



UNIVERSIDAD EAN

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS

APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA GESTIÓN DE PORTAFOLIO DE
PROYECTOS

AUTORES:

ANDRÉS EDUARDO ACOSTA GARCIA
BRAYAN ISMAEL ALDANA CHAPARRO
ADRIANA MARÍA DÍAZ
WILSON ALEXANDER MARROQUÍN SEGURO

DIRECTOR:

CAMILO MEJÍA MONCAYO

BOGOTÁ D.C., JUNIO 2019

LICENCIA DE USO – AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES

Actuando en nombre propio identificado (s) de la siguiente forma:

Nombre Completo Andres Eduardo Acosta Garcia

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: 557724

Nombre Completo Adriana Maria Diaz

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: 52897355

Nombre Completo Brayan Ismael Aidana Chaparro

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: 1015417021

Nombre Completo Wilson Alexander Marroquin Seguro

Tipo de documento de identidad: C.C. T.I. C.E. Número: 1037582698

El (Lós) suscrito(s) en calidad de autor (es) del trabajo de tesis, monografía o trabajo de grado, documento de investigación, denominado:

APLICACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL A LA GESTIÓN DE PORTAFOLIO DE PROYECTOS

Dejo (dejamos) constancia que la obra contiene información confidencial, secreta o similar: Sí NO
(Si marqué (marcamos) Sí, en un documento adjunto explicaremos tal condición, para que la Universidad EAN mantenga restricción de acceso sobre la obra).

Por medio del presente escrito autorizo (autorizamos) a la Universidad EAN, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad EAN y a los usuarios de bases de datos y sitios webs con los cuales la Institución tenga convenio, a ejercer las siguientes atribuciones sobre la obra anteriormente mencionada:

- A. Conservación de los ejemplares en la Biblioteca de la Universidad EAN.
- B. Comunicación pública de la obra por cualquier medio, incluyendo Internet
- C. Reproducción bajo cualquier formato que se conozca actualmente o que se conozca en el futuro
- D. Que los ejemplares sean consultados en medio electrónico
- E. Inclusión en bases de datos o redes o sitios web con los cuales la Universidad EAN tenga convenio con las mismas facultades y limitaciones que se expresan en este documento
- F. Distribución y consulta de la obra a las entidades con las cuales la Universidad EAN tenga convenio

Con el debido respeto de los derechos patrimoniales y morales de la obra, la presente licencia se otorga a título gratuito, de conformidad con la normatividad vigente en la materia y teniendo en cuenta que la Universidad EAN busca difundir y promover la formación académica, la enseñanza y el espíritu investigativo y emprendedor.

Manifiesto (manifestamos) que la obra objeto de la presente autorización es original, el (los) suscritos es (son) el (los) autor (es) exclusivo (s), fue producto de mi (nuestro) ingenio y esfuerzo personal y la realizo (zamos) sin violar o usurpar derechos de autor de terceros; por lo tanto la obra es de exclusiva autoría y tengo (tenemos) la titularidad sobre la misma. En vista de lo expuesto, asumo (asumimos) la total responsabilidad sobre la elaboración, presentación y contenidos de la obra, eximiendo de cualquier responsabilidad a la Universidad EAN por estos aspectos.

En constancia suscribimos el presente documento en la ciudad de Bogotá D.C.,

NOMBRE COMPLETO: Andrés Eduardo Acosta García
FIRMA: Andrés Acosta
DOCUMENTO DE IDENTIDAD: 567724
FACULTAD: Facultad de Ingeniería
PROGRAMA ACADÉMICO: Esp. en Gerencia Proyecto

NOMBRE COMPLETO: Adriana María Díaz
FIRMA: Adriana María Díaz
DOCUMENTO DE IDENTIDAD: 52007556
FACULTAD: Facultad de Ingeniería
PROGRAMA ACADÉMICO: Esp. en Gerencia Proyecto

NOMBRE COMPLETO: Brayan Ismael Aldana Chaparro
FIRMA: Brayan Aldana
DOCUMENTO DE IDENTIDAD: 1015417021
FACULTAD: Facultad de Ingeniería
PROGRAMA ACADÉMICO: Esp. en Gerencia Proyecto

NOMBRE COMPLETO: Wilson Alexander Marroquín Seguro
FIRMA: Wilson A. Marroquín
DOCUMENTO DE IDENTIDAD: 1037582698
FACULTAD: Facultad de Ingeniería
PROGRAMA ACADÉMICO: Esp. en Gerencia Proyecto

Fecha de firma: 14 de Junio de 2019

Resumen

Este documento explica el análisis del comportamiento de las técnicas de Inteligencia Artificial que se aplican a la priorización de los proyectos que componen un portafolio de proyectos y así identificar los más relevantes en función de los criterios de decisión. Actualmente, la priorización de portafolios se realiza por medio técnicas que generan un gran nivel de incertidumbre en cuanto a los resultados esperados, dado que estos se conocen sólo cuando el proyecto ha culminado, y es en las fases finales cuando se identifica que el proyecto ha generado valor para la organización o no generó retorno alguno sin posibilidades de recuperar la inversión.

