesgo de proyectos EPC de las diferentes partes interesadas o involucradas; se utiliza el método AHP para evaluar su riesgo y TOPSIS para verificar el resultado de la evaluación. El resultado de la evaluación muestra que los indicadores de evaluación y el método son factibles, que puede resolver mejor el problema de la evaluación de riesgos de proyectos EPC.

---

<sup>48</sup> De las siglas en inglés King Abdulaziz University (KAU) la Universidad Rey Abdulaziz fue fundada en 1967 en Jeddah, Arabia Saudita. Diseñado por el arquitecto Inglés John Elliott, que tenía 2.000 profesores y más de 37.000 estudiantes en 2000/2001. Establecido inicialmente como universidad privada por un grupo de empresarios liderado por Sheikh Muhammad Abu Bakr Bakhashab Pasha e incluyendo el escritor Hamza Bogary. En 1974 la Universidad King Abdulaziz se convirtió en una universidad pública mediante una resolución del Consejo de Ministros de Arabia Saudita.

<sup>49</sup> De las siglas en inglés Relative Importance Index (RII) es método que representa la frecuencia de aparición de cada tipo de presa, cada valor representa una frecuencia relativa.

<sup>50</sup> De las siglas en inglés Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FHAP) es una técnica que permite la resolución de problemas multicriterio, multientorno y multiactores, incorporando en el modelo los aspectos tangibles e intangibles, así como el subjetivismo y la incertidumbre inherente en el proceso de toma de decisiones

Un análisis de la estructura de la agencia principal de servicios multi-clase en los proyectos nacionales previstos S&T, proporciona la concepción del riesgo en proyectos (X. . b Wang, Jia, & Ma, 2012). Un sistema de índice de la evaluación de riesgo de acciones nacionales previstas y un estudio empírico aplicado a los proyectos nacionales S&T.

La simulación de Monte-Carlo de es un método ideal para la evaluación del riesgo de los proyectos de petróleo y gas, pero por desgracia no puede ser adaptable para los proyectos de gas CBM<sup>51</sup> por falta de suficientes datos históricos, especialmente en la situación actual de desarrollo de gas en su etapa inicial (Xia, Luo, & Dai, 2012). En vista de esto, basado en las teorías básicas de la simulación de escenarios y análisis de probabilidad en el Método de simulación de Monte-Carlo, factores de riesgo son seleccionados por primera vez por el análisis de sensibilidad, el valor discreto y la probabilidad de cada factor de riesgo se estiman mediante el uso de la Método Delphi<sup>52</sup>. Los valores discretos de todos los tipos de factores de riesgo se combinan para simular el contexto, y un modelo de evaluación de riesgos mediante la integración de los proyectos de desarrollo de gas CBM de acuerdo con el proceso de identificación de riesgos para la estimación del riesgo, sobre esta base, los valores y la posibilidad se calculan en diferentes contextos, y por lo tanto la evaluación del riesgo de un proyecto de gas CBM se cumple finalmente. Debido a que el método tradicional basado en la desviación estándar y el coeficiente no puede satisfacer la demanda de las decisiones de inversión real, la desviación semi-estándar ampliada y su coeficiente se introduce como índices de evaluación de riesgo es muy importante para los proyectos de CBM.

Los proyectos PPP<sup>53</sup> por lo general implican más riesgos que otros modelos tradicionales de adquisición debido a su complejidad (Xu, Lu, Chan, Skibniewski, & Yeung, 2012). Un modelo de evaluación de riesgos y la práctica informatizada de proyectos PPP con una estructura jerárquica de riesgos integrada por 17 factores ponderados se desarrolla para describir los perfiles de riesgo. Los factores de ponderación y funciones de pertenencia para los factores de riesgo están establecidos mediante la técnica de encuesta Delphi y teoría de conjuntos difusos. El modelo de evaluación de riesgos se desarrolla utilizando un enfoque de evaluación sintética difusa. La herramienta ayuda a la decisión automatizada basada en el modelo de evaluación de riesgos para los profesionales de PPP mediante el uso de Visual Basic para Aplicaciones VBA<sup>54</sup>. La herramienta informática no sólo puede ayudar a los

---

<sup>51</sup> De las siglas en ingles Coal Bed Methane (CBM) conocido como gas metano de carbón o gas metano de mantos carboníferos, es una fuente de gas no convencional. Se obtiene a partir de la extracción del metano contenido en las capas de carbón. Las técnicas para la extracción de gas proveniente de estos yacimientos no convencionales difieren de aquellas utilizadas en los yacimientos convencionales de gas natural.

<sup>52</sup> El método Delphi es una técnica de comunicación estructurada, desarrollada como un método de predicción sistemático interactivo, que se basa en un panel de expertos. Es una técnica prospectiva para obtener información esencialmente cualitativa, pero relativamente precisa, acerca del futuro.

<sup>53</sup> De las siglas en ingles Public - Private Partnership (PPP) es una alianza público privada o también colaboración público privada es un tipo de contrato mediante el cual una empresa presta un servicio público y es financiada u organizada a través de una asociación económica entre el Estado (o cualquier otra administración pública) y una o más empresas, ya sea privadas o sociales.

<sup>54</sup> De las siglas en ingles Visual Basic for Application (VBA) Microsoft VBA es el lenguaje de macros de Microsoft Visual Basic que se utiliza para programar aplicaciones Windows y que se incluye en varias

participantes del PPP para evaluar el nivel de riesgo global de un proyecto de PPP para la toma auxiliar de inversión, sino que también puede ayudar a los médicos a identificar las áreas de mayor riesgo de un proyecto PPP para una respuesta eficaz del riesgo.

El método del proceso analítico jerárquico difuso toma ventaja del método de la escala de tres y la matriz consistente (Yang, Liu, & Wang, 2014), lo que es más adecuado para el análisis de problema de decisión multi-objetivo que el proceso analítico jerárquico tradicional. De acuerdo a las características de un proyecto de energía eólica, se construye un sistema de índice de evaluación del riesgo en la inversión del proyecto de energía eólica y se establece un modelo de evaluación de riesgo de la inversión de proyectos de energía eólica basado en el proceso analítico jerárquico difuso mejorada.

La energía eólica ha atraído atención de los inversores durante los últimos años. Después de analizar los posibles factores de riesgo de proyectos de energía eólica en la aprobación y el período de preparación, período de construcción y el período de mantenimiento de la operación, respectivamente (Zeng, Feng, Wang, Cheng, & Xue, 2014). Se establece un sistema de índice de evaluación de riesgo de la inversión. Durante el proceso de evaluación de múltiples proyectos, se utiliza un método de puntuación de expertos para cuantificar el riesgo, así como la matriz de indicadores de normalización. El método del coeficiente de variación se utiliza para determinar el peso de índice, y el modelo TOPSIS mejorado para el grado de correlación se usa para evaluar objetos.

La toma de decisiones de múltiples atributos es una parte importante de la ciencia moderna. Existen varios métodos para esta toma de decisiones y basado en el método TOPSIS y el método de análisis de correlación de Gray (Zhang, 2014), es presentado un enfoque combinado para la toma de decisiones en grupo de atributos múltiples.

**Finalmente la gestión de riesgos intenta dar respuestas a las preguntas sobre la mejor manera de hacer frente a los riesgos, tales como (USCG, 2001): ¿Qué se puede hacer? ¿Qué opciones tengo disponibles y cuáles son sus ventajas y desventajas asociadas? ¿Cuáles son los efectos de las decisiones actuales sobre opciones de futuro? Aunque una gran parte de este proceso se refiere a la decisión de los responsables políticos, los evaluadores de riesgos proporcionan información útil y proposiciones para el control de riesgos en una más eficaz y de manera eficiente:**

En los artículos analizados se encontraron principalmente relacionados con:

Las revoluciones en curso en el comercio electrónico y los progresos de la informática y la comunicación, se ha traducido en el aumento del número de empresas con equipos formales de proyectos virtuales. En tal situación, el análisis de incertidumbre adquiere más importancia, siendo llevado a cabo dentro del marco de gestión de riesgos. Se presentan seis fases del procedimiento de gestión del riesgo en la metodología PMBOK (Ghaffari, Sheikahmadi, & Safakish, 2014), introduce un proceso de gestión del riesgo en los proyectos virtuales. Basados en el análisis cualitativo (de la metodología PMBOK), se

---

aplicaciones Microsoft. VBA permite a usuarios y programadores ampliar la funcionalidad de programas de la suite Microsoft Office. Visual Basic para Aplicaciones es un subconjunto casi completo de Visual Basic 5.0 y 6.0.

priorizan los factores más eficaces de gestión de proyectos en equipos de proyectos virtuales. En fase de análisis cuantitativo, por primera vez, Un FLPM<sup>55</sup> (modelo fuzzy de programación lineal) se emplea para evaluar los riesgos del proyecto basado en el ciclo de vida del proyecto. Luego de darse un tiempo y presupuesto, se introduce un método para desarrollar estrategias apropiadas de reaccionar a cada factor de riesgo. Se utiliza GAMS<sup>56</sup> para seleccionar estas estrategias y se puso a prueba el modelo en un ejemplo numérico, como evidencia.

Los métodos actuales de gestión de riesgos no pueden manejar los factores de riesgo en proyectos aeronáuticos. Sobre la base de proceso analítico jerárquico difusa, se crea un método de gestión de riesgo para proyectos aeronáuticos (Zhou, Zhu, & Jiang, 2003). El método consta de cuatro etapas: identificación del riesgo, modelización del proceso analítico jerárquico, la construcción de la matriz difusa y la clasificación de los factores de riesgo. Con este método, se resuelven los dos problemas clave en la gestión del riesgo de proyectos aeronáuticos y respuesta a los riesgos en la toma de decisiones.

Los gerentes que tratan de evaluar el riesgo dentro de los sistemas complejos se enfrentan a enormes desafíos. Deben identificar una serie aparentemente interminable de los riesgos y desarrollar planes de contingencia en consecuencia. (Altabbakh, Murray, Grantham, & Damle, 2013) explora las ventajas y limitaciones de dos categorías de herramientas de evaluación de riesgos: las técnicas de evaluación de productos que incluyen análisis modal de fallos y efectos FMEA<sup>57</sup> y Riesgo en el Diseño Temprano RED<sup>58</sup> y técnicas de

---

<sup>55</sup> De las siglas en inglés Fuzzy Linear Programming Model (FLPM) es un modelo fuzzy de programación lineal. La programación lineal es el campo de la optimización matemática dedicado a maximizar o minimizar (optimizar) una función lineal, denominada función objetivo, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones expresadas mediante un sistema de ecuaciones también lineales. Los métodos más recurridos para resolver problemas de programación lineal son algoritmos de pivote, en particular los algoritmos simplex.

<sup>56</sup> De las siglas en inglés General Algebraic Modeling System (GAMS) es un sistema de modelado algebraico general es un sistema de modelado de alto nivel para la programación matemática y optimización. Se compone de un compilador de lenguaje y un establo de solucionadores de alto rendimiento integrados. Está diseñado para aplicaciones de modelado complejas a gran escala, y le permite construir modelos de gran tamaño fáciles de mantener que pueden adaptarse rápidamente a las nuevas situaciones.

<sup>57</sup> De las siglas en inglés Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) conocido como modo de fallo y análisis de efectos o "modos de fallo," fue una de las primeras técnicas altamente estructuradas y sistemática para el análisis de fallos. Fue desarrollado por ingenieros de fiabilidad a finales de 1950 para estudiar los problemas que pudieran surgir de un mal funcionamiento de los sistemas militares. Un FMEA es a menudo el primer paso de un estudio de la fiabilidad del sistema. Se trata de la revisión de tantos componentes, ensamblajes y subsistemas como posibles para identificar modos de fallo y sus causas y efectos. Para cada componente, los modos de fallo y sus efectos resultantes sobre el resto del sistema se registran en una hoja de cálculo FMEA específica. Hay numerosas variaciones de tales hojas de trabajo. Un FMEA puede ser un análisis cualitativo, pero se puede poner sobre una base cuantitativa cuando los modelos matemáticos tasa de fracaso se combinan con una base de datos estadística ratio de modo de fallo.

<sup>58</sup> Del inglés Risk in Early Design (RED) conocido como Riesgo en el Diseño Temprano es un método de evaluación del riesgo probabilístico que aprovecha los datos históricos de fracaso para proporcionar datos de fallas en base a las funciones que un sistema debe realizar. Esto se logra usando una serie de matrices que contienen datos históricos sobre la función de los componentes y fallas, junto con un algoritmo que presenta modos de fallo, probabilidades y severidades de las funciones seleccionadas por el usuario.

evaluación del proceso, como el análisis en la capa de protección LOPA<sup>59</sup> y el modelo de queso suizo SCM<sup>60</sup>. Un caso de estudio de la NASA es utilizado para evaluar estos modelos de evaluación de riesgos.

En el mercado de la electricidad, hay un creciente interés en la regulación basada en el rendimiento acompañado en la calidad de las redes de distribución eléctrica (Alvehag & Sander, 2011). El estudio desarrolla un método basado en el riesgo para las decisiones de inversión de fiabilidad cuando el operador del sistema de distribución DSO<sup>61</sup> está expuesto a riesgos financieros definidos por una regulación de la calidad. Como el diseño de regulación de la calidad se hace más complejos, se necesitan métodos más detallados de gestión de riesgos con el fin de capturar adecuadamente el riesgo financiero del DSO al cual está expuesto. Al método aplica la técnica de simulación de Monte-Carlo con el fin de evaluar los riesgos de los proyectos de reinversión considerados. Al utilizar el método, los impactos en las diferentes estrategias de riesgo (modelos neutrales al riesgo / aversión a los riesgos) y de riesgo (no varían en el tiempo / variable en el tiempo) tienen impacto sobre el proyecto seleccionado lo cual fue investigado durante dos diseños diferentes de regulación de la calidad.

Los accidentes normales y teorías organizacionales de alta fiabilidad son ampliamente conocidos por presentar el discurso intelectual entre dos escuelas de pensamiento opuestas para la gestión de riesgos de los sistemas complejos (Baydoun, 2014), la primera está definida como pesimista mientras que el segundo está marcado como optimista. Debido al alto nivel de complejidad y riesgo que se asocia con el proyecto a gran escala, la discusión de estas dos teorías en este contexto es de gran relevancia. El contexto de los países en desarrollo es seleccionado debido a que las inversiones en estos países son generalmente arriesgadas, debido al alto nivel de inestabilidad. La investigación demostró que la NAT<sup>62</sup> y HRO<sup>63</sup> son complementarias y no contradictorias en tal contexto.

---

<sup>59</sup> Del inglés Layer Of Protection Analysis (LOPA) conocido como análisis de la capa de protección es un método simplificado recientemente desarrollado de evaluación de riesgos que ofrece un análisis de riesgos de proceso cualitativo y un costoso análisis de riesgo tradicional cuantitativo. Comenzando con un escenario de accidente identificado, LOPA utiliza simplificación de las normas para evaluar iniciar frecuencia de eventos, capas de protección independientes, y las consecuencias para proporcionar una estimación del orden de magnitud del riesgo. LOPA también ha demostrado ser un método excelente para determinar el nivel de integridad de seguridad necesaria, para un sistema de seguridad instrumentado, un enfoque respaldado en las normas de instrumentos, tales como ISA S84 y la IEC 61511.

<sup>60</sup> Del inglés el cual consiste Swiss Cheese Model (SCM) o modelo del queso suizo de causalidad de los accidentes es un modelo utilizado en el análisis de riesgos y gestión de riesgos, usado en la aviación, la ingeniería y la asistencia sanitaria. Compara los sistemas humanos a varias rebanadas de queso suizo, que se apilan. Esto fue propuesto originalmente por Dante Orlandella y James T. Reason de la Universidad de Mánchester, y se ha ganado ya una amplia aceptación. A veces se llama el modelo del efecto acumulativo.

<sup>61</sup> Del inglés Distribution System Operator (DSO) o gestor de la red de distribución, una persona física o jurídica responsable de la explotación, el mantenimiento y, en caso necesario, el desarrollo de la red de distribución en una zona determinada y, en su caso, de sus interconexiones con otras redes, y de garantizar la capacidad a largo plazo del sistema para satisfacer una demanda razonable de distribución de electricidad o gas.

<sup>62</sup> Del inglés Normal Accident Theory (NAT) o teoría de accidentes normales es un evento no deseado y no direccionado que provoca daño a personas, objetos o ambos, interrumpiendo la continuidad de las tareas

Un modelo de gestión del riesgo en la planificación de proyectos de desarrollo de las empresas industriales (Bijaska & Wodarski, 2014), opera en la metalurgia y la minería. El modelo se basa en los métodos y unidades de identificación, medición y evaluación de riesgo el cual fue creado como resultado de varios años de investigación en los problemas de la planificación y la evaluación de la eficacia y los riesgos de la implementación de proyectos de desarrollo en las empresas industriales.

Mientras que la innovación tiene muchas similitudes con otras formas de proyectos que se caracteriza por una alta tasa de fracaso y la necesidad de estimular la creatividad, la gestión de riesgos más explícita podría ayudar a lograr el éxito en proyectos de innovación. Sin embargo, la gestión del riesgo en exceso o inapropiada podría ahogar la creatividad que es el núcleo de la innovación (Bowers & Khorakian, 2014);. Por lo tanto, la gestión de riesgos del proyecto debería aplicarse y en qué parte del proyecto de innovación. Los puntos de decisión del modelo proceso de innovación “etapa-puerta” proporcionan una interfaz eficaz para la incorporación de los conceptos de riesgo del proyecto. Los conceptos generales parecen más relevantes para la gestión de la innovación, aunque es útil para personalizarlos hacer hincapié en las características particulares de los proyectos de innovación. La experiencia de utilizar el modelo combinado resultante en un número de diversos estudios de casos indica la relevancia del modelo en la comprensión de las actitudes hacia la gestión del riesgo en la innovación.

El uso de los modelos probabilísticos<sup>64</sup> es un desafío dada la necesidad de proporcionar información sobre los riesgos que suelen ser tanto del proyecto y dependiente del contexto (Cardenas, Al-Jibouri, Halman, van de Linde, & Kaalberg, 2013). Este último es de especial interés en los proyectos de construcción subterránea. Los riesgos del túnel son las consecuencias de las interacciones entre los factores específicos del sitio y el proyecto. Las grandes variaciones e incertidumbres en las condiciones del terreno, así como las singularidades del proyecto dan lugar a determinados factores de riesgo con impactos muy específicos. Estas circunstancias hacen que la información de riesgo, obtenida de proyectos anteriores existente, es extremadamente difícil de utilizar en otros proyectos. La identificación y caracterización de las causas y condiciones que conducen a fracasos y sus interacciones, así como su asociado información probabilística se supone que es el conocimiento relacionado con el riesgo. Se muestra que, independientemente de las restricciones existentes sobre el uso de la información y el conocimiento de experiencias

---

actuales o futuras que le están siendo o le serán requeridas a tales objetos o personas, y que es el causante de grandes pérdidas y controversias.

<sup>63</sup> De las siglas en ingles High Reliability Organization (HRO) conocida como organización de alta fiabilidad es una organización que ha logrado evitar catástrofes en un entorno donde los accidentes normales se puede esperar debido a los factores de riesgo y complejidad.

<sup>64</sup> Un modelo probabilístico, es la forma que pueden tomar un conjunto de datos obtenidos de muestreos de datos con comportamiento que se supone aleatorio. El modelo probabilístico como modelo de recuperación de independencia binaria fue desarrollado por Robertson y Spark Jones. Este modelo afirma que pueden caracterizarse los documentos de una colección mediante el uso de términos de indización. Obviamente existe un subconjunto ideal de documentos que contiene únicamente los documentos relevantes a una necesidad de información para la cual se realiza una ponderación de los términos que componen la consulta realizada por el usuario.

pasadas, el conocimiento relacionado con el riesgo de construcción puede ser transferido y utilizado de proyecto en proyecto, en forma de modelos integrales basadas en las relaciones causales-probabilístico. También se vio que los modelos desarrollados proporcionan orientación en cuanto a la aplicación de medidas correctivas específicas por medio de la identificación de los factores críticos de riesgo, y por lo tanto promueven la decisión de gestión de riesgos.

Un nuevo método de gestión de riesgos para analizar los riesgos de seguridad generales y determinar qué medidas deben ser implementadas con el fin de evitarlos (Castillo, Bilbao, & Bilbao, 2007). Es adecuado para todo tipo de usuarios de seguridad, ya que estudia las respuestas de una lista de preguntas de seguridad generales sobre diferentes aspectos de la instalación de seguridad, las circunstancias estudiadas y el medio ambiente. Basado en el estándar AS/NZS4360<sup>65</sup> de Nueva Zelanda - Australia, este método se implementa a través de software ARG07<sup>66</sup> el cual ha sido desarrollado por Cuevavaliente SL<sup>67</sup> y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM)<sup>68</sup>. El estudio se centra en la base y los pasos seguidos por el método, y la relación entre ellos y el estándar AS/NZS4360. Esta metodología fue utilizada con éxito en instalaciones industriales y varios edificios.

Hay problemas en los proyectos de IT causadas por la falta de una gestión eficaz del riesgo. (Da Nbrega, Fenner, & Lima, 2014), se realiza una encuesta con los gerentes y empleados acerca de los riesgos más comunes dentro de las empresas de IT. Posterior a esto se realiza una revisión de la literatura y un estudio de caso en una empresa de desarrollo de software y una institución gubernamental. Se analizan las variables y los riesgos en los proyectos de IT y propone una metodología de gestión de riesgos que se evalúa por los administradores, con resultados prometedores. La metodología de gestión de riesgos se puede utilizar para mitigar los riesgos y obtener mejores resultados, mejorando el proceso de gestión de proyectos de IT.

El estudio de (De Carvalho & Rabechini Junior, 2015) pretende dilucidar la relación entre la gestión y el éxito del proyecto, teniendo en cuenta el efecto contingente de la complejidad del proyecto. Este enfoque presenta combina aspectos de las habilidades

---

<sup>65</sup> El estándar AS/NZS4360 es un estándar Australiano para la administración de riesgos, este estándar se puede aplicar a un amplio rango de actividades u operaciones de cualquier empresa pública, privada o comunitaria, o grupo. Puede ser aplicado a todas las etapas de la vida de una actividad, función, proyecto, producto o activo. El beneficio máximo se obtiene generalmente aplicando el proceso de administración de riesgos desde el principio.

<sup>66</sup> El Software ARG07 fue desarrollado por Cuevavaliente SL y la Universidad Politécnica de Madrid el cual es usado en el estándar Australiano AS/NZS4360.

<sup>67</sup> Cuevavaliente SL Ingenieros, es una empresa española de Consultoría e Ingeniería especializada en Seguridad, la cual con ayuda de la Universidad Politécnica de Madrid desarrollaron el Software ARG07.

<sup>68</sup> Universidad Politécnica de Madrid (UPM) es una universidad pública con sede en la Ciudad Universitaria de Madrid (España) y con instalaciones en varias ubicaciones de Madrid (Ciudad Universitaria, Campus Sur en Vallecas, entre otras) y Boadilla del Monte. Fue fundada en 1971 al agrupar diversos centros ya centenarios que estaban adscritos a distintos organismos. Sus facultades o escuelas imparten mayoritariamente enseñanzas técnicas, ya que en su creación agrupó estas enseñanzas mientras que las ciencias experimentales y humanidades fueron agrupadas en la Universidad Complutense de Madrid.

blandas y duras. El enfoque metodológico implica una revisión de la literatura para apuntalar el marco conceptual y una encuesta para la validación empírica, utilizando modelos de ecuaciones estructurales. Las hipótesis se realizan sobre la base de un estudio de campo que involucra 263 proyectos distribuidos en ocho sectores. El trabajo de campo incluye entrevistas con directores de proyectos y gestores de riesgos y un análisis de los documentos internos de la compañía sobre el rendimiento de los proyectos. El modelo estructural proporciona un medio para correlacionar los lados duros y blandos de la gestión de riesgos con el éxito del proyecto y la comprensión del efecto moderador de la complejidad del proyecto. El lado suave de la gestión de riesgos figura en primer plano y explica el 10,7% del efecto sobre el éxito del proyecto. Por otra parte, el lado suave apoya el lado duro, ya que se encontró una correlación significativa que explica el 25,3% del efecto en la parte difícil.

Las empresas de minería de carbón presentan un sistema de gestión de riesgos de control interno el cual es un problema complicado (Hao & Ding, 2012). Se investiga el sistema de gestión de riesgos de control interno de las empresas mineras del carbón mediante la aplicación de la teoría de la ingeniería del sistema y el método de gestión de riesgos. El sistema de gestión de riesgos de control interno se establece a partir de los procesos internos de gestión de riesgo de control, el círculo gestión del riesgo y el método de gestión de riesgos. Por otra parte, se analiza la arquitectura y la relación interna. A partir de los procesos de negocio de las empresas de minería de carbón, el esquema de implementación de la gestión del riesgo de control interno se diseña de forma que los trabajadores, equipos, aspectos ambientales y de gestión fueron involucrados.

El objetivo principal de la gestión de riesgos es reducir los factores que darán influencia negativa al proyecto (Hayash & Kataoka, 2008). Sin embargo, es difícil especificar el riesgo de actualizar de antemano. Se analiza en primer lugar los casos reales de proyectos de desarrollo de software que adoptaron la gestión del riesgo, pero fracasaron, e identificar las causas de raíz. Luego, se propone una agencia de monitoreo permanente que predice la futura generación riesgos utilizando datos cuantitativos capturados por técnica de gestión del valor ganado<sup>69</sup>.

Los cambios juegan un papel importante en las organizaciones. Estos cambios son a menudo una fuente de riesgo. El riesgo se controla generalmente sobre la base de datos e información. En muchos casos, el papel de la gestión del conocimiento en las estrategias de gestión de riesgos ha sido menor. (Hosseinzadehdastak & Underdown, 2012) describe cómo los métodos de gestión de riesgos están relacionados con la gestión del conocimiento, e introducir las debilidades de los métodos de gestión de riesgos. Este documento presenta un marco conceptual basado en la gestión del conocimiento para mitigar la debilidad de la gestión de riesgos.

---

<sup>69</sup> La Gestión del Valor Ganado es una técnica de gestión de proyectos que permite controlar la ejecución de un proyecto a través de su presupuesto y de su calendario de ejecución. Compara la cantidad de trabajo ya completada en un momento dado con la estimación realizada antes del comienzo del proyecto. De este modo, se tiene una medida de cuánto trabajo se ha realizado, cuanto queda para finalizar el proyecto y extrapolando a partir del esfuerzo invertido en el proyecto, el jefe de proyecto puede estimar los recursos que se emplearán para finalizar el proyecto.

La gestión del riesgo RM<sup>70</sup> se debe implementar en proyectos de construcción para asegurar el logro de los objetivos del proyecto, sin importar el tamaño del proyecto. (Hwang, Zhao, & Toh, 2014) investiga RM en pequeños proyectos en Singapur en términos de estatus, las barreras y los efectos de la RM en el rendimiento del proyecto. Para lograr los objetivos, se encuestan y se recogen datos de 668 proyectos presentados por 34 empresas. Los resultados del análisis indican un nivel relativamente bajo de aplicación RM en proyectos pequeños, y que "falta de tiempo", "falta de presupuesto", "bajo margen de beneficios", y "no económico" eran prominentes barreras. Además, los resultados informaron de la correlación positiva entre la aplicación RM y la mejora en la calidad, el coste y el rendimiento horario de pequeños proyectos, respectivamente.

Las asociaciones público-privadas se han adoptado para el desarrollo de la infraestructura pública para satisfacer la creciente demanda de servicios públicos (N. . b Lee & Schaufelberger, 2014). Muchos países asiáticos han utilizado el método de construcción-operación-transferencia BOT<sup>71</sup> para desarrollar proyectos de infraestructura pública. Sin embargo, los beneficios potenciales de la realización de un proyecto BOT están acompañados de riesgos desde la perspectiva del sector privado correspondiente.

El alto riesgo de proyectos de R&D<sup>72</sup> ha sido siempre un factor negativo que desalienta la fabricación de la industria a desarrollar (Liu & Han, 2014). Sin embargo, los proyectos de R&D son una opción inevitable para las empresas de fabricación de realizar un desarrollo salto hacia adelante. Por lo tanto, la elección óptima para la fabricación de negocio consiste en aplicar el modelo de gestión de riesgos de los proyectos de R&D basado en la teoría de la complejidad, el sistema total de intervenir la teoría y la idea de la transformación estrategia flexible con el reconocimiento científico de los riesgos de R&D, que implique una información principio de regresión, el riesgo-beneficio de equilibrio principio y la relación de transformación entre los probables riesgos de R&D.

---

<sup>70</sup> Del inglés Risk management (RM) o gestión de riesgos es la identificación, evaluación y priorización de los riesgos (que se define en la norma ISO 31000 como el efecto de la incertidumbre en los objetivos) seguido de la aplicación coordinada y económica de los recursos para minimizar, monitorear y controlar la probabilidad y/o el impacto de eventos desafortunados o para maximizar la realización de oportunidades. El objetivo de la gestión de riesgos es asegurar la incertidumbre no desviar el esfuerzo de los objetivos de negocio.

<sup>71</sup> Del inglés Build Operate Transfer (BOT) es la construcción, operación y transferencia es una forma de financiación del proyecto, en el que una entidad privada recibe una concesión por parte del sector privado o público para financiar, diseñar, construir y operar una instalación se indica en el contrato de concesión. Esto permite que el proponente del proyecto para recuperar sus gastos de inversión, operación y mantenimiento del proyecto.

<sup>72</sup> Del inglés Research and Development (R&D) conocida como Investigación y Desarrollo (I+D), también conocido en Europa como la investigación y el desarrollo técnico (o tecnológico) (IDT), es un término general para las actividades en relación con la innovación corporativa o gubernamental. I+D es un componente de innovación y está situado en el extremo delantero del ciclo de vida de la innovación. La innovación se basa en I+D e incluye las fases de comercialización. Las actividades que se clasifican como de I+D difieren de una compañía a otra, pero hay dos modelos primarios, con un departamento de I+D está bien dotada de ingenieros y encargadas de desarrollar directamente nuevos productos, o cuenta con científicos industriales y la tarea de la investigación aplicada en científico o campos tecnológicos que pueden facilitar el desarrollo de futuros productos.

Un metodología de gestión de proyectos diseñado para pequeñas empresas SMEs<sup>73</sup>, que necesitan ejecutar proyectos más allá de sus operaciones normales (Marcelino-Sdaba, Prez-Ezcurdía, Echeverra Lazcano, & Villanueva, 2014). Estos proyectos son críticos para la supervivencia de estas organizaciones, tales como el desarrollo de nuevos productos para adaptarse al mercado o una nueva legislación, la implementación de sistemas de gestión, etc. Muy frecuentemente, los gerentes de estos proyectos no se proyectan profesionales de la gestión, por lo que necesitan orientación para tener autonomía, utilizando los recursos de tiempo y un mínimo de documentación. El método de gestión del riesgo se basa en una extensa investigación con un gran número (72) de las empresas españolas. Esta nueva metodología considera los factores que normalmente no se presta atención por las SMEs; es decir, la alineación del proyecto con la gestión de la estrategia y los resultados de la compañía. La metodología, basada en la gestión de riesgos del proyecto, incluye herramientas simples, plantillas y listas de control de riesgo con acciones e indicadores recomendados.

La gestión de riesgos en proyectos especialmente largos con iniciativas ingenieriles (Miller & Lessard, 2001) primeramente necesitan ser separados y categorizados así Relacionados con mercadeo: Demandas, financiación y patrocinadores; Terminación: técnicas, construcción y operación e Institucional: regulaciones y aceptación social.

La QRA<sup>74</sup> o evaluación del riesgo cuantificado necesita procesos matemáticos de la teoría del riesgo (Qin, Chen, & Zeng, 2008). Sin embargo, se ha prestado atención casi exclusivamente a las aplicaciones de los métodos de evaluación, lo que ha llevado al abandono de la investigación en las teorías fundamentales, tales como las relaciones entre riesgo, seguridad, peligro, y así sucesivamente. Para resolver este problema, como primer paso, se analizaron las relaciones teóricas fundamentales sobre el riesgo y la gestión del riesgo a la luz de las matemáticas. En segundo lugar una teoría para la gestión del medio ambiente hombre máquina MMEM<sup>75</sup> se introduce la teoría del riesgo para analizar algunas propiedades de riesgo. Sobre la base de esto, se establece un modelo tridimensional de la gestión de riesgos que incluye: una dimensión objetivo; una dimensión de gestión; una dimensión operación. Este modelo de operación de gestión de objetivos o GMO<sup>76</sup> se

---

<sup>73</sup> Del inglés Small and Medium - Sized Enterprises o pequeñas y medianas empresas (PYME) son empresas cuyo personal número no se reducirá por debajo de ciertos límites. El "SME" abreviatura se utiliza en la Unión Europea y por organizaciones internacionales tales como el Banco Mundial, las Naciones Unidas y la Organización Mundial del Comercio (OMC). Las pequeñas empresas superan en número a las grandes empresas por un amplio margen y también emplean muchas más personas. Las PYME también se dice que son responsables de impulsar la innovación y la competencia en muchos sectores económicos.

<sup>74</sup> Del inglés Quantified Risk Assessment por sus siglas (QRA) o evaluación cuantificada de riesgos es un enfoque estructurado para identificar y comprender los riesgos asociados a las actividades peligrosas, como la operación de una planta industrial. La evaluación comienza por hacer un inventario de los riesgos potenciales, su probabilidad y consecuencias. Los riesgos cuantificados se evalúan por comparación con criterios definidos.

<sup>75</sup> Del inglés Man-Machine-Environment-Management por sus (MMEM) o Gestión del Medio Ambiente Hombre-Máquina es un excelente sistema centrado en el diseño del hombre desde el principio el cual es muy usado en aplicaciones de ingeniería aeroespacial.

<sup>76</sup> Del inglés Goal Management Operation – Operación de gestión por objetivos.

explica y luego se hace hincapié en la discusión del diagrama de flujo de riesgo (dimensión operación), que sienta las bases para un mayor estudio de la gestión de riesgos y la evaluación cualitativa y cuantitativa. También se investiga la relación entre la evaluación formal de la seguridad FSA<sup>77</sup> y gestión de riesgos. Esto revela que el método de la FSA, que la Organización Marítima Internacional IMO<sup>78</sup> se está extendiendo de forma activa, proviene de la teoría de Gestión de Riesgos.

El software hoy en día es un elemento crítico en todos los sistemas. El desarrollo e implementación de programas de ordenador están influenciados por muchos riesgos variados que deberán manejarse adecuadamente. La gestión de riesgos en proyectos de software es una actividad dirigida en varias metodologías de software, pero los diferentes grupos de trabajo y organizaciones la aplican en la práctica de muchas maneras diferentes (Sanz & Silva, 2014). Un estudio preliminar ha sido realizado entre los profesionales de software y desarrolladores españoles. No solo se observó la gestión de riesgos y sus técnicas, sino que también se muestra las deficiencias graves, así como actitudes que no ayudan a esta actividad. Los datos representan una base para un análisis más profundo y detallado de las prácticas de gestión de riesgos que podrían conducir a soluciones más eficaces y prácticas.

En el transcurso de la gestión de las empresas, los ejecutivos se enfrentan constantemente a las circunstancias difíciles. Por ejemplo, la realidad del mercado no refleja necesariamente la intención de la administración de una empresa (Shimizu, Park, & Choi, 2014). Los eventos de negocios disruptivos<sup>79</sup> pueden ocurrir que están muy al contrario de lo que la alta dirección espera. Las empresas que no están bien preparados para enfrentar el riesgo pagan un precio muy alto. La realidad empresarial global es altamente competitiva y exige la gestión de riesgos en toda la empresa agresiva e integradora. La gestión de riesgos es una prioridad estratégica y operativa crítica. Es crucial para las empresas definir las prácticas de gestión de riesgos eficaces en el contexto de paisajes competitivos volátiles rápidamente y cambiantes expectativas de los clientes.

---

<sup>77</sup> Del inglés Formal Safety Assessment por sus (FSA) o evaluación formal de la seguridad es un proceso dinámico introducido por la Organización Marítima Internacional (OMI), se utiliza como herramienta en el proceso de reglamentación cuyo objetivo es garantizar que se tomen medidas antes de que ocurra un desastre. La FSA se dirige preferentemente una categoría específica de la nave o el área de navegación, pero también se puede aplicar a un problema específico de seguridad marítima para identificar opciones de reducción del riesgo de coste efectivo.

<sup>78</sup> Del inglés International Maritime Organization por sus (IMO) o Organización Marítima Internacional es un organismo especializado de las Naciones Unidas que promueve la cooperación entre Estados y la industria de transporte para mejorar la seguridad marítima y para prevenir la contaminación marina. Recientes iniciativas de la OMI han incluido reformas al Convenio Internacional para la Seguridad de la Vida Humana en el Mar (SOLAS) y al Convenio Internacional para prevenir la contaminación por los Buques (MARPOL 73/78). Su sede se encuentra en Londres, Reino Unido.

<sup>79</sup> Disruptivo es un término que procede del inglés disruptive y que se utiliza para nombrar a aquello que produce una ruptura brusca. Por lo general el término se utiliza en un sentido simbólico, en referencia a algo que genera un cambio muy importante o determinante.

Como método tradicional de investigación en tecnología de toma de decisiones, la dominancia estocástica con un activo sin riesgo SDR<sup>80</sup> es muy popular en el campo de la selección de valores (Tian, Li, & Jia, 2010). El valor en riesgo VaR<sup>81</sup> es también un método nuevo y popular en la gestión de riesgos en el cual se analiza las características de SDR y el VaR y se centra en cómo combinar estos métodos para elegir la mejor acción.

Existe un problema urgente de la gestión de riesgos de seguridad de la ingeniería de tránsito ferroviario urbano, y se basa en el análisis teórico, (Yang, 2014) presenta la experiencia adquirida por los casos internacionales que combinan la gestión del riesgo tradicional con la tecnología moderna de la información. Un modelo sintético de control de gestión dinámica, garantiza la gestión de riesgos de seguridad, normas técnicas y sistemas de monitoreo en tiempo real, se establece, la realización de una transformación de la manipulación de la prevención de riesgos de accidentes tradicionales modernos.

### **Respecto a dos y/o tres categorías de artículos encontrados en la gestión de riesgos (análisis, evaluación y gestión)**

En una empresa industrial la gestión del riesgo comienza con el análisis de riesgos de calidad, donde se identifican y agrupan los riesgos (Valitov & Sirazetdinova, 2014). Los resultados del análisis del riesgo de calidad se utilizan para posteriores análisis cuantitativos de riesgos que incluye su evaluación en tres parámetros clave: la probabilidad de un evento de riesgo, el nivel de pérdidas esperadas y los límites de la capacidad de gestión de riesgos. El procedimiento principal después de un análisis de riesgo cuantitativo de la fase de gestión del riesgo es elegir el método de gestión de riesgos y su posterior aplicación. Es necesario analizar y generalizar la eficiencia de la actividad de gestión de riesgos, factores de riesgo y la incertidumbre en el final del proyecto.

Los proyectos de ingeniería aeroespacial por lo general requieren una gran inversión y un largo período de construcción. Un método de gestión de riesgos para la programación del proyecto de ingeniería aeroespacial (C.-H. . Wang & Lu, 2013). Es necesario hacer un análisis y evaluación de los riesgos sobre programación de la construcción antes de la ejecución del proyecto.

Un problema común en los procesos de gestión de riesgos del proyecto es la necesidad de determinar la importancia relativa de las diferentes fuentes de riesgo con el fin de guiar el posterior esfuerzo de gestión de riesgos y asegurar que siga siendo rentable (Ward, 1999). Un enfoque común es clasificar los riesgos en términos de probabilidad y el impacto de las fuentes de riesgo que recibirán la mayor atención. Existen deficiencias de esta técnica para orientar el análisis y gestión de riesgos y considera la información necesaria para una correcta evaluación de la importancia. Para obtener una gestión exitosa es deseable

---

<sup>80</sup> Del inglés Riskless asset por sus siglas (SDR) describe el activo invertido el cual está libre de riesgos.

<sup>81</sup> Del inglés Value at Risk por sus siglas (VaR) en matemáticas financieras y gestión del riesgo financiero, es una medida de riesgo ampliamente utilizada del riesgo de mercado en una cartera de inversiones de activos financieros. Para una cartera, probabilidad y horizonte temporal dados, el VaR se define como un valor límite tal que la probabilidad de que una pérdida a precios de mercados en la cartera sobre un el horizonte temporal dado exceda ese valor (asumiendo mercados normales y que no se produce negociación en la cartera) sea el nivel de probabilidad dado.

distinguir no sólo entre el tamaño de los impactos y la probabilidad de los impactos que se producen, sino también otros factores tales como la naturaleza de las respuestas posibles, y el tiempo disponible para las respuestas.

Hoy en día debido al aumento de la población urbana, la escasez de tierras lleva comúnmente a la construcción de edificios altos. Los riesgos potenciales de este tipo de proyectos son comparativamente más que la construcción convencional, como la industria de la construcción depende de la mano de obra. Por lo tanto, la atención a la salud y la seguridad de las personas que participan en los proyectos de construcción es esencial. Identificar, evaluar y clasificar los riesgos de seguridad que pueden tener efectos nocivos sobre la salud humana en los proyectos de construcción de gran altura (Ardeshir, Maknoon, Rekab Islamizadeh, & Jahantab, 2014). Los riesgos de seguridad en edificios de gran altura se identificaron mediante una lista disponible y entrevistas con expertos, y en el siguiente nivel se escogen usando 35 opiniones de expertos. El análisis cuantitativo y la distribución trapezoidal usando técnica lógica difusa son utilizados. El grado de nivel crítico de cada riesgo se calculó para el tratamiento y se clasificaron los riesgos calculados.

Las caídas es uno de los accidentes más comunes en la construcción de puentes. No implementar la gestión de la seguridad y la formación efectiva puede dar lugar a accidentes de trabajo graves. La gestión actual de seguridad del sitio se basa principalmente en la evaluación de la lista de comprobación; Sin embargo, su eficacia está limitada por la experiencia y las habilidades de los evaluadores, que pueden no alcanzar consistentemente la meta de la evaluación a fondo. Recientemente, varios enfoques de evaluación de riesgos de seguridad sistemáticas, tales como el análisis de árbol de fallos FTA y modo de fallo y análisis crítico del efecto FMECA<sup>82</sup>, se han utilizado para evaluar los riesgos de seguridad en proyectos de puentes. Sin embargo, estos métodos tradicionales abordan de forma ineficaz dependencias entre factores de seguridad en varios niveles que no proporcionan alertas tempranas para prevenir los accidentes de trabajo (T.-T. . Chen & Leu, 2014). Un modelo de evaluación del riesgo de caídas para los proyectos de construcción de puentes se desarrolla mediante el establecimiento de una red bayesiana BN sobre la base de árbol de fallos FTA. Se encontró un modelo para proporcionar una mejor capacidad de gestión de seguridad de la obra, permitiendo una mejor comprensión de la probabilidad de riesgos de caídas a través del análisis de las causas de la caída y sus relaciones en un BN. El sistema se ha utilizado para analizar y verificar las prácticas de seguridad en los proyectos de construcción de puente en voladizo de cinco actualmente en construcción en Taiwán. Se encontró que el análisis de BN es consistente con la evaluación de los resultados de seguridad convencional. En la práctica, en base al análisis de BN mediante la introducción de información previa acerca de la gestión de seguridad de la obra, las probabilidades de riesgos de caídas y sus factores sensibles se pueden evaluar de manera efectiva, se podrán

---

<sup>82</sup> De las siglas en inglés Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA) o modo de fallo, efectos y análisis de criticidad es una extensión del análisis modal de fallos y efectos (AMFE). FMEA es de abajo hacia arriba, es un método analítico inductivo que puede realizarse ya sea en el nivel funcional o una parte de este. FMEA se extiende mediante la inclusión de un análisis de criticidad, que se utiliza para trazar la probabilidad de modos de fallo en contra de la gravedad de sus consecuencias. El resultado pone de relieve los modos de fallo con relativamente alta probabilidad y gravedad de las consecuencias, lo que permite un esfuerzo de recuperación que será dirigida en donde producirá el mayor valor.

establecer estrategias adecuadas de gestión de la seguridad preventiva para reducir la ocurrencia de accidentes por caídas en los proyectos de construcción de puente.

Los barcos que pasan a través del proyecto tres gargantas<sup>83</sup> se enfrenta a muchos peligros, y la mejora de la gestión es muy importante para la seguridad del buque. En la esclusa de tres gargantas los barcos han producido una serie de grandes accidentes cuando cruzan a través de esta (L. Li, Liu, Zhang, & Deng, 2012). Con el objetivo de obtener las características de estos incidentes, se utiliza la teoría de la gestión de riesgos para mejorar la gestión de la seguridad de la nave a través de la cerradura, y se combina con el análisis técnico para determinar la clasificación de los factores de accidentes y el peso de cada factor. Realizando uso de modelado estructural ISM<sup>84</sup>, que tienen la capacidad de conseguir una buena base para el análisis de riesgos y obtener las medidas de gestión de riesgos de las naves que cruzan a través de tres gargantas.

En el 2011 la comisión europea puso en marcha una licitación para desarrollar directrices para el análisis de riesgo de las exposiciones accidentales o no intencionales en la radioterapia de haz externo. Esta licitación se adjudicó a un consorcio de 6 instituciones, incluida la ESTRO<sup>85</sup> (Malicki et al., 2014). El proyecto, denominado "ACCIRAD<sup>86</sup>", acaba de terminar la fase de recopilación de datos. Los datos fueron recolectados mediante encuestas realizadas en 38 países europeos. Los resultados indican aplicación no uniforme de registro de eventos y clasificación, así como incompleta o nula aplicación de la evaluación de riesgos y análisis de eventos. Con base en los resultados del estudio y análisis de los mismos, los líderes del proyecto están elaborando actualmente directrices en la propuesta titulada "Directrices para la seguridad del paciente en radioterapia de haz externo - Directrices para la evaluación y el análisis de los eventos de errores adversos e incidentes de riesgo".

Una metodología basada en el análisis de riesgos para la determinación de la desviación del diseño presa-túnel cuyo objetivo del procedimiento propuesto es identificar la disposición menos costosa. La metodología se ha construido sobre la teoría de la confiabilidad avanzada de primer orden, y representa la probabilidad de que la altura máxima alcanzada por el nivel del agua aguas arriba, asociado a una inundación de diseño (como se caracteriza por su periodo de retorno), así como para los costos de excavación y revestimiento (Marengo, Arreguin, Aldama, & Morales, 2013). El procedimiento propuesto

---

<sup>83</sup> La presa de las Tres Gargantas es una planta hidroeléctrica situada en el curso del río Yangtsé en China. Es la planta hidroeléctrica más grande del mundo, superando holgadamente a la de Itaipú sobre el río Paraná y a la del embalse de Guri, en Venezuela.

<sup>84</sup> Del inglés Interpretation of Structural Modeling (ISM)

<sup>85</sup> Del inglés European Society for Radiotherapy and Oncology (ESTRO), Fundada en 1980, la Sociedad Europea de Radioterapia y Oncología, es una organización sin ánimo de lucro y de organización científica que fomenta el papel de oncología de radiación con el fin de mejorar la atención de los pacientes en el tratamiento multimodal del cáncer.

<sup>86</sup> El proyecto ACCIRAD es el nombre que se le ha dado a la radioterapia accidental o por sus letras en inglés "accidental radiotherapy".

ha sido aplicado al proyecto hidroeléctrico “La Yesca”<sup>87</sup> en México, actualmente en funcionamiento. El cual demuestra que el uso de la rugosidad de material compuesto, que consiste en cubrir la superficie de los túneles de desvío con concreto hidráulico, mientras que las paredes y la bóveda de los túneles están revestidos con hormigón proyectado, resulta en un aumento de la capacidad de descarga de los túneles, por lo tanto dando lugar a una reducción del riesgo global del proyecto. La importancia de la evaluación de los riesgos económicos se acentúa y se muestra la flexibilidad de la metodología propuesta para tener en cuenta una serie de combinaciones de riesgo-costo.

Es importante identificar plenamente cuáles son los factores fundamentales que afectan a una estimación de esfuerzo para un nuevo proyecto y cómo estos factores están relacionados entre sí. (Mendes, 2014) describe un estudio de caso en el que se emplea una técnica de gestión del conocimiento para construir un modelo de estimación de esfuerzo a base de expertos para estimar el esfuerzo para proyectos de software de atención médica, el modelo fue construido con la participación de siete directores de proyectos, y fue validado con datos de 22 proyectos terminados. El modelo dio lugar a numerosos cambios en el proceso y también en los negocios. La compañía adapta su proceso de estimación de esfuerzo existente para estar en línea con el modelo que se ha creado, y el uso de un modelo basado matemáticamente también dio lugar a un aumento en el número de proyectos que se delega a esta empresa por otras sucursales de la empresa en todo el mundo.

La capacidad de gestión del riesgo del contratista RMC<sup>88</sup> refleja la sofisticación de la comprensión del contratista de la cartera de riesgo y cómo manejar esos riesgos. (Mu, Cheng, Chohr, & Peng, 2014) presenta modelo de evaluación de RMC para contratistas del proyecto de metro en China continental. Para lograr los objetivos, una encuesta se lleva a cabo y se recogen datos de 58 encuestados. Los resultados de las investigaciones empíricas muestran que la RMC general de contratistas del proyecto de metro puede ser considerada entre "bajo" y "medio". Además, en la actualidad en el área de proyectos de metro, la capacidad de análisis de riesgo en los contratistas es relativamente más madura que otras capacidades. Sin embargo, la actitud de la gestión de riesgos de los contratistas es relativamente menos madura que otras capacidades. La evaluación de la RMC actual de contratistas del proyecto de metro se puede utilizar para identificar la prioridad o áreas más débiles necesarias para la mejora.

El análisis y gestión de riesgo del modelo de programación avanzada APRAM<sup>89</sup> es uno de los métodos desarrollados recientemente que se pueden utilizar para fines de análisis y gestión de riesgos teniendo en cuenta los riesgos horario, costo y calidad al mismo tiempo.

---

<sup>87</sup> La Presa “La Yesca”, oficialmente Proyecto Hidroeléctrico es una presa y central hidroeléctrica ubicada en el cauce del Río Grande de Santiago en el municipio de La Yesca, Nayarit y Hostotipaquillo, Jalisco. Tiene una capacidad para generar 750 megawatts de energía eléctrica, con un embalse aproximado a 1,392 millones de metros cúbicos. Tuvo un costo aproximado de 768 millones de dólares.