Palabras Clave —Algoritmos, criterios de evaluación, Portafolio de proyectos, Priorización, Técnicas de IA.

Abstract

This document explains the analysis of the behavior of artificial intelligence techniques that apply to the prioritization of projects that compose a portfolio of projects and thus identify themore relevant according to the decision criteria. Currently, La prioritization of portfolios is carried out by means of technical to they generate a high level of uncertainty as to the expected results, since these are known only when the project has culminated, and it is in the final stages when it identifies that the project has generated value for the organization or did not generate any return No chance of recovering the investment.

Keywords — *AI techniques, decision, criteria, project portfolios, prioritization.*

TABLA DE CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
2	OBJETIVOS.....	9
2.1.	Objetivo Principal	9
2.2.	Objetivos Específicos	9
3	JUSTIFICACIÓN	9
4	MARCO TEÓRICO.....	10
4.1	Definición de Proyecto	11
4.2	Definición de Portafolio de Proyectos.....	11
4.3	Gestión de Portafolio de Proyectos	11
4.4	Procesos de la Gestión de Portafolio de Proyectos.....	12
4.5	Priorización de Portafolios	14
4.6	Criterios de Evaluación	15
4.7	Métodos de Selección de Portafolios	22
4.7.1	Metodología Dinámica del Sistema (SD).....	23
4.7.2	Metodología del análisis de decisión multicriterio (MCDM)	23
4.7.3	Metodología de optimización de enjambre de partículas (PSO)	25
4.8	Estado del Arte	25
5	METODOLOGÍA.....	30
5.1	Tipo, Enfoque y Diseño de la Investigación	31
5.2	Descripción de la Metodología	31
6	VARIABLES.....	34
7	HIPÓTESIS.....	36
8	MODELO PROPUESTO	37
9	RESULTADOS	48
9.1	Carga de Datos	50
9.2	Procesamiento de Datos.....	51
9.3	Algoritmo de Optimización	52
9.4	Resultados.....	54
9.5	Interfaz Gráfica	55
10	DISCUSIÓN	56

11	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
12	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Mapa de grupos de proceso y áreas de conocimiento para la gestión de portafolios de proyectos	12
Tabla 2. Comparación de criterios de evaluación	16
Tabla 3. Clasificación de criterios de Bitman y Sharif (2008)	21
Tabla 4. Clasificación de criterios de Coldrick et al. (2002).	21
Tabla 5. Definición de Actividades	32
Tabla 6. Identificación de Variables de la Investigación	34
Tabla 7. Categorización y Expresiones Matemáticas Criterios de Evaluación	37
Tabla 8. Tabla Resumen de Proyecto Priorizado	45

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo del plan estratégico del portafolio; entradas, herramientas y técnicas y salidas	14
Figura 2. Estructura Jerárquica planteada por Huang en 2008	19
Figura 3. Estructura Jerárquica planteada por Mohanty en 2005	20
Figura 4. Diversas funciones objetivo propuesta por Ehrgott.	23
Figura 5. Cronograma de Actividades.....	34
Figura 6. Función Para Ingresar Los Insumos Que Usara El Algoritmo	50
Figura 7. Formato De La Hoja Para Ingresar Datos Al Sistema	51
Figura 8. Restricciones Del Modelo Con La Penalidad En Caso De Cumplir	52
Figura 9. Condiciones Iniciales Del Algoritmo De Optimización	53
Figura 10. Resultados Que Se Obtienen Con El Algoritmo Bacteriano De Elitismo	54
Figura 11. Salida Binaria Con Las Restricciones Que Cumplen O No Las Condiciones	55
Figura 12. Vista de Carga de Datos de la Interfaz	55
Figura 13. Vista de Procesado de Datos de la Interfaz	56

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las organizaciones no dimensionan los beneficios que pueden aportar a sus negocios la gestión de portafolios, entre esos beneficios se pueden encontrar: la identificación de prioridades para programas o proyectos a fin de seleccionar aquellos que logran el balanceo en los objetivos estratégicos; toma de decisiones en asignación de recursos físicos, de personal, económicos, entre otros; se identifican mejoras operativas y se busca el cumplimiento de los objetivos estratégicos organizacionales. El objetivo principal de la gestión del portafolio es asegurar que programas y proyectos estén alineados con la estrategia empresarial minimizando los riesgos que se puedan presentar en la ejecución cada programa o proyecto (Project Management Institute., 2017).