<sup>88</sup> De las siglas en inglés Risk Management Capability (RMC) o Capacidad de Gestión de Riesgos son un conjunto de recursos humanos y materiales que permiten prepararse y responder ante un evento que origine una emergencia o desastre.

<sup>89</sup> De las siglas en inglés Advanced Programmatic Risk Analysis and Management Model (APRAMM) o Análisis Programático Avanzado de Riesgos y Modelo de Gestión

Sin embargo, el modelo considera los riesgos de fallas que se producen sólo sobre las fases de diseño y construcción del ciclo de vida de un proyecto. Si bien puede ser suficiente para algunos proyectos para los cuales el costo requerido durante la vida útil es mucho menor que el presupuesto requerido durante el período de construcción, debe ser modificado en relación con los proyectos de infraestructura debido a que los costos asociados durante el ciclo de vida útil son significativos. (Zeynalian, Trigunarsyah, & Ronagh, 2013) propone un APRAM modificado, que puede tener en cuenta los riesgos potenciales que pudieran ocurrir durante todo el ciclo de vida del proyecto, incluidos los riesgos técnicos y de gestión de fallos. Por lo tanto, el modelo modificado puede ser utilizado como una herramienta de apoyo a decisiones eficiente para la construcción en la industria de la vivienda en la que diversas alternativas podrían ser técnicamente disponibles. El método modificado se demuestra mediante el uso de un proyecto de construcción real, y esta demostración muestra que se puede emplear de manera eficiente por administradores de la construcción. El método Delphi se aplica con el fin de averiguar los eventos de fallo y sus probabilidades asociadas.

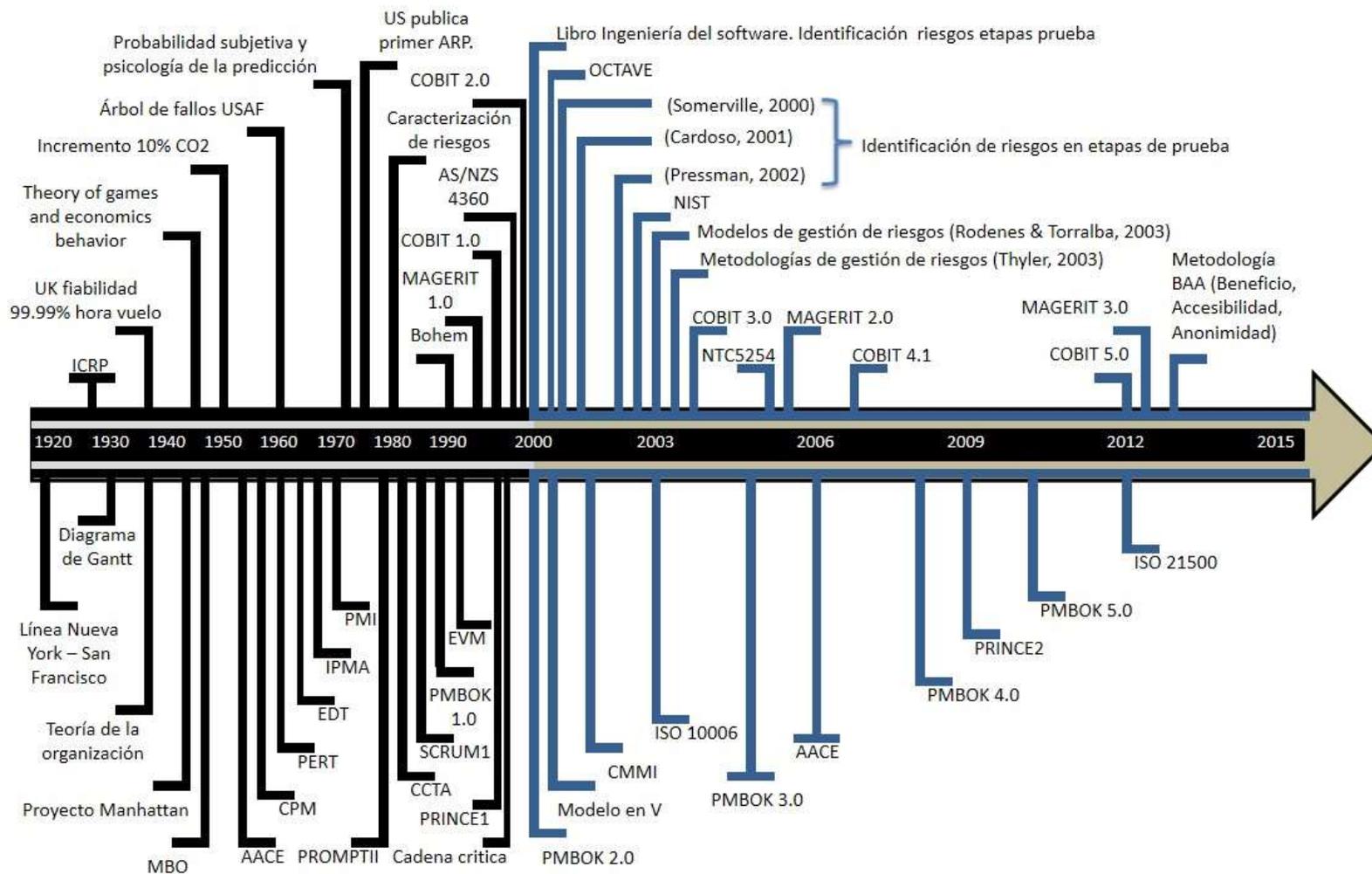


Figura 1 Línea de tiempo estado del arte

Fuente: Autor

## 2.5 Estándares, Métodos y Técnicas en la Gestión de Riesgos

El estudio de los principales métodos, estándares y técnicas de la gestión de riesgos se organizó en cuatro grupos: a nivel de organizaciones, en proyectos, en sistemas de información y en gestión de tecnologías de la información.

Algunos de estos estándares no corresponden directamente a la gestión de riesgos, pero dentro de ellos tratan la gestión de los riesgos como un factor indispensable ya sea para un proyecto, un sistema de información o un proceso de gestión de tecnología dentro de las organizaciones.

### 2.5.1 A nivel organizacional

Las organizaciones afrontan permanentemente riesgos en sus diferentes procesos organizacionales ya sean estratégicos, misionales o de apoyo. Es así como el estándar ISO 31000 señala una familia de normas sobre Gestión del riesgo en normas codificadas por la organización International Organization for Standardization (ISO, 2009a). El propósito de la norma ISO 31000:2009 es proporcionar principios y directrices para la gestión de riesgos y el proceso implementado en el nivel estratégico y operativo.

En la actualidad, la familia ISO 31000 incluye:

- ISO 31000:2009 - gestión de riesgos - principios y directrices
- ISO/IEC 31010 - gestión de riesgos - evaluación técnicas del riesgo
- ISO Guide 73:2009 - gestión de riesgos - vocabulario

El propósito de la norma ISO 31000:2009 es aplicar y adaptar al público, cualquier empresa pública o privada, comunidad, asociación, grupo o individuo.



Figura 2 Gestión de riesgos según norma ISO 31000

Fuente: Organización Internacional de Estándares

## **2.5.2 En proyectos**

Un proyecto es una planificación que consiste en un conjunto de actividades que se encuentran interrelacionadas y coordinadas. La razón de un proyecto es alcanzar objetivos específicos dentro de los límites que imponen un presupuesto, calidades establecidas previamente y un lapso de tiempo previamente definidos.

Un proyecto es un emprendimiento que tiene lugar durante un tiempo limitado, y que apunta a lograr un resultado único. Surge como respuesta a una necesidad, acorde con la visión de la organización, aunque ésta puede desviarse en función del interés. El proyecto finaliza cuando se obtiene el resultado deseado, desaparece la necesidad inicial, o se agotan los recursos disponibles.

PMBOK define un proyecto como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único.

Las metodologías aquí descritas corresponden a la gestión de proyectos, sin embargo el interés de este trabajo se centra en la gestión de riesgos que proponen cada una de estas metodologías.

### **2.5.2.1 PMBOK**

Para la guía del PMBOK (PMI, 2012), Planificar la Gestión de los Riesgos es el proceso de definir cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto. El plan de gestión de los riesgos es vital para comunicarse y obtener el acuerdo y el apoyo de todos los interesados a fin de asegurar que el proceso de gestión de riesgos sea respaldado y llevado a cabo de manera eficaz a lo largo del ciclo de vida del proyecto

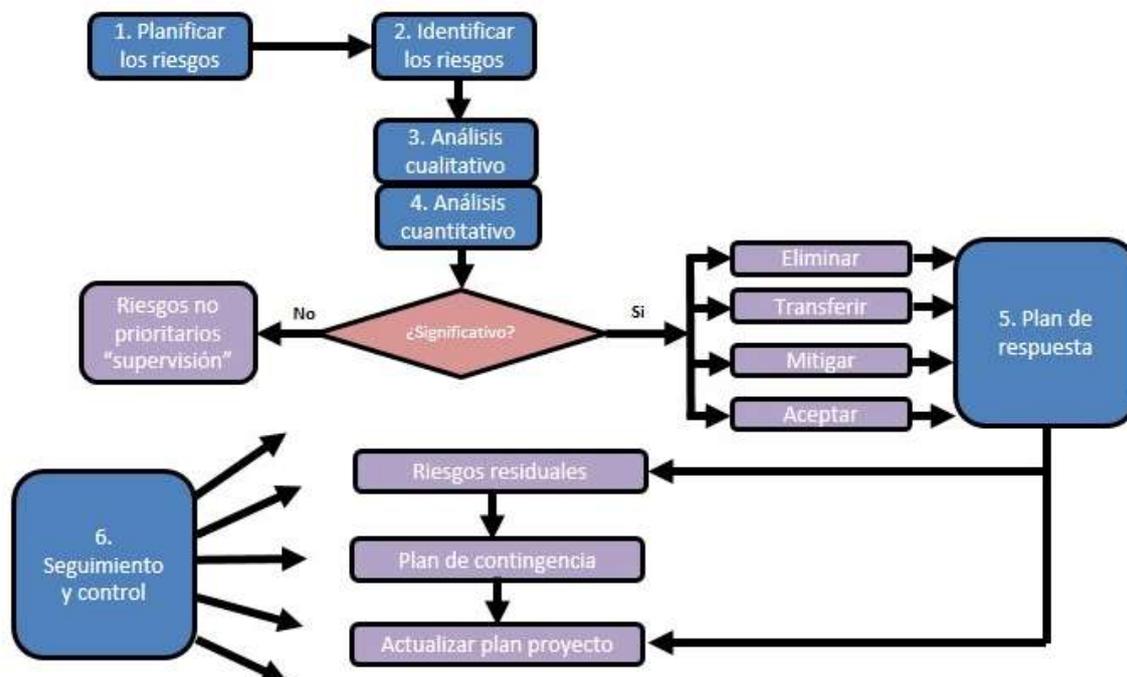
Identificar los Riesgos es el proceso de determinar los riesgos que pueden afectar al proyecto y documentar sus características. El beneficio clave de este proceso es la documentación de los riesgos existentes y el conocimiento y la capacidad que confiere al equipo del proyecto para anticipar eventos.

El proceso de análisis cualitativo tiene como objetivo clasificar los riesgos identificados en función de la probabilidad y el impacto, con el fin de determinar cuáles riesgos requieren de mayor atención

El proceso de análisis cuantitativo consiste en analizar numéricamente los efectos de los riesgos identificados sobre los objetivos generales del proyecto como costo, calidad, tiempo y alcance.

La planificación de respuesta al riesgo consiste en definir actividades que permitan la prevención del riesgo o la reacción ante la materialización del riesgo

El proceso de seguimiento y control



*Figura 3 Riesgos en metodología PMBOK  
Fuente: PMI*

### 2.5.2.2 PRINCE2

PRINCE2<sup>90</sup> es una metodología de gestión de proyectos, la cual se basa en siete principios<sup>91</sup>, siete temarios y siete procesos<sup>92</sup>; dentro de los siete temarios tenemos los Business case, organización, calidad, planes, riesgos cambio y progreso.

La Gestión del Riesgo según la metodología PRINCE2 (PRINCE, 2009), utiliza una forma sistemática que permite identificar, evaluar y controlar el riesgo. Esta temática de riesgo proporciona un enfoque para gestionar el riesgo en el proyecto. Existen tres pasos para la Gestión del Riesgo, ellos son: identificación, evaluación y control:

- Identificación: cómo identificar y describir el riesgo.
- Evaluación: probabilidad de ocurrencia del riesgo y su impacto.
- Control: la mejor forma de responder al riesgo.

<sup>90</sup> Del acrónimo en inglés P ROjects IN Controlled Environments

<sup>91</sup> Justificación comercial continua, aprender de la experiencia, roles y responsabilidades definidos, gestión por fases, gestión por excepciones, enfoque en los productos y adaptación para corresponder al entorno del proyecto.

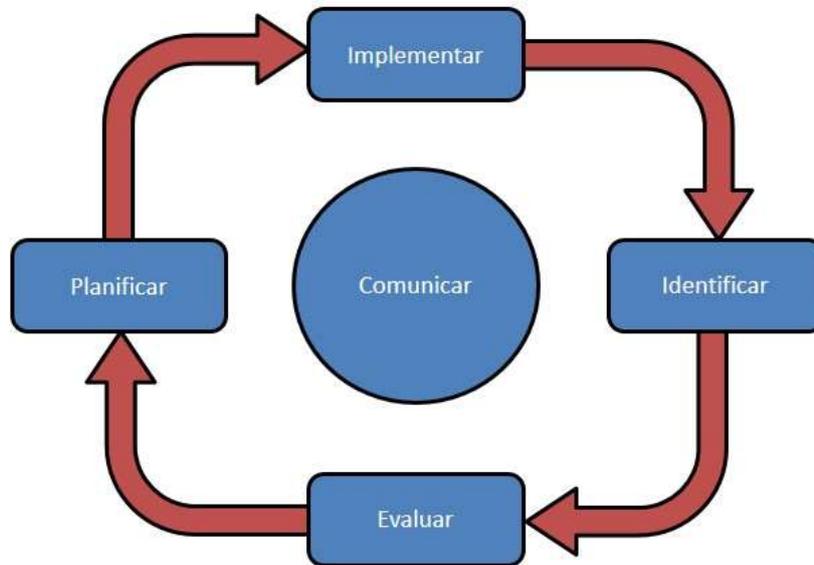
<sup>92</sup> Puesta en marcha de un proyecto, dirección de un proyecto, inicio de un proyecto, control de una fase, gestión de entrega de productos, gestión de límites de fase y cierre de un proyecto.

PRINCE2 hace uso del método MOR (por sus siglas en inglés: Management of Risk). Como resultado, PRINCE2 aprovecha la ventaja que ofrece contar con unos procedimientos y principios que han sido definidos previamente en lugar de intentar de re-inventar la rueda. El método MOR tiene una metodología genérica para gestionar el riesgo, la cual consiste en lo siguiente:

- Primero, entender el 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.
- Definir roles y responsabilidades de riesgos

El Procedimiento de Gestión del Riesgo es un conjunto de 5 pasos recomendados por PRINCE2: identificar, evaluar, planificar, implementar y comunicar. Los primeros 4 pasos son consecutivos, mientras que la comunicación siempre se realizará para poner en conocimiento a las partes interesadas del desempeño además de mantener una continua retroalimentación durante el proceso.

- Identificar: Primero completa el documento de Estrategia de Gestión del Riesgo del proyecto, luego identifica los riesgos (amenazas y oportunidades) que pueden afectar.
- Evaluar: Evalúa los riesgos en términos de probabilidad e impacto en los objetivos del proyecto.
- Planificar: Aquí, los pasos de la planificación consisten en preparar las respuestas específicas a las amenazas (ejemplo: ayudar a reducir o evitar el riesgo), como así también planificar la forma de maximizar las oportunidades en los casos de ocurrencia.
- Implementar: Llevar adelante las respuestas planificadas mencionadas en el paso de planificación si el riesgo se presenta.
- Comunicar: Mantener la comunicación con las partes interesadas. Utiliza informes de gestión existentes que se crean durante el proyecto (ejemplo: informe de final de fase).



*Figura 4 Gestión de riesgos en PRINCE2*  
*Fuente: Central Computer and Telecommunications Agency*

### 2.5.2.3 IPMA

El IPMA es una de las organizaciones de mayor importancia en la gestión de proyectos y su modelo de certificación está basado en competencias, a diferencia del PMI que está basado en procesos.

El documento de referencia de la certificación de las competencias de los Directores de Proyectos en IPMA es conocido como ICB (Internacional Competence Baseline) (IPMA, 2006). El modelo es representado mediante un icono en forma de ojo que representa la integración de todos los elementos de la Dirección de Proyectos como se ve a través de los ojos de los directores cuando evalúan una situación específica. El ojo representa también la claridad y la visión



*Figura 5 Competencias IPMA*  
*Fuente: Internacional Project Management Association*

Las competencias son organizadas en tres grupos: de comportamiento, técnicas y contextuales. La gestión de riesgos se encuentra dentro de las competencias técnicas bajo el título “Riesgo y oportunidad” e implica el uso de técnicas de reducción de incertidumbre, una evaluación cualitativa de los riesgos y oportunidades que los clasifica en función de su importancia. Clasificación se utiliza para decidir la estrategia más adecuada para los planes de contingencia.

15 Competencias de comportamiento	20 Competencias Técnicas	11 Competencias Contextuales
Liderazgo Compromiso y Motivación Autocontrol Confianza en sí mismo Relajación Actitud abierta Creatividad Orientación a resultados Eficiencia Consulta Negociación Conflictos y crisis Fiabilidad Apreciación de valores Ética	Éxito en la dirección de proyectos Partes involucradas Requisitos y objetivos del proyecto Riesgos y oportunidades Calidad Organización del proyecto Trabajo en equipo Resolución del problema Estructuras del proyecto Alcance y entregables Tiempo y fases del proyecto Recursos Coste y financiación Aprovisionamiento y contratos Cambios Control e informes Información y documentación Comunicación Lanzamiento Cierre	Orientación a proyectos Orientación a programas Orientación a carteras Implantación de proyectos, programas y carteras. Organizaciones permanentes Negocio Sistemas, productos y tecnologías Dirección del personal Seguridad, higiene y medioambiente Finanzas Legal

*Tabla 2 Competencias de IPMA*

*Fuente: Autor*

### 2.5.3 En gestión de tecnología

La gestión de riesgos no solamente es tratada a nivel de proyectos, por esto es importante estudiarla en otros contextos como la gestión de tecnologías de la información en organizaciones, es así como en esta sección se referencia algunos estándares de gestión de tecnología en la cual la gestión de riesgos es de vital importancia.

#### 2.5.3.1 COBIT

Objetivos de Control para la Información y Tecnologías relacionadas (COBIT) del inglés Control Objectives for Information and related Technology, es una guía de mejores prácticas presentada como framework, dirigida al control y supervisión de tecnología de la información (TI). Mantenido por ISACA (en inglés: Information Systems Audit and Control Association) y el IT GI (en inglés: IT Governance Institute).

La metodología COBIT5 (ISACA, 2012) para riesgos define el riesgo de TI (Tecnologías de la Información) como un riesgo de negocios, específicamente, el riesgo de negocios

asociado con el uso, la propiedad, la operación, el involucramiento, la influencia y la adopción de TI dentro de una empresa.

El riesgo de TI consiste de eventos relacionados a TI que podrían potencialmente impactar el negocio. Puede ocurrir tanto con una frecuencia incierta como con un impacto y crea retos para el logro de las metas y objetivos estratégicos. El riesgo de TI siempre existe, así sea que haya sido detectado o reconocido o no.



*Figura 6 Gestión de riesgos en metodología COBIT*

*Fuente: ISACA*

### **2.5.3.2 ITIL**

La Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información o ITIL<sup>93</sup> es un conjunto de conceptos y buenas prácticas usadas para la gestión de servicios de tecnologías de la información, el desarrollo de tecnologías de la información y las operaciones relacionadas con la misma en general. Da descripciones detalladas de un extenso conjunto de procedimientos de gestión ideados para ayudar a las organizaciones a lograr calidad y eficiencia en las operaciones de TI.

<sup>93</sup> De las siglas en inglés Information Technology Infrastructure Library

Estos procedimientos son independientes del proveedor y han sido desarrollados para servir como guía que abarque toda infraestructura, desarrollo y operaciones de TI. El objetivo procesal según la guía de gestión del riesgo ITIL es identificar, evaluar y controlar riesgos. Esto incluye el análisis del valor de los activos de la empresa, la identificación de amenazas a dichos activos y la evaluación de su vulnerabilidad ante esas amenazas (ITIL, 1990).

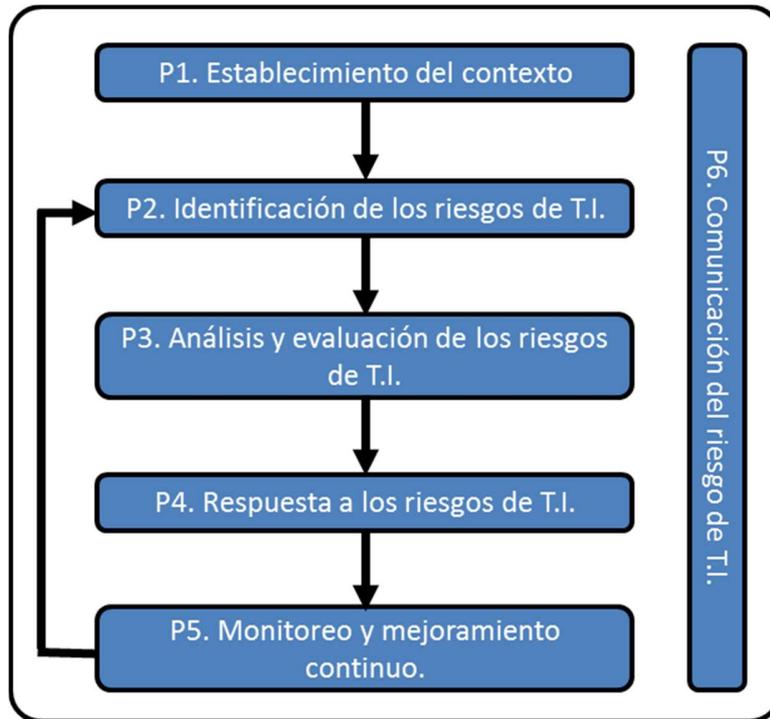
ITIL V3 exige mecanismos coordinados para el control de riesgos; por eso, en IT Process Maps se introdujo un proceso propio de Gestión del Riesgo en el Mapa de Procesos. De este modo la responsabilidad del control de riesgos queda claramente regulada. Con la introducción de un proceso básico de Gestión del Riesgo también se crea la base para una nueva ampliación de la Gestión del Riesgo.

“La gestión de riesgo empresarial (ERM) es un proceso estructurado, consistente y continuo implementado a través de toda la organización para identificar, evaluar, medir y reportar amenazas y oportunidades que afectan el poder alcanzar el logro de sus objetivos.” (De La Rosa, 2007). Este concepto indica claramente que el proceso de gestión de riesgo debe realizarse de manera continua para controlar los riesgos claves del negocio, y en este proceso intervienen todos los niveles jerárquicos de la organización, no sólo los altos rangos, puesto que el alcance de los objetivos no sólo debe interesar a los directivos, sino también al personal restante, por lo tanto involucra a toda la organización de forma íntegra en la seguridad y estabilidad del negocio en marcha.

La gestión de riesgo debe estar orientada a una mayor prevención y menor corrección, por ello, la organización debe crear una cultura de riesgo, pues esto la hace más segura, aprovecha las oportunidades y le da mayor estabilidad ante cambios del entorno.

Según ITIL las etapas del proceso de gestión de riesgo son:

- Establecer Marco General
- Identificar Riesgos
- Análisis de Riesgos
- Evaluar y Priorizar Riesgos
- Tratamiento del Riesgo



*Figura 7 Proceso de gestión de riesgos en ITIL*  
*Fuente: Central Computer and Telecommunications Agency*

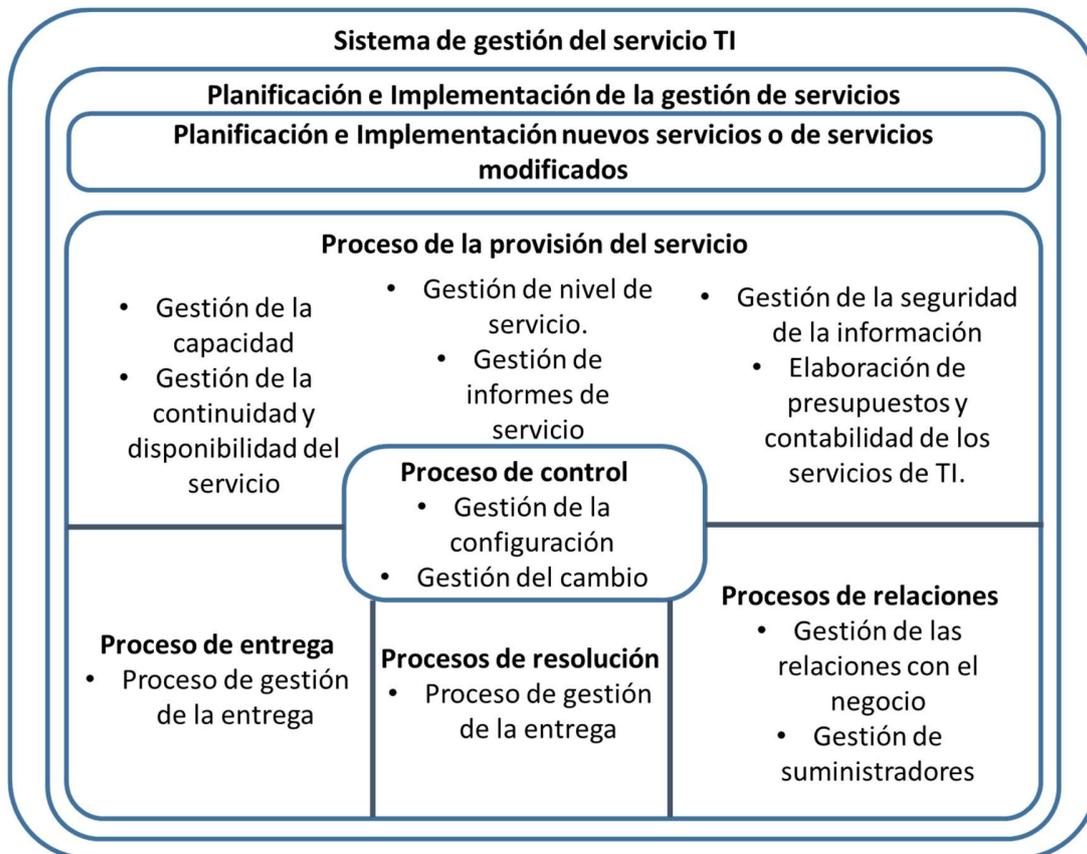
### 2.5.3.3 ISO/IEC 20000 Gestión de servicios de TI

La serie ISO/IEC 20000 - Service Management normalizada y publicada por las organizaciones ISO<sup>94</sup> e IEC<sup>95</sup>, es el estándar reconocido internacionalmente en gestión de servicios de TI (Tecnologías de la Información).

Una entrega efectiva de los servicios de TI es crucial para las empresas. Hay una percepción de que estos servicios no están alineados con las necesidades y requisitos del negocio. Esto es especialmente importante tanto si se proporciona servicios internamente a clientes como si se está subcontratando proveedores. Una manera de demostrar que los servicios de TI están cumpliendo con las necesidades del negocio es implantar un Sistema de Gestión de Servicios de TI (SGSTI) basado en los requisitos de la norma ISO/IEC 20000. La certificación en esta norma internacional permite demostrar de manera independiente que los servicios ofrecidos cumplen con las mejores prácticas.

<sup>94</sup> De las siglas en inglés International Organization for Standardization

<sup>95</sup> De las siglas en inglés International Electrotechnical Commission



*Figura 8 Procesos de la ISO 20000*

*Fuente: Organización Internacional de Estándares*

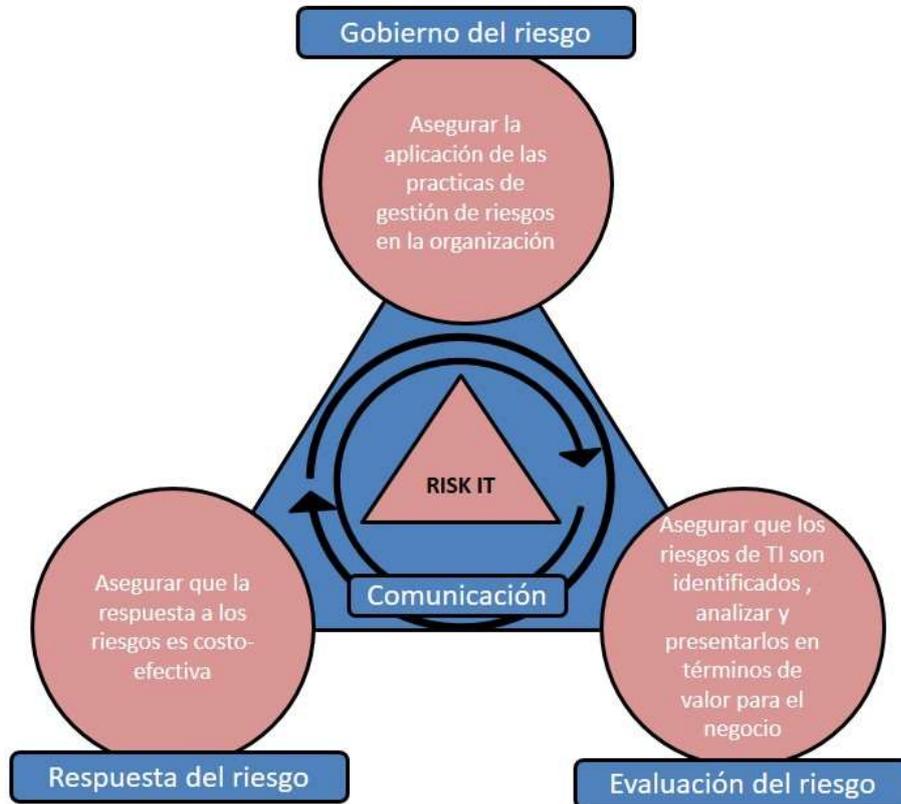
La gestión de riesgos es transversal a la mayor parte de los procesos descritos por el estándar, sin embargo hay más énfasis en la identificación o análisis de riesgos que identifica la gestión de riesgos.

### 2.5.3.4 RISK TI

La metodología Risk IT (Rueda, 2016) desarrollada por el ITGI (IT Governance Institute) y constituye un marco metodológico práctico para integrar la gestión de los riesgos de TI (que son riesgos del negocio) al marco de gestión de riesgos de la organización. Para ello, establece prácticas para la identificación, gobierno y gestión de los riesgos originados en la utilización, propiedad, operación, influencia y adopción de TI. Esta norma hace explícito el ajuste por la tolerancia al riesgo en la toma de decisiones de TI, definiendo roles y responsabilidades del riesgo de TI.

Risk IT promueve una metodología para la respuesta y priorización de los riesgos de TI de tal forma de que sea posible equilibrarlos con el nivel de tolerancia de la organización. Define nueve procesos en tres dominios: Gobierno del Riesgo (Risk Governance, RG), Evaluación del Riesgo (Risk Evaluation, RE), y Respuesta al Riesgo (Risk Response, RR).

El siguiente gráfico ilustra la interacción entre los tres componentes de Risk IT:



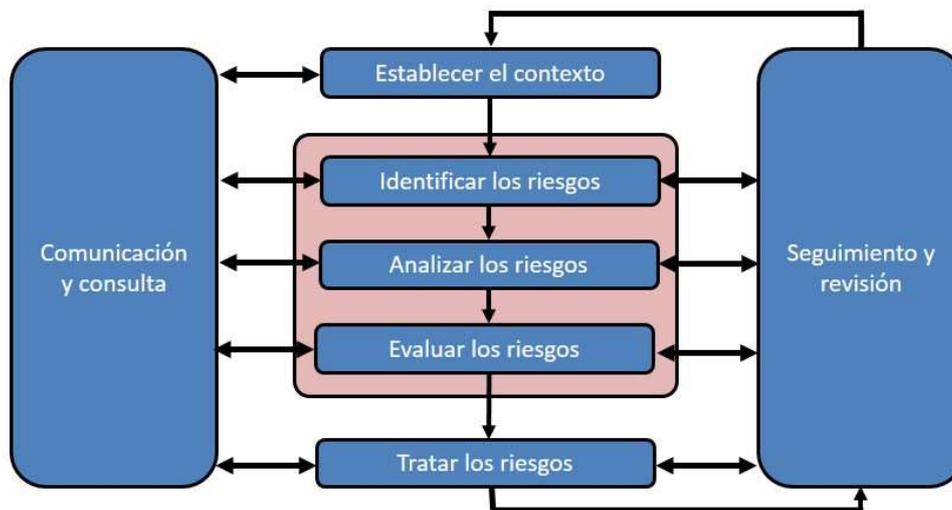
*Figura 9 Gestión de riesgos según metodología RISK TI*

*Fuente: IT Governance Institute*

### 2.5.3.5 NIST

Esta guía NIST (National Institute of Standards and Technology - Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) proporciona las bases para el desarrollo de un programa de gestión de riesgos efectivo, que contiene tanto las definiciones como las orientaciones prácticas necesarias para evaluar y mitigar los riesgos identificados dentro de los sistemas de TI (Tecnologías de Información) (NIST, 2001). El objetivo fundamental es ayudar a las organizaciones a gestionar mejor los riesgos de TI relacionados con su misión. La evaluación de riesgos es el primer proceso dentro de esta metodología de gestión de riesgos. Las organizaciones utilizan la evaluación de riesgos para determinar el alcance de las amenazas potenciales y el riesgo asociado al sistema de TI a través de su SDLC<sup>96</sup>. La salida de este proceso ayuda a identificar los controles adecuados para reducir o eliminar los riesgos durante el proceso de mitigación.

<sup>96</sup> De las siglas en inglés System Development Life Cycle - Ciclo de Vida de Desarrollo del Sistema.



*Figura 10 Gestión de riesgos según guía NIST*  
*Fuente: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología*

## 2.5.4 En gestión de sistemas de información

Desde otro nivel se puede estudiar la gestión de riesgos en los sistemas de información, principalmente en estos estándares, los riesgos están directamente relacionados con la seguridad de la información dentro de una organización. Es así como antes de identificar los riesgos, se deben identificar los activos de información que deben ser protegidos de amenazas (riesgos).

### 2.5.4.1 Octave (Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation)

OCTAVE es una metodología de análisis de riesgos desarrollada por la Universidad Carnegie Mellon en el año 2001, y su acrónimo significa “Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation“. OCTAVE estudia los riesgos en base a tres principios: confidencialidad, integridad y disponibilidad. Esta metodología es utilizada por distintas agencias gubernamentales tales como el Departamento de Defensa de Estados Unidos (DoD) (SecurityArtWork). En la siguiente figura se muestran las fases llevadas a cabo en esta metodología.

Las tres fases de la metodología se definen así (Alberts C., 2001):



*Figura 11 Gestión de riesgos en metodología OCTAVE*

*Fuente: Universidad Carnegie Mellon*

## 2.5.4.2 CORAS

CORAS es un proyecto de investigación y desarrollo tecnológico europeo, que está elaborando una herramienta soportada en un marco para la evaluación de riesgos de seguridad basado en modelos. CORAS proporciona un lenguaje personalizado para el modelado de amenazas y riesgos, y viene con directrices detalladas que explican cómo el lenguaje que se debe utilizar para capturar y modelar la información pertinente durante las diversas etapas del análisis de la seguridad (Norsk\_Regnesentral., 2000). El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) se suele utilizar para modelar el objeto del análisis. Para documentar los resultados intermedios y para la presentación de las conclusiones generales, se usan diagramas especiales CORAS que se inspiran en UML. El método CORAS proporciona una herramienta informática diseñada para soportar la documentación, mantenimiento y los reportes del análisis de resultados a través de modelos de riesgo.

En el método CORAS, un análisis de riesgos de seguridad se lleva a cabo en siete pasos, como se evidencia en la siguiente figura.



*Figura 12 Gestión de riesgos en método CORAS*  
*Fuente: Grupo de Investigación Noruego SINTEF*

- Paso 1: El primer paso consiste en una reunión introductoria. El principal punto de la agenda de esta reunión es conseguir que los representantes del cliente presenten sus objetivos generales del análisis y lo que desean analizar. Por lo tanto, durante la etapa inicial los analistas reunirán la información basada en las presentaciones y discusiones del cliente.
- Paso 2: El segundo paso implica otra reunión con los representantes del cliente. Sin embargo, esta vez los analistas presentarán su comprensión de lo que entendieron en la primera reunión y del estudio de la documentación que puso a su disposición el cliente. El segundo paso implica también un análisis básico de la seguridad de alto nivel. Durante este análisis se identifican las primeras amenazas, vulnerabilidades, escenarios de amenaza e incidentes no deseados. Ellos serán utilizados para ayudar con la dirección y la determinación del alcance del análisis más detallado aún por realizarse.
- Paso 3: El tercer paso consiste en una descripción más precisa del objeto a analizar, y también de todos los supuestos y otras condiciones previas

hechas. El tercer paso se termina una vez que toda esta documentación ha sido aprobada por el cliente.

- Paso 4: Este paso se organiza como un taller, proveniente de personas con experiencia en el objeto del análisis. El objetivo es identificar el mayor número de posibles incidentes no deseados como sea posible, así como las amenazas, vulnerabilidades y escenarios de amenaza.
- Paso 5: En el quinto paso también se organiza un taller, esta vez enfocado en la estimación de las consecuencias y los valores de probabilidad para cada uno de los incidentes no deseados identificados.
- Paso 6: Este paso le da al cliente el primer cuadro de riesgo general. Normalmente, esto dará lugar a algunos ajustes y correcciones.
- Paso 7: El último paso se dedica a la identificación del tratamiento, así como abordar cuestiones de costo/beneficio de los tratamientos. En este tratamiento de los riesgos es donde se introduciría la prevención de riesgos. Esta etapa se organiza mejor como un taller.

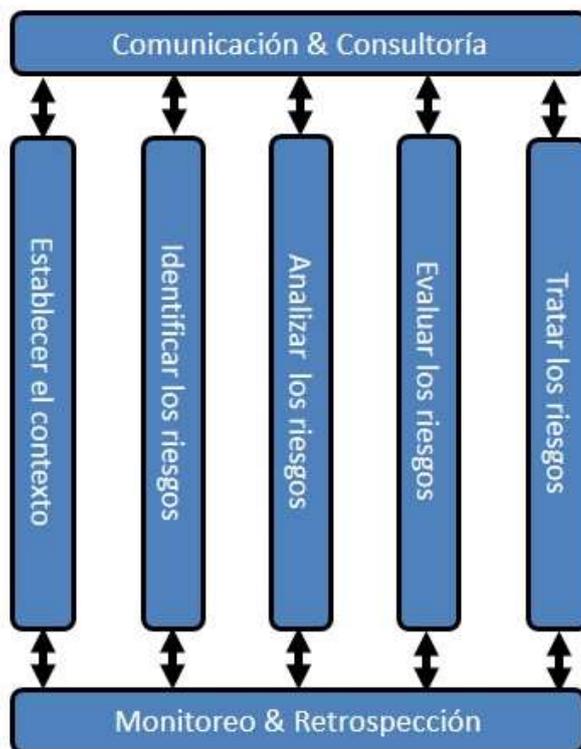
### **2.5.4.3 Estándar Australiano AS/NZS 4360:1999**

La administración de riesgos es una parte integral del proceso de administración, la cual es multifacética e iterativa y de mejora continua. Según el estándar Australiano esta se desarrolla en 5 fases, las cuales son (ISO, 2009a):

- Establecer el Contexto: Dentro de esta fase se definen los parámetros básicos del proceso que ocurre dentro de la estructura organizacional de acuerdo al contexto estratégico, organizacional, y de administración de riesgos. Esto da como resultado el desarrollo de criterios de evaluación y una guía para la toma de decisiones.
- Identificar Riesgos: Este paso busca identificar los riesgos a administrar. Es crítica una identificación amplia utilizando un proceso sistemático bien estructurado, porque los riesgos potenciales que no se identifican en esta etapa son excluidos de un análisis posterior. La identificación debería incluir todos los riesgos, estén o no bajo control de la organización. La finalidad de esta segunda etapa es generar una lista amplia de eventos de los cuales es necesario considerar causas y escenarios posibles para luego utilizar herramientas como: listas de chequeo, juicios basados en experiencias, registros en diagramas de flujo, análisis de sistemas y análisis de escenarios.
- Analizar Riesgos: La finalidad de esta fase es separar los riesgos menores de los riesgos mayores y así proveer datos para la evaluación y tratamiento de los riesgos. Esta fase involucra prestar atención a las fuentes de riesgos, sus consecuencias y las probabilidades de que puedan ocurrir esas consecuencias. Se analiza el riesgo combinando estimaciones de

consecuencias y probabilidades en el contexto de las medidas de control existentes. Se puede llevar a cabo un análisis preliminar para excluir del estudio detallado los riesgos similares o de bajo impacto. De ser posible los riesgos excluidos deberían listarse para demostrar que se realizó un análisis de riesgos completo. Dentro de este proceso de análisis se siguen unos subprocesos como son: determinar los controles existentes, consecuencias y probabilidades, tipos de análisis.

- **Evaluar Riesgos:** Esta etapa involucra comparar el nivel de riesgo detectado durante el proceso de análisis con criterios de riesgo establecidos previamente. La evaluación cualitativa involucra la comparación de un nivel cualitativo de riesgo contra criterios cualitativos, y la evaluación cuantitativa involucra la comparación de un nivel numérico de riesgo contra criterios que pueden ser expresados como un número específico, tal como, un valor de fatalidad, frecuencia o monetario. El resultado de una evaluación de riesgos es una lista de riesgos con prioridades para una acción posterior, basadas en los objetivos de la organización y el grado de oportunidad que podría resultar al tomar el riesgo. Los riesgos resultantes que caen dentro de las categorías de riesgos bajos o aceptables, pueden ser aceptados con un tratamiento futuro mínimo. Los riesgos bajos y aceptados deberían ser monitoreados y revisados periódicamente para asegurar que se mantienen aceptables.
- **Tratar los riesgos:** Este proceso involucra identificar el rango de opciones para tratar los riesgos, evaluar esas opciones, preparar planes para tratamiento de los riesgos e implementarlos. Es aquí en esta etapa que tiene lugar la prevención.



*Figura 13 Gestión de riesgos en estándar Australiano AS/NZS 4360:1999*

*Fuente: Organización Internacional de Estándares*

#### **2.5.4.4 NTC-ISO/IEC 27005: Gestión del Riesgo en la Seguridad de la Información.**

La gestión del riesgo en la seguridad de la información es una parte integral para todas las actividades de gestión de seguridad de la información y se aplica tanto a la implementación como al funcionamiento continuo de un SGSI (Sistema de Gestión de Seguridad de la Información).

El proceso de gestión del riesgo en la seguridad de la información consta del establecimiento del contexto, valoración del riesgo, tratamiento del riesgo, aceptación del riesgo, comunicación del riesgo y monitoreo y revisión del riesgo.

El enfoque iterativo suministra un buen equilibrio entre la reducción del tiempo y el esfuerzo requerido para identificar los controles, incluso garantizando que los riesgos altos se valoren de manera correcta.

El contexto se establece primero, luego se realiza una valoración del riesgo. Si ésta suministra información suficiente para determinar de manera eficaz las acciones que se necesitan para modificar los riesgos hasta un nivel aceptable, entonces la labor está terminada y sigue el tratamiento del riesgo. Si la información no es suficiente, se llevará a

cabo otra iteración de la valoración del riesgo con un contexto revisado (por ejemplo, los criterios de evaluación del riesgo, los criterios para aceptar el riesgo o los criterios de impacto), posiblemente limitadas del alcance total (ISO, 2009b).

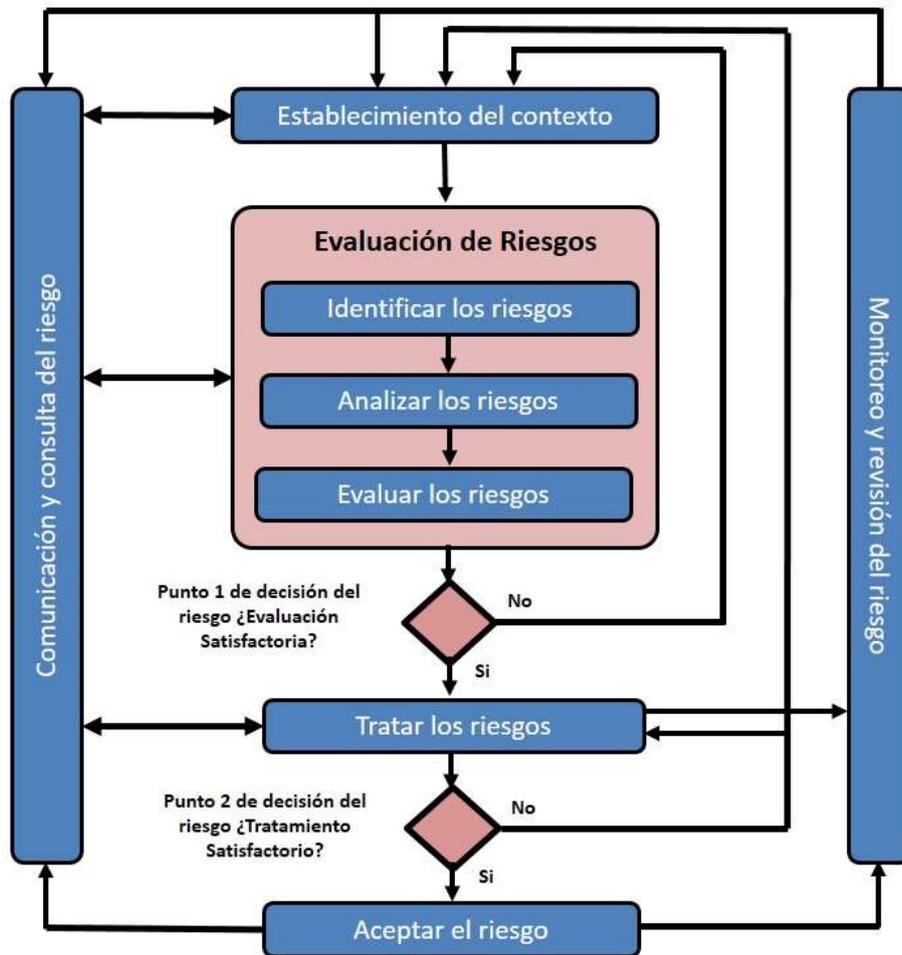


Figura 14 Gestión de riesgos según norma NTC-ISO/IEC 27005

Fuente: Organización Internacional de Estándares

### 2.5.4.5 CRAMM – Método de análisis y gestión de riesgos

Según Quasem (Qasem, 2013), CRAMM (CCTA<sup>97</sup> Risk Analysis and Management Method) ofrece un enfoque por etapas y disciplinado que abarca aspectos tanto técnicos como no técnicos de seguridad. Se divide en tres etapas:

- Identificación de activos y valoración: CRAMM permite identificar los activos físicos, el software, los datos y su ubicación, que conforman el

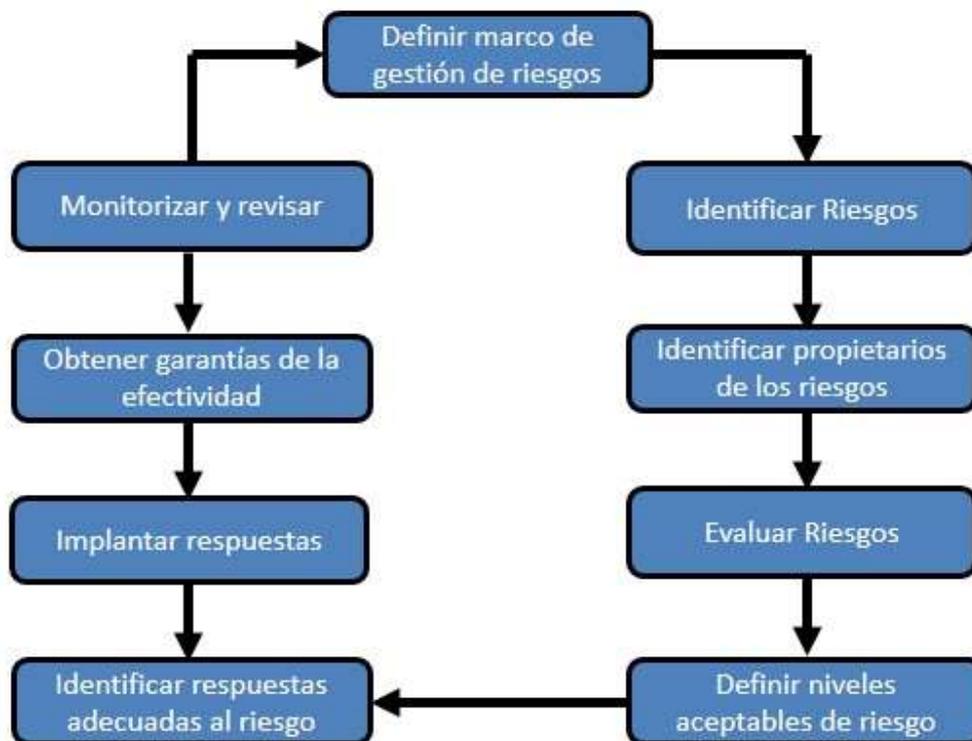
<sup>97</sup> CCTA: Central Communication and Telecommunication Agency

sistema de información. Cada uno de estos activos puede ser valorado. Los activos físicos se valoran en términos del costo de reposición<sup>98</sup>. Los activos de datos y software se valoran en términos del impacto causado si la información no estuviera disponible, fuera destruida, divulgada o modificada.

- Evaluación de amenazas y vulnerabilidades: Habiendo comprendido la magnitud de los problemas potenciales, la siguiente etapa consiste en identificar la probabilidad de que este tipo de problemas se produzca. CRAMM cubre toda la gama de amenazas, deliberadas o accidentales, que pueden afectar a los sistemas de información, incluyendo: piratería, virus, fallas de equipos, etc.
- Selección de contramedidas y recomendaciones: CRAMM utiliza la evaluación de los riesgos de la etapa anterior y la compara con el nivel de seguridad requerido, con el fin de identificar si los riesgos son lo suficientemente grandes como para justificar la instalación de una contramedida particular. Es en esta etapa donde tiene lugar la prevención de riesgos. CRAMM ofrece una serie de servicios de ayuda incluyendo: deshacer, qué pasa si?, funciones de priorización y herramientas de reportes para ayudar en la aplicación de contramedidas y la gestión activa de los riesgos identificados.