Una de las principales situaciones y problemas en las organizaciones es la evaluación de portafolio de proyectos, dicha evaluación es el arte y la ciencia de aplicar una serie de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a un conjunto de proyectos con el fin de satisfacer o exceder las necesidades o expectativas de la estrategia de inversión de una organización, lo cual conlleva a que las organizaciones inviertan recursos económicos, de personal y en tiempo para identificar cuáles son los proyectos que deberían implementar a corto o mediano plazo y cuáles proyectos a suspender porque no cumplen con los objetivos estratégicos de la organización (Benaija & Kjiri, 2014).

El evaluar y priorizar correctamente los proyectos que hacen parte de un portafolio, se dificulta cuando se deben evaluar beneficios intangibles, interdependencias entre proyectos y las restricciones que la misma organización establece, así como el retorno a la inversión, riesgos o alineación a los objetivos estratégicos (Benaija & Kjiri, 2014). Actualmente, las organizaciones que priorizan sus portafolios hacen uso de metodologías *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) que componen técnicas como la Técnica para el Ordenamiento de Preferencias por Similitud con la Solución Ideal y el Proceso Analítico Jerárquico, las cuales requieren de una recopilación de información que facilite la selección de los proyectos (Zuluaga Vidal, Castillo Méndez, Mayorquín Bejarano, Cuadra, & Perdomo, 2013). Sin embargo, esta base de conocimiento en muchas ocasiones no está disponible dentro de las organizaciones o las mismas carecen de procesos de

evaluación o los criterios utilizados para dicha evaluación son muy limitados los cuales impiden obtener resultados más acertados que maximicen el valor de la organización (Maikel Y. Leyva Vázquez; Pedro Y. Piñero Pérez, 2010).

Uno de los inconvenientes que actualmente presenta la gestión de los portafolios es priorizar los proyectos que lo componen según su alcance, impactos generados al interior de la organización y recursos a emplear, dado que estos son finitos y en la mayoría de las organizaciones no es posible ejecutar todos los proyectos que componen un portafolio al mismo tiempo (Maikel Y. Leyva Vázquez; Pedro Y. Piñero Pérez, 2010). Actualmente, la priorización de portafolios se realiza por medio técnicas como la selección multicriterio que permiten identificar las posibilidades de éxito de cada proyecto y el impacto que tendrá aplicando una valoración según juicio de expertos que identifica el valor que dará a la organización; sin embargo, estos modelos no son claros en su modo de ejecución u operación lo que impide el dinamismo en la evaluación de cada portafolio (Vidal et al., 2012).

Estas técnicas generan un gran nivel de incertidumbre en cuanto a los resultados esperados, dado que estos se conocen sólo cuando el proyecto ha culminado, y es en las fases finales cuando se identifica que el proyecto ha generado valor para la organización o no generó retorno alguno sin posibilidades de recuperar la inversión realizada (Zuluaga Vidal et al., 2013).

En la evaluación de proyectos se presentan dificultades como la recopilación de información pertinente que facilite el proceso de selección y determine el valor para la organización; falta de personal calificado para realizar dicha evaluación, escasez de procesos establecidos en las organizaciones que arrojen una evaluación adecuada a los objetivos estratégicos (Maikel Y. Leyva Vázquez; Pedro Y. Piñero Pérez, 2010).

Para dar solución a la problemática anteriormente mencionada, en donde se indica que las metodologías no son claras, son lentas y a veces poco confiables debido a que se cuenta solo con el juicio y experiencias de los gerentes de proyectos, se propone la

aplicación de la inteligencia artificial para optimizar las técnicas ya existentes y sean las máquinas quienes piensen (Haugeland, 1985). Y de esta manera sean los gerentes de proyectos quienes tomen las decisiones en pro de la organización.

Debido a lo anterior, esta investigación propone la implementación de una técnica basada en Inteligencia Artificial que facilite la evaluación de los proyectos que componen un portafolio disminuyendo el nivel de incertidumbre en las organizaciones, aplicando lo anterior a un caso de estudio.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo Principal

Definir un modelo basado en Inteligencia Artificial para la evaluación de portafolios de proyectos.