---

<sup>98</sup> Costo de reposición: Es el costo de reemplazar los activos de una compañía por una propiedad del mismo o igual valor. El costo de reposición del activo de una compañía puede ser un edificio, suministros, cuentas por cobrar o gravámenes. Este costo puede cambiar dependiendo de los cambios en el mercado de valores (INVESTOPEDIA).



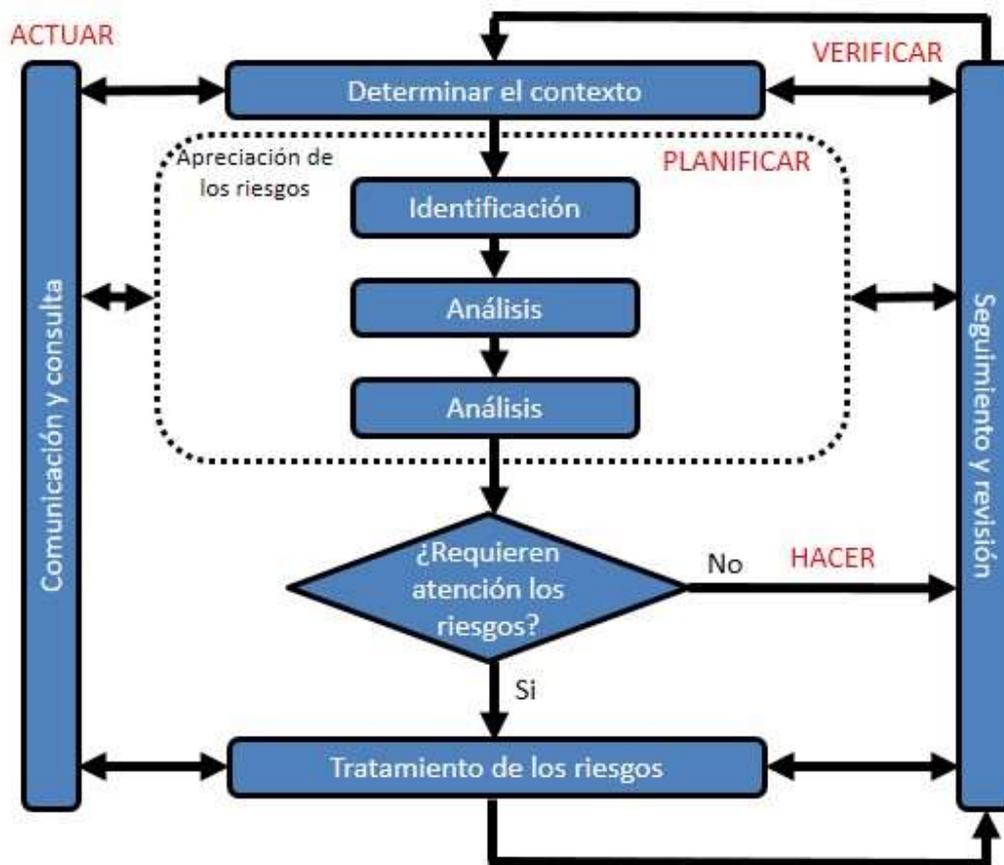
*Figura 15 Gestión de riesgos según método CRAMM*  
*Fuente: Central Communications and Telecommunications Agency*

#### **2.5.4.6 MAGERIT (Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información).**

En España, el Consejo Superior de Administración Electrónica (Consejo de Administración Electrónica) estableció la metodología MAGERIT (Metodología de Análisis y Gestión de Riesgos de los Sistemas de Información) con el objetivo de implementar un marco común para el análisis y gestión de riesgos en los sistemas de información sobre la base de la norma ISO/IEC 27000. Esta metodología propone las siguientes etapas (Villalba, 2002):

- Etapa 1. Planeación del Análisis y Gestión de Riesgos : Esta etapa establece las consideraciones necesarias para iniciar el análisis de riesgos y el proyecto de gestión; permitiendo investigar si es apropiado llevarlo a cabo, definir los objetivos que debe cumplir y su dominio (alcance), determinar los recursos materiales y humanos necesarios para llevarlo a cabo y poner en marcha el proyecto.
- Etapa 2. Análisis de Riesgos: Esta etapa permite identificar y evaluar los elementos que intervienen en el riesgo para obtener una evaluación del riesgo en las diferentes áreas del dominio, y estimar los umbrales de riesgo deseables.

- Etapa 3. Gestión de Riesgos: Esta etapa permite identificar las funciones o servicios salvaguardias potenciales que reducen el riesgo detectado, para seleccionar las contramedidas adecuadas en función de aquellas que ya están implementadas y las restricciones dadas, simulando luego diferentes combinaciones de las mismas para especificar finalmente las seleccionadas.
- Etapa 4. Selección de Salvaguardias: Esta etapa permite seleccionar las contramedidas a implementarse, diseñando un enfoque para la aplicación de las salvaguardias seleccionadas; estableciendo los mecanismos para el seguimiento de su implementación, compilando los documentos de trabajo para el análisis de riesgos y el proceso de gestión, obteniendo los documentos finales del proyecto y haciendo presentaciones de los resultados en los diferentes niveles. Es en esta etapa que tiene lugar la prevención de riesgos.



*Figura 16 Gestión de riesgos según metodología MAGERIT*  
Fuente: Concejo Superior de Administración Electrónica de España

### 3 Método para la planificación de riesgos mediante un UAV.

Existen muchas metodologías, modelos, normas y guías para la de planificación de riesgos pero no se evidencio ninguna aplicada a UAV, el método propuesto además de ser novedoso le brinda al desarrollador del proyecto una serie de herramientas y técnicas, las cuales puede aplicar a las diferentes fases del proyecto. De igual manera su principal aporte se centra en la estimación de la probabilidad e impacto de los riesgos en las diferentes fases del proyecto de medición de contaminación.

La validación del método se realizó mediante la ejemplificación de 4 vuelos, donde en cada uno de ellos se aplicó el método propuesto, se registraron y recopilaron los datos necesarios para su respectivo análisis posterior.

#### 3.1 Descripción del método

La gestión de riesgos en proyectos abarca básicamente dos grandes etapas, una de planificación y otra de seguimiento y control. Este trabajo centra su atención en la planificación como herramienta prospectiva a la ejecución de un proyecto.

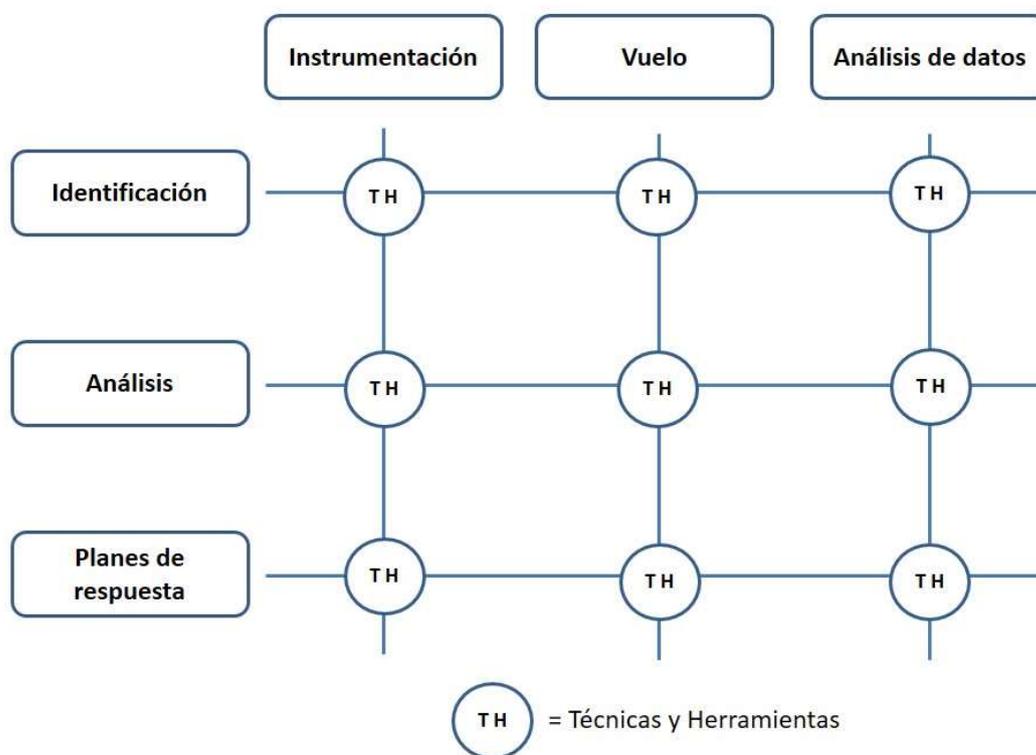
En los proyectos de medición de contaminación mediante UAV, se identifican claramente 3 fases: instrumentación, vuelo y análisis de datos, cada una de las cuales requiere de un proceso de planificación de riesgos basado en las actividades típicas de identificación de riesgos, análisis de riesgos (estimación de probabilidad e impacto) y la definición de planes de respuesta a cada uno de los riesgos identificados y priorizados en el análisis.

Las técnicas y herramientas sugeridas en este trabajo están organizadas en función de las fases del proyecto y de los componentes de planificación descritos en la siguiente figura, resaltando como mayor aporte de la metodología propuesta las técnicas recomendadas para la estimación de probabilidad de los riesgos.



Figura 17 Proceso típico de la gestión de riesgos

Fuente: Autor



*Figura 18 Método propuesto para la gestión de riesgos*

*Fuente: Autor*

### 3.1.1 Identificación de riesgos

La identificación de riesgos es una actividad basada en la experiencia de quien ejecuta un proyecto y es así como es la técnica recomendada en este método, mediante el uso de listas de chequeo que son complementadas como lecciones aprendidas en cada una de las ejecuciones de los procesos de medición de contaminación considerados aquí como proyectos.

**Técnica:** Basada en la intuición y experiencia. Los riesgos se derivan dependiendo de la habilidad, intuición y experiencia del ejecutor con proyectos similares

**Herramienta:** Lista de chequeo retroalimentada mediante lecciones aprendidas

Dentro de la técnica basada en la experiencia se debe tener en cuenta:

- Todo proyecto de medición de contaminación mediante UAV, está constituido en tres fases: instrumentación, vuelo y análisis de datos. Es así como en cada fase la fuente de posibles riesgos y las consecuencias son diferentes por lo tanto que requiere aplicar de manera separada la identificación de riesgos en cada fase.

- Este tipo de proyectos es típicamente planeado y ejecutado mediante tres tipos de roles: diseñador (en la fase de instrumentación), piloto (en la fase de vuelo) y analista (en la fase análisis de datos). Los dos primeros roles los desempeña por lo general la misma persona y por lo tanto su experiencia se constituye en el control, sin un colaborador es el único poseedor de un conocimiento o de una competencia concreta.
- En la fase de instrumentación principalmente se requiere de compra de dispositivos como sensores, módulos electromecánicos, baterías, etc. Por lo que es importante tener en cuenta los riesgos relacionado con las entregas por parte de los proveedores. ¿Hay proveedores que entreguen piezas especialmente vitales?
- La experiencia acumulada por el piloto del UAV es de vital importancia para la determinación de riesgos, ya que él conoce, o ha evidenciado a lo largo de sus años de experiencia en vuelos los principales y más comunes riesgos a la hora de volar. Consultar a otros pilotos de UAV que hayan participado recientemente en un proyecto similar al suyo.
- En caso de que usted haya elaborado una base de datos relativa a experiencias adquiridas en proyectos, es imperativo que la consulte.
- Gracias a su subdivisión de los riesgos (diferentes fases del proyecto) como los son la fase de instrumentación, fase de vuelo y fase de análisis de datos, las listas de verificación proporcionan a su proyecto una estructura para detectar riesgos de forma sistemática y completa.

La herramienta apropiada para el registro de riesgos en forma de lista de chequeo puede sintetizarse en el siguiente formato.

Registro de riesgos			
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos	
Nº	Riesgo		
1			
2			
3			
4			
5			

*Tabla 3 Registro de riesgos*

*Fuente: Autor*

Las otras columnas del registro de riesgos se rellenarán en las fases siguientes, llegado el caso de identificar más riesgos añada más columnas.

### 3.1.1.1 Instrumentación

Como lista de chequeo inicial del proceso, se sigue la siguiente lista de riesgos o suposiciones en la fase de instrumentación, si se conoce o se tiene presente alguno más, se añaden a la lista a manera de lecciones aprendidas que servirán de proyecto a proyecto.

Registro de riesgos en fase de Instrumentación			
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos	
Nº	Riesgo		
1	Hélices desbalanceadas, hélices rotas, perfil o paso no apto para el UAV.		
2	El GPS no funciona correctamente, no enlaza con los satélites.		
3	La memoria SD no graba datos, no deja formatear en formato necesario.		
4	El ARDUINO no funciona, no prende, no programa.		
5	Speed control o control de velocidad no funciona, no se deja programar, no controla la velocidad.		
6	Servomotor defectuoso, no gira o gira descontroladamente.		
7	Incorrecto GC - Centro de gravedad del UAV		
8	Sensor MQ4 no funciona, se satura, datos erróneos.		
9	Sensor DTH11 no funciona, datos erróneos.		
10	Batería de control no funciona, se descarga rápidamente, no enciende la electrónica.		
11	Batería de motores, no funciona, se descarga rápidamente, los motores no funcionan con la potencia adecuada.		

*Tabla 4 Registro de riesgos en fase de instrumentación*

*Fuente: Autor*

### 3.1.1.2 Vuelo

Los riesgos en esta fase están centrados en las condiciones climáticas apropiadas para tener el control de vuelo en el cual se realiza el registro de datos de los sensores, en el entorno donde se realiza el vuelo y el comportamiento de la electrónica.

Como lista preliminar de riesgos se tiene los siguientes, si conocen o tiene presente alguno más, añada a la lista:

Registro de riesgos en fase de vuelo			
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos	
Nº	Riesgo		
1	Muy altas o elevadas velocidades del viento, turbulencias inesperadas.		
2	Baja carga de la batería de los motores, pérdida de potencia en los motores.		
3	Baja carga de la batería de control, pérdida de señales en el aire.		
4	Entorno con muchos árboles, poca visibilidad, muy		

	oscuro.		
5	Zona de despegue o aterrizaje no apta, pista no plana para el aterrizaje, entrada de aterrizaje complicada.		
6	Aves en la zona de vuelo que impacten o atraigan al UAV.		
7	La electrónica falla, pérdida de control del UAV.		
8	Sensoria falla, no se puede leer temperatura y/o humedad, gas metano, no se registran datos.		
9	Los actuadores no funcionan, el avión no se puede controlar.		

**Tabla 5 Registro de riesgos en fase de vuelo**

*Fuente: Autor*

### 3.1.1.3 Análisis de datos

Lista de riesgos o suposiciones en la fase de análisis de datos, si conoce o tiene presente alguno más, añada a la lista; las otras columnas del registro de riesgos se rellenarán en las fases siguientes.

Registro de riesgos en fase de análisis de datos			
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos	
Nº	Riesgo		
1	Memoria SD no grabo o registro datos, datos incompatibles, datos erróneos.		
2	Las coordenadas del GPS se repiten, muchos datos son repetidos constantemente.		
3	Los datos del sensor MQ4 se repiten después de 10 minutos de vuelo, valor de datos constante.		
4	La temperatura que provee el sensor DTH11 no es correcta, los datos no fueron los correctos, anomalías en el valor de la temperatura.		
5	La humedad relativa que provee el sensor DTH11 no es correcta, los datos no fueron los correctos, anomalías en el valor de humedad relativa.		

**Tabla 6 Registro de riesgos en fase de análisis de datos**

*Fuente: Autor*

### 3.1.2 Análisis de riesgos

Después de la fase de identificación de los riesgos, se evalúa la amenaza que suponen los riesgos detectados previamente, estimando:

- El nivel de probabilidad de la realización efectiva del riesgo (probabilidad de aparición) y, en caso de que se produzca.
- La importancia de su impacto en el proyecto (p.ej. retraso, costes adicionales, deterioro de la calidad, etc.)

Se establece una escala para la probabilidad de aparición de los riesgos:

	Probabilidad Elevada (E)	Probabilidad Moderada (M)	Probabilidad Leve (L)
Aparición del riesgo	Casi segura (70-99%) Escala 3	Media (30-69%) Escala 2	Poco Probable (<30%) Escala 1

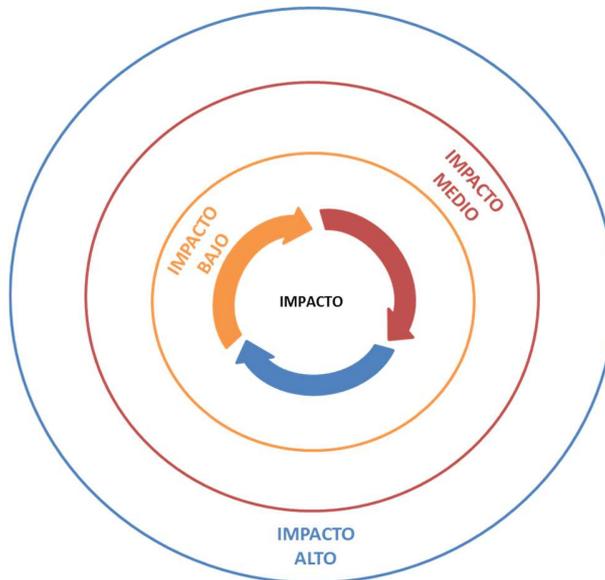
**Tabla 7 Niveles de probabilidad**

**Fuente: Autor**

Tanto la probabilidad como el impacto de cada riesgo se les asigna valores estimados que se transforman utilizando una escala de evaluación (p.ej., elevado=3, moderado=2, leve=1).

Para la estimación del impacto se definen dos técnicas diferentes: una basadas en activos del proceso y una para aquellos riesgos que están relacionados con las condiciones climáticas.

Para los riesgos relacionados con los activos<sup>99</sup> del proceso (en las fases de instrumentación, vuelo y análisis de datos), se ubica cada activo dentro de los anillos concéntricos según su grado de dependencia para el éxito del proceso. Entre más alejado del centro se ubique el activo, mayor será el impacto (escala 3) mientras más cerca del centro menor impacto (escala 1).



**Figura 19 Anillos para la el impacto**

**Fuente: Autor**

<sup>99</sup> Es decir que la causa o la consecuencia del riesgo están asociadas a daños o fallas en la electrónica (activo) indispensable para la medición mediante UAV.

Para los riesgos relacionados con las condiciones climáticas, importantes para la fase de vuelo exclusivamente<sup>100</sup>, se recomienda usar información climatológica provista por el IDEAM, de los tres últimos días así:

	Probabilidad Elevada (E)	Probabilidad Moderada (M)	Probabilidad Leve (L)
Horas de precipitación	Casi segura (> 4 horas) Escala 3	Media (2 a 4 horas) Escala 2	Poco Probable (<2 horas) Escala 1

**Tabla 8 Niveles de probabilidad para condiciones climáticas**

*Fuente: Autor*

Al multiplicar los valores de la probabilidad y del impacto, se obtiene la gravedad del riesgo, una medida que define la amenaza que supone el riesgo. Con la ayuda de la matriz de probabilidad e impacto, se determinan a continuación los niveles de gravedad que permiten cualificar los riesgos (elevado, moderado y leve).

Probabilidad	E	3	6	9
	M	2	4	6
	L	1	2	3
		L	M	E
		Impacto		

**Tabla 9 Matriz probabilidad – impacto**

*Fuente: Autor*

Esto permite constatar claramente dónde se debe aplicar la cobertura de riesgos en primer lugar. Esta matriz indica la gravedad de los riesgos (impacto \* probabilidad). De este modo, podrá determinar qué gravedad corresponde a un riesgo elevado (rojo), moderado (amarillo) y leve (verde), lo que resulta esencial para elaborar medidas.

<sup>100</sup> Las condiciones climáticas no son relevantes para la fase de instrumentación y análisis de datos, y solo son tenidas en cuenta en la fase de vuelo, pues no se puede llevar a cabo el vuelo con humedad relativa elevada debido a las inminentes fallas electrónicas que causa en el UAV.

Ahora, se puede evaluar los distintos riesgos del registro del siguiente modo:

- Se estima la probabilidad de aparición según la escala de evaluación y registre el valor en el listado de riesgos.
- Se estima el impacto según la escala de evaluación y registre el valor en el listado de riesgos.
- Multiplicando los valores de probabilidad e impacto, se obtiene la gravedad de los riesgos. Esto último permite comparar los riesgos y detectar los principales (según la matriz de probabilidad e impacto), donde la prioridad es la probabilidad\*impacto.

Registro de riesgos				
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos		
Nº	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Prioridad
1				
2				
3				
4				
5				

*Tabla 10 Registro de riesgos con probabilidad - impacto – prioridad*

*Fuente: Autor*

Para los riesgos no relacionados con las condiciones climáticas se sugiere la siguiente técnica planteada para la estimación de la probabilidad de riesgos en las diferentes fases (instrumentación, vuelo y análisis de datos), la cual consiste en determinar la probabilidad de que un riesgo suceda en base a los resultados que se han obtenido de las experiencias anteriores.

A cada uno de los riesgos se le estima una probabilidad  $P_i$ , y al finalizar el proyecto se registra la probabilidad real  $P_i^*$ , que será igual a cero si el riesgo no se materializo en el proyecto  $P_i$  e igual a 1 si se materializo, esta estrategia se diseñó basado en los conceptos de probabilidad condicional<sup>101</sup>, es decir la probabilidad de ocurrencia de un evento, dado que se dio otro evento. En el caso particular la probabilidad de que se materialice un riesgo puntual en el proyecto  $P_i$  dado que se materializó (1) o no (0) en el proyecto inmediatamente anterior  $P_{i-1}$ .

Por ejemplo, debido a que en el primer proyecto (P1) no se tiene ningún valor anterior se supone que la probabilidad de que cualquiera de los riesgo identificados suceda es el 50% o 0,5 (o cualquier otro valor que por experiencia estime el encargado del proceso de estimación de riesgos), al finalizar el proyecto (P1) se registra para el valor de  $P1^*$  (probabilidad real) se le da un valor de 0 (0%) si el riesgo no materializó o de 1 (100%) si

<sup>101</sup> Probabilidad condicional es la probabilidad de que ocurra un evento A, sabiendo que también sucede otro evento B. La probabilidad condicional se escribe  $P(A \wedge B)$ , y se lee «la probabilidad de A dado B»

el riesgo se materializó, la probabilidad estimada para ese riesgo en el proyecto P2 se calcula mediante el promedio de P1 y P1\*  $(P1+P1^*)/2$ , lo cual conlleva continuamente a focalizar los esfuerzos en los riesgos que comúnmente se presenten.

Probabilidad de riesgos									
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo							
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*
1		0,5							
2		0,5							
3		0,5							
4		0,5							
5		0,5							

*Tabla 11 Probabilidad de riesgo*

*Fuente: Autor*

### 3.1.2.1 Instrumentación

Basado en los riesgos identificados, el proceso de análisis de riesgos en las tres fases se calcula con la técnica propuesta que no depende de las condiciones climáticas.

Estimación de probabilidad de riesgos en fase de Instrumentación									
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo							
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*
1	Hélices desbalanceadas, hélices rotas, perfil o paso no apto para el UAV.	0,5							
2	El GPS no funciona correctamente, no enlaza con los satélites.	0,5							
3	La memoria SD no graba datos, no deja formatear en formato necesario.	0,5							
4	El ARDUINO no funciona, no prende, no programa.	0,5							
5	Speed control o control de velocidad no funciona, no se deja programar, no controla la velocidad.	0,5							
6	Servomotor defectuoso, no gira o gira descontroladamente.	0,5							
7	Incorrecto GC - Centro de gravedad del UAV	0,5							
8	Sensor MQ4 no funciona, se satura, datos erróneos.	0,5							
9	Sensor DTH11 no funciona, datos erróneos.	0,5							
10	Batería de control no funciona, se descarga rápidamente, no enciende la electrónica.	0,5							
11	Batería de motores, no funciona, se descarga rápidamente, los motores no funcionan con la potencia adecuada.	0,5							

*Tabla 12 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de instrumentación*

*Fuente: Autor*

El siguiente modelo basado en activos para el impacto planteado muestra un diagrama donde se evidencia una serie de anillos alrededor de su centro denominado impacto en fase de instrumentación del UAV, a medida que se aleja del centro el impacto aumenta, por ejemplo elementos como baterías, motores hélices y controles de velocidad son componentes electrónicos y electromecánicos que se importan, luego estos procesos pueden tardar varias semanas incluso meses; a medida que se acerca al centro el impacto disminuye como lo son el ARDUINO o la memoria SD que son componentes netamente electrónicos que se consiguen en el mercado nacional.

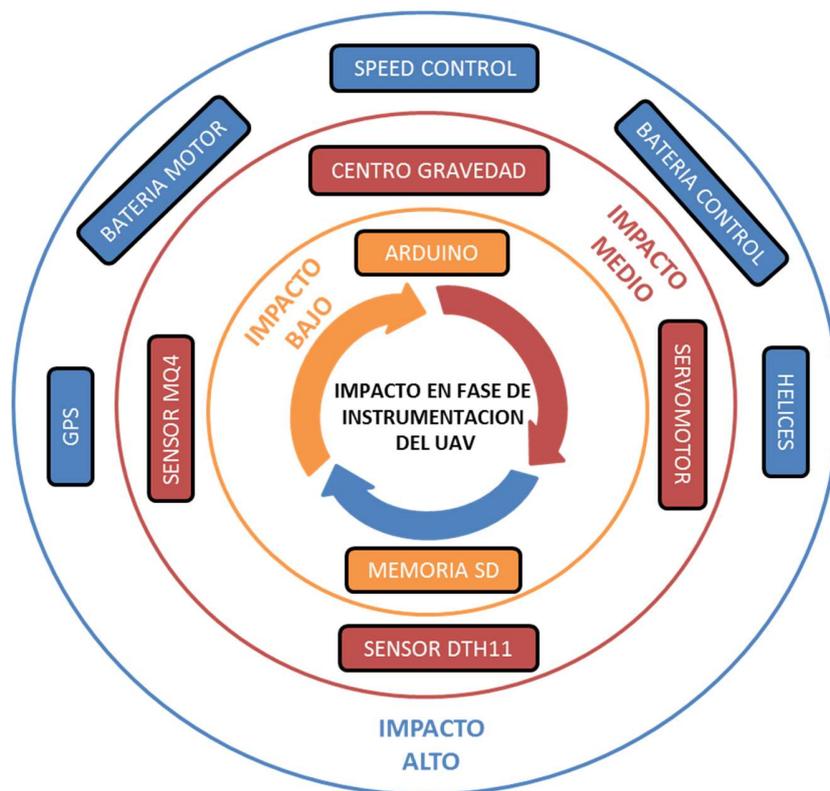


Figura 20 Estimación de impacto para fase de instrumentación

Fuente: Autor

Registro de riesgos en fase de instrumentación				
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos		
Nº	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Prioridad
1	Hélices desbalanceadas, hélices rotas, perfil o paso no apto para el UAV.	2	3	6
2	El GPS no funciona correctamente, no enlaza con los satélites.	2	3	6
3	La memoria SD no graba datos, no deja formatear en formato necesario.	1	1	1
4	El ARDUINO no funciona, no prende, no programa.	2	1	2
5	Speed control o control de velocidad no	2	3	6

	funciona, no se deja programar, no controla la velocidad.			
6	Servomotor defectuoso, no gira o gira descontroladamente.	3	2	6
7	Incorrecto GC - Centro de gravedad del UAV	1	2	2
8	Sensor MQ4 no funciona, se satura, datos erróneos.	1	2	1
9	Sensor DTH11 no funciona, datos erróneos.	1	2	2
10	Batería de control no funciona, se descarga rápidamente, no enciende la electrónica.	2	3	6
11	Batería de motores, no funciona, se descarga rápidamente, los motores no funcionan con la potencia adecuada.	2	3	6

*Tabla 13 Evaluación de riesgos en fase de instrumentación*

*Fuente: Autor*

### 3.1.2.2 Vuelo

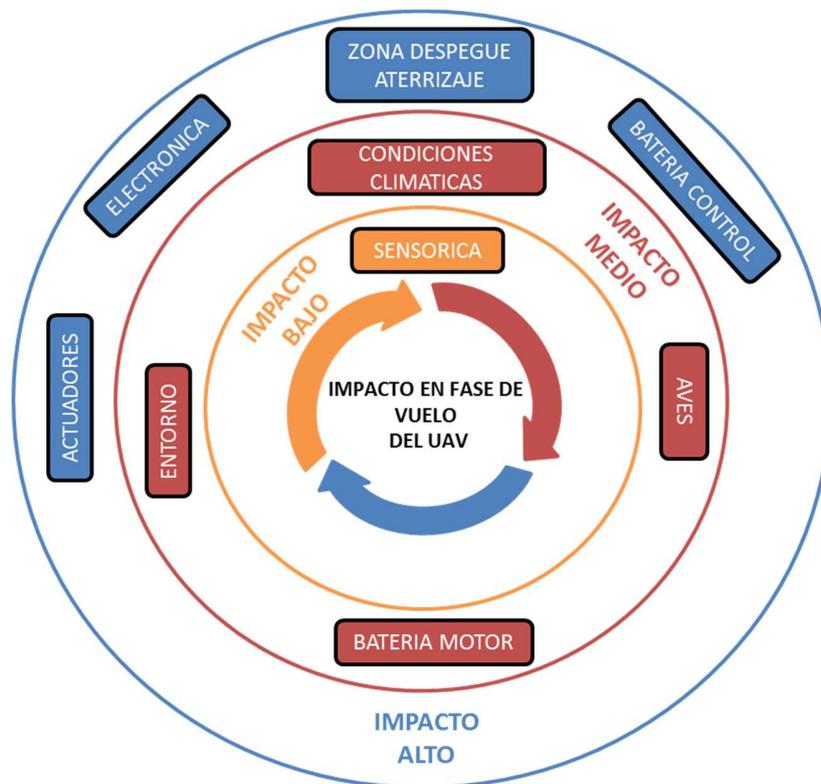
La valoración de riesgos en la fase de vuelo aplica las dos técnicas sugeridas, una para los riesgos asociados a las condiciones climáticas, en este caso el riesgo 1, y la otra técnica para los demás riesgos.

Estimación de probabilidad de riesgos en fase de vuelo									
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo							
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*
1	Muy altas o elevadas velocidades del viento, turbulencias inesperadas.	0,5							
2	Baja carga de la batería de los motores, pérdida de potencia en los motores.	0,5							
3	Baja carga de la batería de control, pérdida de señales en el aire.	0,5							
4	Entorno con muchos árboles, poca visibilidad, muy oscuro.	0,5							
5	Zona de despegue o aterrizaje no apta, pista no plana para el aterrizaje, entrada de aterrizaje complicada.	0,5							
6	Aves en la zona de vuelo, muchos chulos u otra clase de aves que impacten o atraigan a l UAV.	0,5							
7	La electrónica falla, pérdida de control del UAV.	0,5							
8	Sensoria falla, no se puede leer temperatura y/o humedad, gas metanos, no se registran datos.	0,5							
9	Los actuadores no funcionan, el avión no se puede controlar.	0,5							

*Tabla 14 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de vuelo*

*Fuente: Autor*

El siguiente modelo basado en activos<sup>102</sup> del proceso en cada fase, para el impacto planteado muestra un diagrama donde se evidencia una serie de anillos alrededor de su centro denominado impacto en fase de vuelo del UAV, a medida que se aleja del centro el impacto aumenta, por si llegasen a fallar elementos como los actuadores del UAV, la electrónica, la batería del control del avión, o una zona de despegue o aterrizaje muy complicada la cual podría causar impactos muy altos como incluso la construcción e instrumentación de un nuevo avión, lo cual implica importar nuevamente muchos componentes; elementos como las condiciones climáticas, el entorno y la batería del motor son elementos que se pueden manejar o controlar dependiendo de la situación que se presente, a medida que se acerca al centro el impacto disminuye como lo son cualquier inconveniente que se presente en la fase de sensoria del UAV, lo cual solo llevaría un retraso en el proyecto.



*Figura 21 Estimación de impacto para fase de vuelo*

*Fuente: Autor*

<sup>102</sup> Un activo del proceso se refiere a una componente hardware o software que sea vital para la culminación exitosa de la fase del proyecto. Por lo tanto todo riesgo identificado estará asociado a uno o varios de estos activos, excepto los riesgos de fuentes externas como el clima

Registro de riesgos en fase de vuelo				
Determinación de riesgos		Evaluación de Riesgos		
Nº	Riesgo	Probabilidad	Impacto	Prioridad
1	Muy altas o elevadas velocidades del viento, turbulencias inesperadas, lluvias	2	2	4
2	Baja carga de la batería de los motores, pérdida de potencia en los motores.	2	2	4
3	Baja carga de la batera de control, pérdida de señales en el aire.	1	3	3
4	Entorno con muchos árboles, poca visibilidad, muy oscuro.	2	2	4
5	Zona de despegue o aterrizaje no apta, pista no plana para el aterrizaje, entrada de aterrizaje complicada.	2	3	6
6	Aves en la zona de vuelo, muchos chulos u otra clase de aves que impacten o atraigan a l UAV.	1	3	3
7	La electrónica falla, pérdida de control del UAV.	2	3	6
8	Sensoria falla, no se puede leer temperatura y/o humedad, gas metanos, no se registran datos.	2	1	2
9	Los actuadores no funcionan, el avión no se puede controlar.	2	3	6

*Tabla 15 Evaluación de riesgos en fase de vuelo*

*Fuente: Autor*

### 3.1.2.3 Análisis de datos

Con el registro del comportamiento de la probabilidad en proyectos anteriores, se estima la probabilidad de los riesgos en el proyecto de medición a realizar.

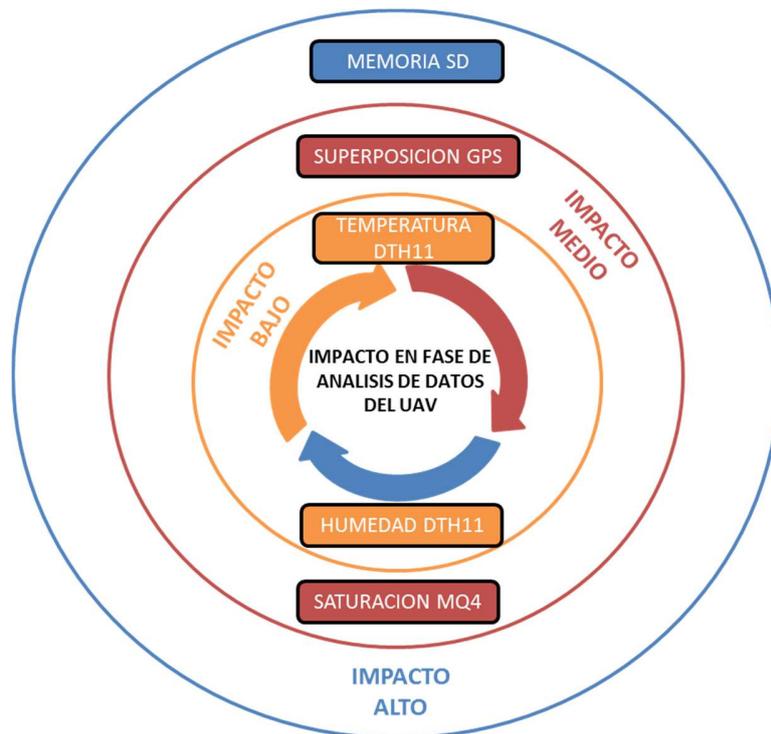
Estimación de probabilidad de riesgos en fase de análisis de datos									
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo							
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*
1	Memoria SD no grabo o registro datos, datos incompatibles, datos erróneos.	0,5							
2	Las coordenadas del GPS se repiten, muchos datos son repetidos constantemente.	0,5							
3	Los datos del sensor MQ4 se repiten después de 10 minutos de vuelo, valor de datos constante.	0,5							
4	La temperatura que provee el sensor DTH11 no es correcta, los datos no fueron los correctos, anomalías en el valor de la temperatura.	0,5							
5	La humedad relativa que provee el sensor DTH11 no es correcta, los datos no fueron los correctos, anomalías en el valor de humedad relativa.	0,5							

*Tabla 16 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de análisis de datos*

*Fuente: Autor*

El siguiente modelo a medida que se aleja del centro el impacto aumenta, por ejemplo datos almacenados en la memoria SD que no hayan sido grabados correctamente o en sus

respectivos formatos no sirven de nada para el proyecto, luego este tipo de inconvenientes pueden atrasarnos en el desarrollo del proyecto días o semanas; impactos medios son los relacionados con superposición de coordenadas en el GPS lo cual obliga a filtrar este tipo de datos para su posterior análisis; a medida que se acerca al centro el impacto disminuye como lo son datos perdida de datos o datos erróneos de temperatura y/o humedad que no van a repercutir en nada en el desarrollo de nuestro proyecto.



*Figura 22 Estimación de impacto para fase de análisis de datos*

*Fuente: Autor*

### 3.1.3 Definición de planes de respuesta

En el caso de los principales riesgos detectados en la fase anterior, se elaboran medidas para reducir la amenaza que suponen. La aplicación de estas medidas se supervisa de forma permanente durante el proyecto.

Para cada riesgo, y de común acuerdo con las partes interesadas, se fija una de las tres estrategias de respuesta siguientes:

- Evitar el riesgo: asegurarse mediante medidas apropiadas de que no tenga lugar el riesgo.

- Disminuir el riesgo: disminuir la probabilidad, el impacto o ambos mediante medidas apropiadas.
- Aceptar el riesgo: convivir con el riesgo de forma consciente. Planificar por precaución medidas de urgencia, reservas pecuniarias, un margen en los plazos para dar cabida al riesgo, etc.

El desarrollador del proyecto (piloto) es la persona responsable de los riesgos para aplicar las medidas y supervisar los riesgos.

Este responsable hace un seguimiento de la evolución de los riesgos basándose en indicadores que le avisan, mediante criterios de desencadenamiento, en caso de que un riesgo amenace con producirse, de modo que pueda actuar en consecuencia.

Toda la información se anota en el registro de riesgos.

### **¿Cómo se pueden minimizar los riesgos del proyecto?**

1. Se fijan las estrategias de respuesta que se deben aplicar para cada riesgo importante según el registro de riesgos:

- Evitar el riesgo
- Disminuir el riesgo
- Aceptar el riesgo

2. Se fijan las medidas para cada riesgo, con el objeto de:

- Disminuir la probabilidad de aparición
- Reducir el impacto en caso de aparición

3. Se ajusta el plan del proyecto teniendo en cuenta estas medidas.

4. Se asigna un responsable a cada riesgo (persona encargada del riesgo).

5. Se fija por cada riesgo indicadores (señales de aviso, síntomas) y criterios de desencadenamiento que le indiquen permanentemente, mientras dure el proyecto, si un riesgo amenaza con ocurrir.

6. Se elaboran escenarios (reservas de seguridad, planes de urgencia, planes complementarios, etc.) para los riesgos aceptados: ¿qué se debe hacer si el riesgo se produce?

7. De acuerdo con el presupuesto del proyecto, debe tener en cuenta costes relativos a medidas contra los riesgos y planes de urgencia.

### 3.1.3.1 Instrumentación

A partir del registro de riesgos establecido después de su evaluación, el jefe de proyecto ha fijado estrategias de respuesta, según se indica a continuación, si posee uno o más riesgos adicionar a la siguiente tabla:

Riesgos en fase de instrumentación							
Determinación y análisis			Plan de cobertura de riesgos				
Nº	Riesgo	Prioridad	Estrategia	Medida	Persona Encargada	Indicador (señal, síntoma)	Desenca delante
1	Hélices defectuosas, rotas, desbalanceadas o no aptas para el UAV	4	Evitar	Corregir daño o realizar nueva importación	Piloto, proveedor	Avión vibra demasiado, empuje leve.	Retraso > 1 semanas, costos adicionales
2	El GPS no funciona correctamente, no enlaza con los satélites	6	Evitar	Corregir daño o realizar nueva importación	Piloto, proveedor	No parpadea luz de enlace, datos erróneos	Retraso > 3 semanas, costos adicionales
3	La memoria SD no graba datos, formato necesario no valido.	2	Evitar	Revisar programación, comprar una nueva	Piloto	Datos nulos o erróneos	Costos adicionales
4	El ARDUINO no funciona, enciende, no programa.	4	Evitar	Revisar programación, comprar uno nueva	Piloto, proveedor	Nula registro de variables	Retraso > 2 semana, costos adicionales
5	Speed control o control de velocidad no funciona	6	Evitar	Revisar programación, comprar uno nueva	Piloto, proveedor	El motor no enciende, el motor gira mal	Retraso > 1 semanas, costos adicionales
6	Servomotor defectuoso	2	Evitar	Adquirir uno nuevo	Piloto, proveedor	No gira los grados adecuados	Retraso > 2 semanas, costos adicionales
7	Incorrecto GC - Centro de gravedad del UAV	3	Evitar	Balancear nuevamente el GC.	Piloto	Avión tira adelante o atrás, es inestable	Retraso > 3 días
8	Sensor MQ4 no funciona.	3	Evitar	Adquirir nuevo	Piloto proveedor	Datos de gas metano erróneos	Retraso > 1 semanas, costos adicionales
9	Sensor DTH11 no funciona.	3	Evitar	Adquirir nuevo	Piloto, proveedor	Datos de humedad y/o temperatura incorrectos	Retraso > 1 semanas, costos adicionales

10	Batería de control no funciona	3	Evitar	Adquirir nuevo	Piloto, proveedor	Ningún actuador de mueve, no hay registro de datos	Retraso > 3 semanas, costos adicionales
11	Batería de motores no funciona	3	Evitar	Adquirir nuevo	Piloto, proveedor	Los motores no girar, no aguanta nada el vuelo	Retraso > 3 semanas, costos adicionales

**Tabla 17 Plan de respuesta en fase de instrumentación**

*Fuente: Autor*

### 3.1.3.2 Vuelo

A partir del registro de riesgos establecido después de su evaluación, el jefe de proyecto ha fijado estrategias de respuesta, según se indica a continuación, si posee uno o más riesgos adicionar a la siguiente tabla:

Riesgos en fase de vuelo							
Determinación y análisis			Plan de cobertura de riesgos				
Nº	Riesgo	Prioridad	Estrategia	Medida	Persona Encargada	Indicador (señal, síntoma)	Desenca delante
1	Altas velocidades del viento, turbulencias inesperadas.	6	Evitar	Aplazar vuelo o esperar que el viento baje	Piloto	Avión inestable, condición no apta de vuelo	Retraso > 1 día
2	Baja carga de la batería de los motores	9	Aceptar	Aterrizar urgentemente	Piloto	Baja potencia en los motores	Retraso > 2 meses, costos adicionales
3	Baja carga de la batería de control	9	Aceptar	Aterrizar urgentemente	Piloto	El avión no responde	Retraso > 3 meses, costos adicionales
4	Entorno con muchos árboles, poca visibilidad, muy oscuro.	6	Evitar	Buscar otro lugar para el vuelo	Piloto	Poca visibilidad, zona no apta para volar, choque con aves	Retraso > 1 semana,
5	Zona de despegue o aterrizaje no apta	6	Evitar	Buscar otro lugar para el despegue o aterrizaje	Piloto	Imposible despegar o aterrizar	Retraso > 1 semana,
6	Aves en la zona de vuelo	6	Evitar	Espantar aves,	Piloto	Colisión con aves,	Retraso > 1 semana,

				buscar otro lugar para el vuelo		alteración de la visibilidad	
7	La electrónica falla	6	Aceptar	Aterrizar urgentemente si alcanza	Piloto	Pérdida de control del avión	Retraso > 4 meses, costos adicionales
8	Sensorica falla	3	Aceptar	Realizar nuevo vuelo	Piloto	Datos de gas metano, humedad y/o temperatura erróneos	Retraso > 1 semana
9	Los actuadores no funcionan	9	Aceptar	Aterrizar de emergencia si puede	Piloto	Avión no responde, pérdida de alerones	Retraso > 4 meses, costos adicionales

**Tabla 18 Plan de respuesta en fase de vuelo**

**Fuente: Autor**

### 3.1.3.3 Análisis de datos

A partir del registro de riesgos establecido después de su evaluación, el jefe de proyecto ha fijado estrategias de respuesta, según se indica a continuación, si posee uno o más riesgos adicione a la tabla:

Riesgos en fase de análisis de datos							
Determinación y análisis			Plan de cobertura de riesgos				
Nº	Riesgo	Prioridad	Estrategia	Medida	Persona Encargada	Indicador (señal, síntoma)	Desenca delante
1	Memoria SD no graba datos	9	Aceptar	Verificar correcto funcionamiento del dispositivo antes del vuelo	Piloto	Adquirir una nueva y realizar nuevo vuelo	Retraso > 1 semana
2	Las coordenadas del GPS se repiten	6	Aceptar	Verificar correcto funcionamiento del dispositivo antes del vuelo	Piloto	Filtrar y clasificar datos, realizar nuevo vuelo	Retraso > 1 semana
3	Los datos del sensor MQ4 se repiten después de 10 minutos de vuelo	6	Aceptar	No volar más de 10 min	Piloto	Datos saturados o iguales después de cierto valor	Retraso > 1 semana
4	La temperatura que provee el	3	Aceptar	Volar en el rango de	Piloto	Datos nulos o	Alcance

	sensor DTH11 no es correcta.			temperatura adecuado para el sensor, verificar correcto funcionamiento antes del vuelo		erróneos	
5	La humedad que provee el sensor DTH11 no es correcta.	6	Aceptar	Volar en el rango de humedad adecuado para el sensor, verificar correcto funcionamiento antes del vuelo	Piloto	Datos nulos o erróneos	Alcance

*Tabla 19 Plan de respuesta en fase de análisis de datos*

*Fuente: Autor*

### **3.2 Validación del método propuesto**

El relleno sanitario “la cortada” empezó a servir a la comunidad a principios de los años noventa bajo la operación de la administración municipal (Araque, 2013).

Deficiencias en la operación lo llevaron a convertirse en un botadero de basura sin orientación alguna, causando problemas que derivaron en severos inconvenientes técnicos y ambientales.

La indebida operación del relleno sanitario origino la acumulación de residuos sin compactar, lo cual llevo a un problema de estabilidad, generando la caída de material en volúmenes significativos. Esta situación trajo como consecuencia la proliferación de vectores, olores desagradables, la contaminación ambiental y la inutilización del espacio.

A partir de 1997 el relleno sanitario pasa a ser administrado y operado por EMPOPAMPLONA S.A E.S.P.

El relleno sanitario llego a su máxima capacidad, situación que obligo a realizar un estudio e implementación para la ampliación, buscando habilitar el relleno sanitario aledaño al anterior por un periodo de tiempo más amplio.

En la actualidad se maneja un relleno sanitario regional, adecuada a las normas técnicas, no solo es construcción sino cumpliendo con todos los parámetros ambientales estipulados por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, el cual beneficia la calidad de vida de los habitantes, el impacto sobre el medio ambiente y aprovechamiento de recursos para la reutilización.

El lugar recibe entre 20 y 25 toneladas semanales de residuos provenientes de municipios de Pamplona como Pamplonita, Silos, Chitaga, La Bateca, Mutiscua, Toledo y Cacota (Araque, 2013).

### 3.2.1 Riesgos en fase de Instrumentación

#### 3.2.1.1 Primeros dos proyectos

En los dos primeros proyectos realizados en el año 2014 no se tenía un método para ser aplicado, esta ejecución de los dos primeros proyectos sirvió para identificar los riesgos en la fase de instrumentación y construcción de la herramienta del anillo de impacto en la misma fase.

#### 3.2.1.2 Últimos dos proyectos

La siguiente tabla contiene los riesgos definidos en la etapa de instrumentación, los cuales se registraron respectivamente y será igual a cero si el riesgo no se materializo en el proyecto e igual a 1 si se materializo, se registra la tabla para los proyectos 3 y 4, también se obtiene la probabilidad estimada para cada riesgo en el siguiente proyecto (P5).

Estimación de probabilidad de riesgos en fase de Instrumentación para los 4 proyectos										
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo								
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*	P5
1	Hélices desbalanceadas, hélices rotas, perfil o paso no apto para el UAV.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
2	El GPS no funciona correctamente, no enlaza con los satélites.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
3	La memoria SD no graba datos, no deja formatear en formato necesario.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
4	El ARDUINO no funciona, no prende, no programa.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
5	Speed control o control de velocidad no funciona, no se deja programar, no controla la velocidad.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
6	Servomotor defectuoso, no gira o gira descontroladamente.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
7	Incorrecto GC - Centro de gravedad del UAV	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
8	Sensor MQ4 no funciona, se satura, datos erróneos.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
9	Sensor DTH11 no funciona, datos erróneos.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
10	Batería de control no funciona, se descarga rápidamente, no enciende la electrónica.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
11	Batería de motores, no funciona, se descarga rápidamente, los motores no funcionan con la potencia adecuada.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13

*Tabla 20 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de instrumentación para los 4 proyectos*

*Fuente: Autor*

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de instrumentación y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1 y 2), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto.

Probabilidad	E			
	M	R3,R4,	R6,R7,R8, R9,	R1,R2,R5, R10,R11
	L			
		L	M	E
		Impacto		

**Tabla 21** Matriz probabilidad - impacto, proyectos 1 y 2 en fase de instrumentación

*Fuente: Autor*

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de instrumentación y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1, 2 y 3), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto, además se evidencia como los riesgos cambian de posición, lo cual indica si se vuelven más o menos prioritarios.

Probabilidad	E			
	M			
	L	R3,R4,	R6,R7, R8,R9	R1,R2, R5, R10, R11
		L	M	E
		Impacto		

**Tabla 22** Matriz probabilidad - impacto, proyecto 3 en fase de instrumentación

*Fuente: Autor*

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de instrumentación y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1, 2, 3 y 4), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto; además se evidencia como los riesgos cambian de posición, lo cual indica si se vuelven más o menos prioritarios.

Probabilidad	E			
	M			
	L	R3,R4,	R6,R7, R8,R9	R1,R2, R5, R10, R11
	L	M	E	
	Impacto			

*Tabla 23 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 4 en fase de instrumentación*

*Fuente: Autor*

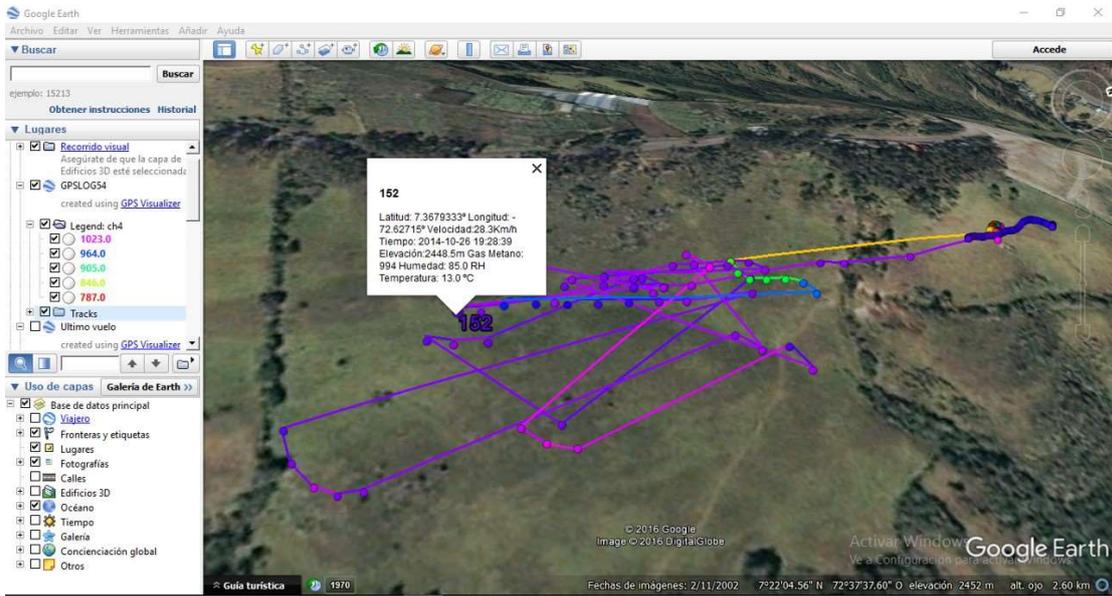
### 3.2.2 Riesgos en fase de vuelo

En los dos primeros proyectos realizados en el año 2014 no se tenía un método para ser aplicado, esta ejecución de los dos primeros proyectos sirvió para identificar los riesgos en la fase de vuelo y construcción de la herramienta del anillo de impacto en la misma fase.

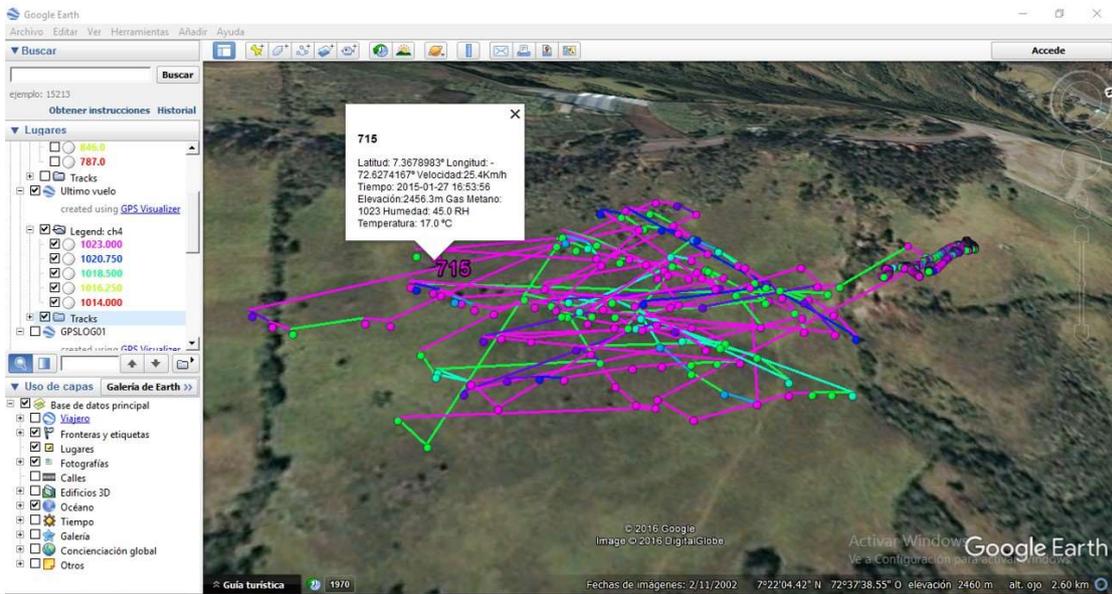
#### 3.2.2.1 Primeros dos proyectos

La siguiente grafica muestra la ruta de vuelo seguida por el UAV en el proyecto 1 y 2.

En el primer proyecto realizado se presentó y registró un accidente, donde el UAV sufrió fractura en una de sus alas debido a volar a muy baja altura (menos de 20 metros), este riesgo se tuvo en cuenta en los siguientes proyectos realizados evitando nuevos daños en la aeronave.



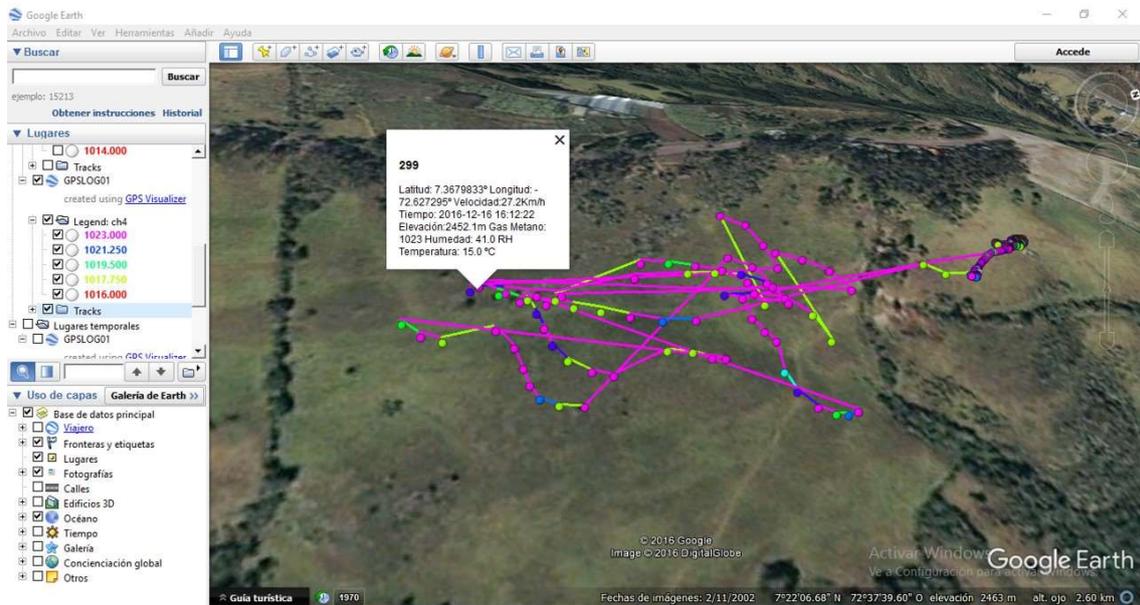
**Figura 23 Datos de contaminación en proyecto 1**  
**Fuente: Autor – Google Earth**



**Figura 24 Datos de contaminación en proyecto 2**  
**Fuente: Autor – Google Earth**

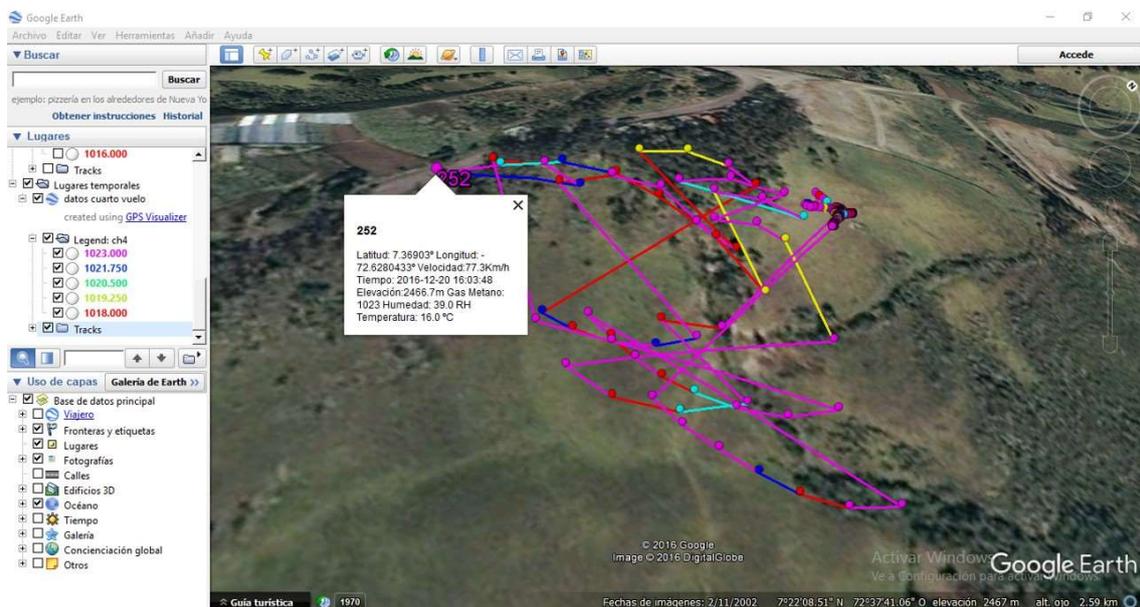
### 3.2.2.2 Últimos dos proyectos

La siguiente grafica muestra la ruta de vuelo seguida por el UAV en el proyecto 3.



**Figura 25** Datos de contaminación en proyecto 3

Fuente: Autor – Google Earth



**Figura 26** Datos de contaminación en proyecto 4

Fuente: Autor – Google Earth

Estimación de probabilidad de riesgos en fase de vuelo para los 4 proyectos										
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo								
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*	P5
1	Muy altas o elevadas velocidades del viento, turbulencias inesperadas.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,75	1	0,88
2	Baja carga de la batería de los motores, pérdida de potencia en los motores.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,75	1	0,88
3	Baja carga de la batera de control, pérdida de señales en el aire.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
4	Entorno con muchos árboles, poca visibilidad, muy oscuro.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
5	Zona de despegue o aterrizaje no apta, pista no plana para el aterrizaje, entrada de aterrizaje complicada.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
6	Aves en la zona de vuelo que impacten o atraigan al UAV.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,75	1	0,88
7	La electrónica falla, pérdida de control del UAV.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
8	Sensoria falla, no se puede leer temperatura y/o humedad, gas metanos, no se registran datos.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,75	0	0,13
9	Los actuadores no funcionan, el avión no se puede controlar.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13

*Tabla 24 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de vuelo para los 4 proyectos*

*Fuente: Autor*

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de vuelo y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1 y 2), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto.

Probabilidad	E			
	M	R8	R1,R2,R4, R6	R3,R5,R7, R9
	L			
		L	M	E
		Impacto		

*Tabla 25 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 1 y 2 en fase de vuelo*

*Fuente: Autor*

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de vuelo y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1, 2 y 3), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto, además se evidencia como los riesgos cambian de posición, lo cual indica si se vuelven más o menos prioritarios.

Probabilidad	E	R8	R1,R2, R6,	
	M			
	L		R4	R3,R5, R7,R9
		L	M	E
		Impacto		

**Tabla 26** Matriz probabilidad - impacto, proyecto 3 en fase de vuelo

*Fuente: Autor*

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de vuelo y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1, 2, 3 y 4), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto, además se evidencia como los riesgos cambian de posición, lo cual indica si se vuelven más o menos prioritarios.

Probabilidad	E	R8	R1,R2, R6,	
	M			
	L		R4	R3,R5, R7,R9
		L	M	E
		Impacto		

**Tabla 27** Matriz probabilidad - impacto, proyecto 4 en fase de vuelo

*Fuente: Autor*

### 3.2.3 Riesgos en fase de Análisis de datos

#### 3.2.3.1 Primeros dos proyectos

En los dos primeros proyectos realizados en el año 2014 no se tenía un método para ser aplicado, esta ejecución de los dos primeros proyectos sirvió para identificar los riesgos en la fase de vuelo y construcción de la herramienta del anillo de impacto en la misma fase.

#### 3.2.3.2 Últimos dos proyectos

Estimación de probabilidad de riesgos en fase de análisis de datos para los 4 proyectos										
Determinación de riesgos		Probabilidad del riesgo								
Nº	Riesgo	P1	P1*	P2	P2*	P3	P3*	P4	P4*	P5
1	Memoria SD no grabo o registro datos, datos incompatibles, datos erróneos.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
2	Las coordenadas del GPS se repiten, muchos datos son repetidos constantemente.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,75	1	0,88
3	Los datos del sensor MQ4 se repiten después de 10 minutos de vuelo, valor de datos constante.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
4	La temperatura que provee el sensor DTH11 no es correcta, los datos no fueron los correctos, anomalías en el valor de la temperatura.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13
5	La humedad relativa que provee el sensor DTH11 no es correcta, los datos no fueron los correctos, anomalías en el valor de humedad relativa.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,25	0	0,13

Tabla 28 Estimación de probabilidad de riesgos en fase de análisis de datos para los 4 proyectos

Fuente: Autor

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de análisis de datos y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1 y 2), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto.

Probabilidad	E			
	M	R4,R5	R2,R3	R1
	L			
		L	M	E
		Impacto		

Tabla 29 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 1 y 2 en fase de análisis de datos

Fuente: Autor

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de análisis de datos y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1, 2 y 3), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto, además se evidencia como los riesgos cambian de posición, lo cual indica si se vuelven más o menos prioritarios.

Probabilidad	E		R2	
	M		R3	
	L	R4,R5		R1
	L	M	E	
	Impacto			

Tabla 30 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 3 en fase de análisis de datos

Fuente: Autor

Basados en los anillos de impacto identificados para la fase de análisis de datos y la probabilidad estimada y obtenida en los proyectos anteriores (1, 2, 3 y 4), se clasifico los riesgos en la siguiente tabla de matriz probabilidad – impacto, además se evidencia como los riesgos cambian de posición, lo cual indica si se vuelven más o menos prioritarios.

Probabilidad	E		R2	
	M		R3	
	L	R4,R5		R1
	L	M	E	
	Impacto			

Tabla 31 Matriz probabilidad - impacto, proyecto 4 en fase de análisis de datos

Fuente: Autor

### 3.2.4 Análisis sobre el proceso de validación

Los resultados obtenidos en los cuatro proyectos de medición de contaminación demostraron la viabilidad del uso de UAV para este tipo de procesos.

Con las siguientes ventajas frente a métodos tradicionales:

- El método de planificación de riesgos propuesto permitió obtener muchos más datos de CH<sub>4</sub> en menor tiempo posible respecto a los métodos tradicionales de medición punto a punto en el área topográfica, lo cual ayuda a la no saturación del sensor (máximo 10 minutos) y una mejor calidad en la medida del gas metano.
- Los métodos tradicionales de obtención de medida de gas metano, no permiten obtener mapas aéreos ni ver el sentido de propagación del gas, además las aves presentes en el relleno sanitario representan un estorbo al realizar esta medición; con el UAV se obtienen mapas aéreos no solo de gas metano, sino de temperatura, humedad y posición satelital con una baja interferencia por aves.
- Usando un UAV para la obtención de los datos, el cuerpo humano no está expuesto a tan fuertes olores como la metodología tradicional de toma punto a punto, evitando algún tipo de anomalías en la salud humana como lo son brotes, alergias, manchas o enfermedades originarias por este tipo de exposiciones.

Respecto al método propuesto para la gestión de riesgos se evidenció como principal aporte los procesos de estimación de probabilidad e impacto para los riesgos. Sin embargo la identificación de riesgos se vio favorecida con la lista inicial propuesta.

Se evidencio en las matrices de probabilidad e impacto, como los diferentes riesgos presentes en cada una de las fases del proyecto como instrumentación, vuelo y análisis de datos se van desplazando de su prioridad inicial a regiones de mayor prioridad (color rojo) o menor prioridad (color verde), lo cual permito enfocar constantemente los riesgos con mayor prioridad garantizando exitosamente la realización del proyecto.

Se notó que los riesgos que se materializan en un proyecto, sirven de lección aprendida para el siguiente proyecto, subiendo su nivel de prioridad.

## **4 Conclusiones, Resultados y Trabajos futuros**

Las conclusiones dan respuesta a las preguntas de investigación formadas desde el inicio del proyecto:

¿Porque el uso de UAV es una estrategia viable para la medición de contaminación en rellenos sanitarios?

¿Cuál es el nivel de importancia de la gestión de riesgos dentro de la gestión de proyectos de medición de contaminación?

¿Cuál de los subprocesos de la gestión de riesgos (identificación, análisis y definición de planes de contingencia) requiere de mayor atención en este tipo de proyectos?

De igual manera se obtuvieron algunas conclusiones interesantes en cumplimiento de cada uno de los objetivos.

Los resultados se presentan como productos de las socializaciones realizadas en revistas y eventos académicos en los que fueron presentados partes de la investigación

Finalmente se definieron una serie de trabajos futuros en los que el método de planificación planteado puede ser aplicado en otros contextos, lo cual puede generar investigaciones en otras áreas como ambiental o electrónica.

### **4.1 Conclusiones**

El uso de los UAV resulto ser una estrategia viable ya que se obtienen más datos y de mejor calidad, no se realiza una exposición del cuerpo humano a malos olores, brotes, alergias o enfermedades procedentes por la exposición, y se obtienen mapas aéreos de gas metano, humedad, temperatura y posición satelital respecto al método tradicional de punto a punto, además resulto ser una propuesta innovadora ya que en la literatura consultada sobre medición de contaminación no se tiene registro del uso de estos dispositivos.

Se realizó un análisis de alternativas de UAV como helicópteros o cuadrotores y se consideró que con el uso de estos se pueden alterar las medidas ya que el sensor está ubicado debajo de la aeronave donde las corrientes de aire de sustentación impactan el sensor alterando la medida, el UAV seleccionado de tipo ala delta, es ideal dado que el aire de propulsión sale por la parte trasera de la aeronave, y el sensor ubicado en la punta permite una medición limpia y sin alteraciones.

En proyectos relacionados con medición de contaminación, la fase de riesgos juega un papel importante respecto fases como la calidad, integración, costos, tiempos, comunicación, alcances y recursos humanos, ya que al identificar y planificar los riesgos de una manera óptima se puede llevar el desarrollo del proyecto de una forma exitosa debido a que son proyectos cortos de bajo presupuestos, con pocos miembros (por lo general uno

solo) lo cual no requiere estrategias comunicación ni de gestión de recursos humanos y pocas actividades por lo cual la gestión de tiempos no es crítica.

La revisión exhaustiva de más de 100 artículos demostró que el área de interés de la investigación en gestión de riesgos se centra en la valoración y esta incluye técnicas de estimación de probabilidad e impacto.

El proceso de validación demostró que la estimación de probabilidad e impacto de los riesgos identificados principalmente en la fase de vuelo son de mayor importancia en la realización del proyecto, las fases de instrumentación y análisis de datos no representan una amenaza significativa.

El método de planificación propuesto será de gran utilidad para el análisis de riesgos en este tipo de proyectos de medición de contaminación, el cual puede ser aplicados a otros rellenos sanitarios del departamento, se evidencio que si los niveles de contaminación aumentan sobre los niveles del sensor, se hace necesario utilizar un sensor con un rango más amplio.

Mediante el procedimiento presentado en la fase de análisis de datos se pudo clasificar el relleno sanitario “la cortada” en nivel bajo-medio después de analizar los respectivos datos obtenidos en los cuatro proyectos realizados, además se obtuvo los mapas 3D de los niveles adquiridos en plataformas como Google Earth, que son útiles para identificar zonas de mayor o menor contaminación dentro del relleno sanitario analizado.

Debido a que el metano es un gas de invernadero muy potente, contribuyente clave para el cambio global del clima (más de 21 veces más fuerte que el CO<sub>2</sub>), la vida atmosférica del metano es corta (10 años), lo cual conlleva a mantener una medición constante y eficaz; reducir las emisiones de metano en rellenos sanitarios de residuos sólidos municipales es una de las mejores formas de lograr un impacto benéfico a corto plazo al mitigar el cambio climático global, por tal motivo el método propuesto mediante el uso de UAV es una excelente opción respecto a métodos de medición tradicionales.

## **4.2 Resultados**

Se presentó una ponencia titulada “Medición de contaminación mediante UAV” en el evento IDEAT del primer “Encuentro regional de Innovación y Desarrollo Tecnológico”, realizado los días 21 y 22 de septiembre en la ciudad de Bucaramanga. (Ver anexo A).

Se publicó un artículo titulado “Medición de contaminación mediante UAV” en la revista Mundo Fesc Número 11 Enero-Junio del 2016 ISSN: 2216-0353 E-ISSN: 2216-0388 PP:16-26, Fundación de Estudios Superiores Comfanorte”; Cúcuta, Norte de Santander. (Ver anexo B).

Periódicamente después de cada uno de los 4 vuelos realizados en el relleno sanitario se enviaron los resultados del análisis de datos a la empresa Empopamplona SA. ESP, donde se evidencia un adecuado tratamiento de los desechos de acuerdo a los niveles detectados en la frontera entre nivel bajo y medio.

### **4.3 Trabajos futuros**

El método propuesto puede ser aplicado en otros rellenos sanitarios del departamento (relleno sanitario Guayabal de Cúcuta, ubicado a 10 kms en la vía Puerto Santander en la cual se depositan 780 toneladas diarias de residuos sólidos proveniente de 19 municipios del departamento) teniendo una base muy importante y sólida en los riesgos relacionados con las fases de instrumentación y análisis de datos; las cuales serán de gran ayuda en la aplicación del método, mientras la fase de vuelo es diferente en cada proyecto.

Mantener una medición constante de CH<sub>4</sub> permite a futuro realizar la captura de gas en rellenos sanitarios; la generación de energía a partir de este gas crea varios beneficios ambientales, y las utilidades que provienen de la comercialización de la energía y/o créditos de carbono pueden ayudar a catalizar la construcción y operación adecuadas de instalaciones de disposición definitiva.

Tener un nivel de emisiones controlado directamente reduce las emisiones invernadero. Los rellenos de residuos sólidos municipales son la mayor fuente de emisiones de metano creada por seres humanos. Dado que todos los rellenos sanitarios generan metano, es lógico utilizar el gas para un buen fin como generar energía, siempre que sea lógico en términos económicos.

Un proyecto de medición de contaminación, ayudaría a evaluar los efectos a la salud que pueden resultar de la exposición a niveles bajos de aire contaminado, producto del venteo de los gases de un relleno sanitario ya que existen varios estudios en el mundo que dan cuenta del impacto que pueden tener los rellenos sanitarios en la salud de la población cercana. Solo con un buen mantenimiento y operación de un relleno sanitario, este no se convertiría en un problema de salud pública.

## 5 Bibliografía

Aerocam Colombia. (n.d.). Retrieved from <http://aerocam-solutions.com>

Akmen, A. ., & AztaAY, A. . (2014). Uncertainty evaluation with fuzzy schedule risk analysis model in activity networks of construction projects. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 56(2), 9–20. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84908374270&partnerID=40&md5=f5d798d1f0035f4e0fd2ba15c979b38f>

Alberts C., & D. A. (2001). An Introduction to the OCTAVE Method: Carnegie Mellon University, Software Engineering Institute.

Altabbakh, H. ., Murray, S. ., Grantham, K. ., & Damle, S. . (2013). Variations in risk management models: A comparative study of the space shuttle challenger disaster. *EMJ - Engineering Management Journal*, 25(2), 13–24. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880517258&partnerID=40&md5=d468986c121ca1382d0cd08b2afffc62>

Alvehag, K., & Sander, L. (2011). Risk-based method for distribution system reliability investment decisions under performance-based regulation. *IET Generation, Transmission and Distribution*, 5(10), 1062–1072. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-80053515792&partnerID=40&md5=fa2254b9df70573a07aa09f34fcffb13>

Araque, F. J. (2013). *Informe de visita relleño sanitario la cortada*.

Ardeshir, A. ., Maknoon, R. ., Rekab Islamizadeh, M. ., & Jahantab, Z. . (2014). Safety risk assessment effective on occupational health in high-rise building construction projects with fuzzy approach. *Iran Occupational Health*, 11(3), 82–95. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84910606599&partnerID=40&md5=985a8f436f7350b4643d624f4abd514e>

Badri, A. ., Nadeau, S. ., & Gbodossou, A. . (2012). Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation. *Accident Analysis and Prevention*, 48, 223–234. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861872098&partnerID=40&md5=da85f89a380dbdbf804a1fa699b155da>

Baydoun, M. (2014). Opposing risk management theories: The context of large-scale projects. *International Journal of Business Performance Management*, 15(3), 229–242. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903942670&partnerID=40&md5=52bc0acd51a8ba2744eec4f7f55bdbec>

Berlec, T., Starbek, M., Duhovnik, J., & Kuar, J. (2014). Risk management of cyclically recurring project activities of product realisation. *Journal of Integrated Design and*

- Process Science*, 18(3), 59–72. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84907533586&partnerID=40&md5=be22e1a3e3560d64a4d98aa0f788486a>
- Bijaska, J., & Wodarski, K. (2014). Risk management in the planning of development projects in the industrial enterprises. *Metalurgija*, 53(2), 276–278. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887342133&partnerID=40&md5=6f862f47e8b9e8496b0c1eb96932eb7e>
- Boehm, B. (1991). Software risk management principles and practices. *IEEE Software* 8 (1), 3241.
- Bowers, J. ., & Khorakian, A. . (2014). Integrating risk management in the innovation project. *European Journal of Innovation Management*, 17(1), 25–40. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84890889040&partnerID=40&md5=7ca600ab4a458d906254e61fb335b9f9>
- Cardenas, I. C. ., Al-Jibouri, S. S. H. ., Halman, J. I. M. ., van de Linde, W. ., & Kaalberg, F. . (2013). Using prior risk-related knowledge to support risk management decisions: Lessons learnt from a tunneling project. *Risk Analysis*, 34(10), 1923–1943. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84911984626&partnerID=40&md5=f1fc6adfc87f8da021dead243d5423a8>
- Cardoso. (2001). *Pruebas del Software*.
- Castillo, A. ., Bilbao, A. ., & Bilbao, E. . (2007). A risk management method based on the AS/NZS 4360 standard. In *Proceedings - International Carnahan Conference on Security Technology* (pp. 64–68). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-47849108457&partnerID=40&md5=d4fe1ea91879c627946b60ffbc31dae>
- Cates, G. R. . c, & Mollaghasemi, M. . (2007). The project assessment by simulation technique. *EMJ - Engineering Management Journal*, 19(4), 3–10. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-38949095209&partnerID=40&md5=1c8df6e8de0178ad85312bd57e940d2f>
- Chen, G. ., Wang, J. ., & Li, C. . (2013). Investment risk evaluation of high-tech projects based on random forests model. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 212, 733–741. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880383813&partnerID=40&md5=d3e9bea9cf3d7edd8811104c8d654309>
- Chen, T.-T. ., & Leu, S.-S. . (2014). Fall risk assessment of cantilever bridge projects using Bayesian network. *Safety Science*, 70, 161–171. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84902457959&partnerID=40&md5=4365543f72b9ef86588b27b4401edc57>
- Clarke, R. H. (2008). The International Commission on Radiological Protection 80th Anniversary: the evolution of its policies through 80 years.

- Cunbin, L., Xian, L., & Minxia, W. (2012). Risk analysis simulation model of economic evaluation in hydroelectric engineering project. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 4(14), 2222–2226. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84862749131&partnerID=40&md5=a9e6acd2eea4528f024a895aace0efd1>
- Da Nbrega, D. A. ., Fenner, G. ., & Lima, A. S. . (2014). A risk management methodology proposal for information technology projects. *IEEE Latin America Transactions*, 12(4), 643–656. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84905674804&partnerID=40&md5=64972c1c5d65f760000783c9926a6a41>
- Daft, R. L. (2010). *Teoria y diseño organizacional*. Cengage Learning.
- Dávila, A. (1995). *Las perspectivas metodológicas cualitativa y cuantitativa en las ciencias sociales*. (E. Síntesis, Ed.). Madrid.
- De Carvalho, M. M., & Rabechini Junior, R. (2015). Impact of risk management on project performance: The importance of soft skills. *International Journal of Production Research*, 53(2), 321–340. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84911983031&partnerID=40&md5=7f1815266bc1b859a425bd4f0cce25c3>
- De La Rosa, S. (2007). Cómo Avanzar en la Gestión de Riesgo Empresarial. *Auditor Interno*, 1–4.
- Duque, C. (2001). Metodología para la gestion de riesgos.
- Ebrat, M. ., & Ghodsi, R. . (2014). Construction project risk assessment by using adaptive-network-based fuzzy inference system: An empirical study. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1213–1227. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903382935&partnerID=40&md5=cfa5214da6e24e8426decfcde7b74e8b>
- Fahad Al-Azemi, K. ., Bhamra, R. ., & Salman, A. F. M. . (2014). Risk management framework for build, operate and transfer (BOT) projects in Kuwait. *Journal of Civil Engineering and Management*, 20(3), 415–433. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903267525&partnerID=40&md5=eb928586192cafa2f804aa9b5742a738>
- Fei, L. (2012). Aircraft financial leasing project risk evaluation using AHP and grey comprehensive algorithm. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, 6(15), 259–267. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84866401499&partnerID=40&md5=9c9047903f096e54870a12c491d990fb>
- Feng, H., Chang, J., & Wang, Z. (2013). Case-based study method for risk assessment in EPC project. *Journal of Applied Sciences*, 13(12), 2351–2354. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0->

84885199330&partnerID=40&md5=93f42efbe136c68e2c8dfb814bb91b8a

- Fouladgar, M. M. ., Yazdani-Chamzini, A. ., & Zavadskas, E. K. . (2012). Risk evaluation of tunneling projects. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 12(1), 1–12. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84867362558&partnerID=40&md5=acfcf60613dae1b2927d0668bfa4b1ff>
- Friske, P. W. B. ., Rencz, A. N. ., Ford, K. L. ., Kettles, I. M. ., Garrett, R. G. ., Grunsky, E. C. ., ... Klassen, R. A. . (2013). Overview of the Canadian component of the North American Soil Geochemical Landscapes Project with recommendations for acquiring soil geochemical data for environmental and human health risk assessments. *Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis*, 13(4), 267–283. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84890030625&partnerID=40&md5=eb7b41480dcc7df12b8e7d62344ed8ef>
- Gao, X.-K., & He, M.-Z. (2013). Risk evaluation of ABS financing in reclaimed water reuse project on the basis of entropy measurement method. *Xi'an Jianshu Keji Daxue Xuebao/Journal of Xi'an University of Architecture and Technology*, 45(5), 738–743. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84890816852&partnerID=40&md5=bf35cce580e83184874b82845504d11a>
- García-Ruiz, F., Sankaran, S., Maja, J.M., Lee, W.S., Rasmussen, J and Eshani, R. (2013). Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing-infected citrus trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91, 106–115.
- Ghaffari, M. ., Sheikahmadi, F. ., & Safakish, G. . (2014). Modeling and risk analysis of virtual project team through project life cycle with fuzzy approach. *Computers and Industrial Engineering*, 72(1), 98–105. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897504537&partnerID=40&md5=a809e0097be5cb1c35d826d2fdf8d935>
- Gierczak, M. (2014). The quantitative risk assessment of MINI, MIDI and MAXI Horizontal Directional Drilling Projects applying Fuzzy Fault Tree Analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 43, 67–77. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84899986854&partnerID=40&md5=52dfd45cd1f1580614628754a3c2c358>
- Gómez-Candón, D. D. C. A. I. and F. L.-G. 2014. (2014). Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes. ". *Precision Agriculture*, DOI 10.1007/s11119-013-9335-4, Vol 15, 44–56.
- Gu, W. ., Shao, D. ., & Jiang, Y. . (2012). Risk Evaluation of Water Shortage in Source Area of Middle Route Project for South-to-North Water Transfer in China. *Water Resources Management*, 26(12), 3479–3493. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84865518257&partnerID=40&md5=d918a45b9219d7cfd702f8472ee1e7bc>
- Hao, S. L. ., & Ding, Z. X. . (2012). Design of internal control risk management system of

- coal mining enterprises based on systems engineering. *Advanced Materials Research*, 424–425, 890–893. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84856065298&partnerID=40&md5=af0a55c5e0a9d406a4270f1994c35b77>
- Hashemi, H. ., Mousavi, S. M. ., Tavakkoli-Moghaddam, R. ., & Gholipour, Y. . (2013). Compromise ranking approach with bootstrap confidence intervals for risk assessment in port management projects. *Journal of Management in Engineering*, 29(4), 334–344. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84884634578&partnerID=40&md5=02d4d4a2809c56246321bc3ce6bfd58>
- Hayash, A. ., & Kataoka, N. . (2008). Risk management method using data from EVM in software development projects. In *2008 International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control and Automation, CIMCA 2008* (pp. 1135–1140). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-70449555141&partnerID=40&md5=d4d7a19e0ec7e2b427d46fe57c077a71>
- HeliCam Colombia. (2014). Retrieved from <http://www.helicamcolombia.com/>
- Hernando Ramírez, A. F., & Anne Marie, Z.-V. (2012). Metodología de la investigación : más que una receta Research Methodology : More than a recipe, (20), 91–111.
- Hosseinzadehdastak, F., & Underdown, R. (2012). Knowledge management as a tool to mitigate weaknesses of risk management. In *62nd IIE Annual Conference and Expo 2012* (pp. 2063–2070). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84900301077&partnerID=40&md5=0f78277271f39a121b536e1e1276431c>
- Huang, Y., Thomson, S.J., Hoffmann, W.C., Lan, Y. and F. B. . (2013). Development and prospect of unmanned aerial vehicle technologies for agricultural production management. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 1–10.
- Humphreys, E. J., Moses, R. H., & Plate, A. E. (1998). *Guide to Risk Assessment and Risk Management*. London: British Standards Institution.
- Hwang, B.-G. ., Zhao, X. ., & Toh, L. P. . (2014). Risk management in small construction projects in Singapore: Status, barriers and impact. *International Journal of Project Management*, 32(1), 116–124. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84887219462&partnerID=40&md5=113a5d4ef802e98eba4aac3de7deeb6d>
- IPMA. (2006). *ICB - IPMA Competence Baseline, Version 3.0*. (I. P. M. Association, Ed.), *Internacional Project Management Association*. Internacional Project Management Association.
- ISACA. (2012). *Control Objectives for Information and related Technology*.
- ISO. (2005). *Norma ISO 27001:2005 NORMA TECNICA COLOMBIANA 5254 esta norma es una adopcion identica (IDT) de la AS/NZ 4360:2004*. IEEE Software January; IEEE

Computer Society.

ISO. (2009a). *ISO 31000*.

ISO. (2009b). *NTC-ISO/IEC 27005: Tecnología de la Información. Técnicas de Seguridad. Gestión del Riesgo en la Seguridad de la Información*. (B. ICONTEC., Ed.).

ITIL. (1990). *ITIL Fundatios, Information Technology Infrastructure Library - Biblioteca de Infraestructura de Tecnologías de Información*.

J. Torres-Sánchez, J.M. Peña, A. I. de C. and F. L.-G. 2014. (2014). Multi-temporal mapping of vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. *Computers and Electronics in Agriculture*, 103: 104-113.

J.M. Peña-Barragán, J. Torres-Sánchez, A. I. de C. and F. L.-G. 2013. (2013). Generating weed maps in early-season maize fields by using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and object-based image analysis. *PLoS ONE*, DOI 10.1371/journal.pone.0077151.g001.

Jennie, A. (2005). *The Rich History of AACE International*. Cost Engineering.

Lee, N. . b, & Schaufelberger, J. E. . (2014). Risk management strategies for privatized infrastructure projects: Study of the build-operate-transfer approach in east asia and the pacific. *Journal of Management in Engineering*, 30(3). Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84898877152&partnerID=40&md5=c34a2f4dc924339f8b1d4f077ec2d70b>

Lee, P. ., Lam, P. T. I. ., Yik, F. W. H. ., & Chan, E. H. W. . (2013). Probabilistic risk assessment of the energy saving shortfall in energy performance contracting projects- A case study. *Energy and Buildings*, 66, 353–363. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84883196900&partnerID=40&md5=460fd039aadf5a913f6fac371ebc5752>

Li, J., & Lei, X. . (2012). Risk analysis method of large-scale space development project based on multi-agent technology. *Guofang Keji Daxue Xuebao/Journal of National University of Defense Technology*, 34(6), 148–152. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874165930&partnerID=40&md5=926a7f6b5275ef76a0a45205e03c506d>

Li, L., Liu, Q., Zhang, H., & Deng, M. (2012). The risk analysis on three gorges project's ships through lock collision based on ISM. *Wuhan Ligong Daxue Xuebao/Journal of Wuhan University of Technology*, 34(2), 49–53. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84863369419&partnerID=40&md5=e423e25ab5a588c763dd11aff9dec93b>

Liu, T., & Han, D. (2014). Study on risk management of manufacturing industry's R&D project. *Key Engineering Materials*, 584, 298–302. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0->

84884894262&partnerID=40&md5=4db36d7b6572f440a7a709580e564345

- Ma, L. ., Luo, H. B. ., & Chen, H. R. . (2013). Safety risk analysis based on a geotechnical instrumentation data warehouse in metro tunnel project. *Automation in Construction*, 34, 75–84. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84878621429&partnerID=40&md5=5fe740ae1f13c18c0e89988db4a83241>
- Madrid, D. (2014). Analisis de riesgos, una breve historia. *Analisis de Riesgos*.
- Malicki, J. . b, Bly, R. ., Bulot, M. ., Godet, J.-L. ., Jahnen, A. ., Krenqli, M. ., ... Jarvinen, H. . (2014). Patient safety in external beam radiotherapy - Guidelines on risk assessment and analysis of adverse error-events and near misses: Introducing the ACCIRAD project. *Radiotherapy and Oncology*, 112(2), 194–198. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84910136014&partnerID=40&md5=0d8004b905d2e4946df64af1e578c0bd>
- Marcelino-Sdaba, S. ., Prez-Ezcurdia, A. ., Echeverra Lazcano, A. M. ., & Villanueva, P. . (2014). Project risk management methodology for small firms. *International Journal of Project Management*, 32(2), 327–340. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84890158263&partnerID=40&md5=33d22a401fee6ffc85f7536122036711>
- Marengo, H. ., Arreguin, F. I. ., Aldama, A. A. ., & Morales, V. . (2013). Case study: Risk analysis by overtopping of diversion works during dam construction: The La Yesca hydroelectric project, Mexico. *Structural Safety*, 42, 26–34. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84873707165&partnerID=40&md5=b8e85ae5e86a3c3a5dc8252ae0fd7aed>
- Martínez Carazo, P. C. (2006). El método de estudio de caso: Estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento Y Gestión: Revista de La División de Ciencias Administrativas de La Universidad Del Norte*, (20), 165–193. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1217568>
- Mendes, E. (2014). Applying a knowledge management technique to improve risk assessment and effort estimation of healthcare software projects. *Communications in Computer and Information Science*, 457, 40–56. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84908504807&partnerID=40&md5=1ee8e3df8e0b267db108204f32aaffa1>
- Meng, H., Mai, Q., & An, S. (2012). Risk analysis model of aerospace engineering project incorporating human and organization factors. *Zhongguo Kongjian Kexue Jishu/Chinese Space Science and Technology*, 32(1), 60–65+76. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84858411699&partnerID=40&md5=b170fe9c055dbec10ca2d60f93d3ea5c>
- Miller, R. ., & Lessard, D. . (2001). Understanding and managing risks in large engineering projects. *International Journal of Project Management*, 19(8), 437–443. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0->

0035501151&partnerID=40&md5=c5001f50ca52db58560d5d8155c5aaf1

- Miorando, R. F., Ribeiro, J. L. D., & Cortimiglia, M. N. (2014). An economic-probabilistic model for risk analysis in technological innovation projects. *Technovation*, 34(8), 485–498. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84902532645&partnerID=40&md5=8abcee6ac2b2b2178faf5765c364b09e>
- Mokhtari, M. ., Attarian, H. ., Norouzi, M. ., Kouчек, M. ., Kashani, B. S. ., Sirati, F. ., ... Mir, E. . (2014). Venous thromboembolism risk assessment, prophylaxis practices and interventions for its improvement (AVAIL-ME Extension Project, Iran). *Thrombosis Research*, 133(4), 567–573. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84896140121&partnerID=40&md5=bc3da9c67b052f336d35616b9c7227d6>
- Montero, G. (2012). Ideas sencillas para la gestion. *Ideas Sencillas*.
- Moses, R. H. (1992). *Risk Analysis and Management*. In K. M. Jackson & J. Hruska (Eds.), *Computer Security Reference Book*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.
- Mu, S. ., Cheng, H. ., Chohr, M. ., & Peng, W. . (2014). Assessing risk management capability of contractors in subway projects in mainland China. *International Journal of Project Management*, 32(3), 452–460. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894238567&partnerID=40&md5=2b56926bf6ec0138673469485a83795c>
- new scientist. (n.d.). Retrieved from <https://www.newscientist.com/>
- NIST. (2001). Risk Management Guide for Information Technology Systems (Vol. Special publication.). *Washington: U.S. Department of Commerce*.
- Norsk\_Regnesentral. (2000). CORAS: A Platform for Risk Analysis of Security Critical Systems. No. *IST-2000-25031*.
- Peña-Barragán, F. López-Granados, L. García-Torres, and M. J.-E. (2010). Sunflower yield related to multitemporal aerial photography, land elevation and weed infestation. *Precision Agriculture*, 11(5);, 568–585.
- PMI. (2012). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*.
- Ponce, R. (2005). *Administracion por objetos*. Limusa, Noriega Editores.
- Pressman, R. S. (2002). *Ingenieria del Software: Un enfoque Practico*.
- PRINCE. (2009). *Managing successful projects with PRINCE2*. The Stationery Office. p. 342. ISBN 978-0113310593.
- Qasem, M. M. d. (2013). Information Technology Risk Assessment Methodologies: Current Status and Future Directions. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(12), 966-972.

- Qin, T.-R. ., Chen, W.-J. . b, & Zeng, X.-K. . (2008). Risk management modeling and its application in maritime safety. *Journal of Marine Science and Application*, 7(4), 286–291. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-62449143835&partnerID=40&md5=b07aefd65d8a983f464e40fab0a1111e>
- Quintanilla, M. A. (2007). La investigacion en la sociedad del conocimiento. *Revista Iberoamericana de Ciencia Tecnologia Y Sociedad*.
- Revista ambiental. (2014). Retrieved from <http://www.revistaambienta.es/WebAmbienta/index.jsp>
- Rezakhani, P. ., Jang, W.-S. ., Lee, S. ., & Lee, D.-E. . (2014). Project risk assessment model combining the fuzzy weighted average principle with a similarity measure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(2), 521–530. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894753252&partnerID=40&md5=a73e1bcbd54d56f1f6b9079cd05ffc1c>
- Rueda, J. G. (2016). *Direccion y Gestion de proyectos. Tecnologias de la informacion en la empresa*. FC Editorial.
- Sampieri, R. hernandez, Collado, C. F., & Lucio, P. B. (1998). *Metodologia de la investigacion*. Mc Graw Hill.
- Sanz, L. F., & Silva, P. B. (2014). Risk management in software development projects in Spain: A state of art [gestion de riesgos en proyectos de desarrollo de software en España: Estudio de la situacion]. *Revista Facultad de Ingenieria*, (70), 233–243. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897628329&partnerID=40&md5=d485cd80c0d9ba7c5fc3d80cb1425b98>
- Scarff, F., Carty, A., & Charette, R. (1993). *Introduction to the Management of Risk*. Norwich: HMSO.
- Shimizu, T. ., Park, Y. ., & Choi, S. . (2014). Project managers and risk management: A comparative study between Japanese and Korean firms. *International Journal of Production Economics*, 147(PART B), 437–447. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84889684131&partnerID=40&md5=b791e05e586807982a9dcc335c38b05c>
- Sommerville. (2000). *Software Engineering*. Merida, Venezuela: McGraw Hill; Pearson Education.
- Taylan, O. (2014). IT project risk assessment of learning organizations by fuzzy set and systems. *International Journal of Organizational Analysis*, 22(2), 161–180. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84899765660&partnerID=40&md5=28f7590c61550b12b1e15607a6ebdbdf8>
- Taylan, O. ., Bafail, A. O. ., Abdulaal, R. M. S. ., & Kabli, M. R. . (2014). Construction projects selection and risk assessment by fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS

- methodologies. *Applied Soft Computing Journal*, 17, 105–116. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893226274&partnerID=40&md5=cbb6c00d75f354d655e6402e3aa28ebf>
- Thayer. (2003). *Software Engineering Project Management*.
- Tian, R.-J. ., Li, J.-L. ., & Jia, X.-J. . (2010). Study of stock selection using risk management method: An example based on VaR and SDR theory. *Journal of Beijing Institute of Technology (English Edition)*, 19(SUPPL. 1), 37–40. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-78650776711&partnerID=40&md5=43ea00e8efa24be916814987f02bbf92>
- Valitov, S. M., & Sirazetdinova, A. Z. (2014). Project risks management model on an industrial enterprise. *Asian Social Science*, 10(21), 242–249. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84908324918&partnerID=40&md5=444f2644ec1b0058e03bc37ca0a71c81>
- Villalba. (2002). *Magerit version 1.0: Risk Analysis and Management Methodology for Information Systems*.
- Villani, O. (2009). Cali ecológica y social. Retrieved from <http://oscarvillani.blogspot.com.co/2009/10/rellenos-sanitarios-en-colombia.html>
- Virola, J. (2002). LOS PUENTES COLGANTES DE TRAMO MÃ?S LARGO DEL MILENIO PASADO Y DEL PRESENTE. *Eur Ing-FEANI, Teemuaho Group, Helsinki, Finland*, 40, 58–68. Retrieved from [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0376-723x2002000200004&nrm=iso](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0376-723x2002000200004&nrm=iso)
- Von Neumann & Oskar Morgenstern, J. (2014). *Theory of Games and Economic Behavior*. Princeton University Press.
- Wang, C.-H. ., & Lu, J. . (2013). The risk management method for project schedule of aerospace engineering. *Advanced Materials Research*, 712–715, 3165–3168. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84880503335&partnerID=40&md5=54e3dfc43e3519fbbde230c2c6eca664>
- Wang, J., & Li, Y. (2013). Research on EPC project risk evaluation based on FAHP and TOPSIS. *Journal of Networks*, 8(2), 445–452. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84874875397&partnerID=40&md5=6e59b826810acc571c37e7d1da8ae822>
- Wang, X. . b, Jia, Y. ., & Ma, X. . (2012). Subject risk evaluation for national S&T planned projects based on three-class principal-agent model and BP neural network. *Beijing Jiaotong Daxue Xuebao/Journal of Beijing Jiaotong University*, 36(3), 145–149. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84864815647&partnerID=40&md5=122bfe19e78870ee66949e3687a9d7bc>

- Ward, S. (1999). Assessing and managing important risks. *International Journal of Project Management*, 17(6), 331–336. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0032595613&partnerID=40&md5=f8c7464affd7d54355a57a1ff3ec820b>
- Weshah, N. ., El-Ghandour, W. ., Falls, L. C. ., & Jergeas, G. . (2014). Enhancing project performance by developing multiple regression analysis and risk analysis models for interface. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 41(11), 929–944. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84911439322&partnerID=40&md5=fd44af0eb45a205649b607dca21b4c69>
- Xia, L. ., Luo, D. ., & Dai, Y. . (2012). Risk evaluation methods of CBM development projects. *Natural Gas Industry*, 32(3), 117–120. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84861523827&partnerID=40&md5=6f5b2d71991f82771fe5006c84f20bc1>
- Xu, Y. ., Lu, Y. . c, Chan, A. P. C. ., Skibniewski, M. J. ., & Yeung, J. F. Y. . (2012). A computerized risk evaluation model for public-private partnership (PPP) projects and its application. *International Journal of Strategic Property Management*, 16(3), 277–297. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84867274668&partnerID=40&md5=2b7c435f76a39f85c066eb10c7240d40>
- Yang, S. (2014). Safety risk management system for the construction of urban rail transit projects. *Modern Tunnelling Technology*, 51(1), 1–7. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84897831362&partnerID=40&md5=1a5aa42cc023fc7d5e0a7879ddf8c624>
- Yang, S., Liu, J., & Wang, R. (2014). The improved fuzzy analytic hierarchy process and its application in risk evaluation of wind power project investment. *Journal of Information and Computational Science*, 11(13), 4547–4553. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84907487698&partnerID=40&md5=94fefe5ea3874a6344474d48cac8e048>
- Zeng, M., Feng, J., Wang, Z., Cheng, M., & Xue, S. (2014). Study on life cycle investment risk evaluation of wind power projects. *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 5(4), 1051–1056. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84903448552&partnerID=40&md5=f627e8a2f52aefdc86ef5474c94bf579>
- Zeynalian, M. . b, Trigunaryah, B. ., & Ronagh, H. R. . (2013). Modification of advanced programmatic risk analysis and management model for the whole project life cycle's risks. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 51–59. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84872690173&partnerID=40&md5=9c009e8ee33752a06ce4e8080d2d287b>
- Zhang, Z. (2014). An approach to multi-attribute group decision making and its application to project risk assessment. *Journal of Software*, 9(2), 404–408. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84894476572&partnerID=40&md5=6f70da2bbd015b3c41f5cc5c89136dab>

- Zhao, H., & Guo, S. (2014). Risk evaluation on UHV power transmission construction project based on AHP and FCE method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84893826909&partnerID=40&md5=aae6126d432e547fcbec82c306c710a2>
- Zhou, P. ., Zhu, S.-L. ., & Jiang, S.-S. . (2003). Risk management of aeronautic projects with fuzzy analytic hierarchy process. *Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS*, 9(12), 1062–1066. Retrieved from <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-1642602784&partnerID=40&md5=3d64639a76d1efa49eab3e2f785421d>

## **6 Anexos**

### **6.1 Artículo**

Artículo titulado “Medición de contaminación mediante UAV” en la revista Mundo Fesc Número 11 Enero-Junio del 2016 ISSN: 2216-0353 E-ISSN: 2216-0388 PP:16-26, Fundación de Estudios Superiores Comfanorte”; Cúcuta, Norte de Santander.

### **6.2 Ponencia**

Ponencia titulada “Medición de contaminación mediante UAV” en el evento IDEAT del primer “Encuentro regional de Innovación y Desarrollo Tecnológico”, realizado los días 21 y 22 de septiembre en la ciudad de Bucaramanga.