2.2. Objetivos Específicos

- Realizar un estado del arte de la evaluación de portafolios de proyectos empleando técnicas de inteligencia artificial empleando metaheurísticas.
- Identificar criterios para evaluar portafolios de proyectos y su nivel de ponderación.
- Formular un modelo para la evaluación de portafolios de proyectos.
- Implementar una técnica de IA aplicada a un caso y evaluar el desempeño de esta.

3 JUSTIFICACIÓN

La decisión del uso de inteligencia artificial para la presente investigación en lugar de otras herramientas o metodologías, es la facilidad que ésta presenta al momento de entrenar la inteligencia artificial, está aprende el trabajo a realizar sin requerir de la participación humana logrando uno de los aspectos necesarios de la optimización (Mossalam & Arafa, 2017), que es reducir la presencia de personas humanas en tareas repetitivas y usarlas en tareas más analíticas y que brinden valor agregado a las

organizaciones, adicionalmente la inteligencia artificial está transformando paulatinamente cada segmento de las industrias. Un ejemplo de ello es la agricultura, la cual a través del uso de la IA es más precisa y eficiente (Alejandra Blanco Murillo, Andrés Muñoz Peña, & Palacio León, 2017), la IA es una aliada en los diagnósticos médicos, ya que hoy por hoy se puede identificar ágilmente enfermedades crónicas o agudas facilitando a los médicos aplicar el tratamiento adecuado o interviniendo de forma temprana al paciente, salvando vidas fácilmente, la IA facilitó la creación de la promesa de transporte autónomo y ayuda a que el uso de las energías sea más eficiente y controlado (Nagy & Hajrizi, 2018).

La gestión de proyectos tampoco se escapa del uso de la Inteligencia Artificial en el trabajo de Costantino, Di Gravio, & Nonino presentan el diseño de un sistema que mediante el uso de redes neuronales (una de las tantas técnicas de IA) y criterios de evaluación de éxito, para ayudar a los gerentes expertos en el tema a mejorar su toma de decisiones (Costantino, Di Gravio, & Nonino, 2015); la IA no es para reemplazar a las personas en su totalidad sino para ayudarlas a la toma de decisiones de sus trabajos, así como ayudar a las compañías y empresas a mejorar el uso de sus recursos humanos en tareas más importantes (Rauch-Hindin, 1989).

Con el panorama anteriormente descrito se hará uso de la Inteligencia Artificial para optimizar la evaluación de portafolios y así mismo facilitar una herramienta que brinde una guía a los gerentes de proyectos en la selección y priorización de portafolios para asegurar que estén en alineados a los objetivos estratégicos de las organizaciones.

4 MARCO TEÓRICO

En esta sección se presenta una revisión de los elementos, desde la perspectiva general hasta los elementos específicos de las herramientas o modelos para evaluar portafolio de proyectos. Para ello, es importante dar a conocer conceptos de gestión de portafolio de proyectos, criterios que son evaluados en la jerarquización del portafolio, así como los modelos utilizados para la priorización de proyectos, que ayudan al proceso de la toma

de decisiones, culminando con los antecedentes que han realizado diferentes investigadores en cuanto a la evaluación de portafolios.

4.1 Definición de Proyecto

Según el Project Management Institute

Un proyecto es un esfuerzo que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único, y tiene la característica de ser naturalmente temporal, es decir, que tiene un inicio y un final establecidos, y que el final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto o cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto (Project Management Institute., 2017).

Adicionalmente, los proyectos según el (Project Management Institute., 2017) son instrumentos que permiten alcanzar los objetivos estratégicos de las organizaciones, los cuales son autorizados por alguna de las siguientes estrategias: oportunidad estratégica/necesidad del negocio, necesidad social, necesidades ambientales, demanda del mercado, solicitud de un cliente, avances tecnológicos o como un requisito legal.

4.2 Definición de Portafolio de Proyectos

En las organizaciones, los proyectos deben competir por recursos que usualmente son escasos, y normalmente todos los proyectos compiten por esos recursos a fin de ser seleccionados y así maximizar la inversión de la compañía. Según (Dye & Pennypacker, 2002) el portafolio de proyectos es un ensamble de inversiones, dejando a un lado el concepto de que un portafolio es una colección o grupo de proyectos.

4.3 Gestión de Portafolio de Proyectos

Las organizaciones deben gestionar sus proyectos y portafolios de proyectos para alcanzar los objetivos estratégicos (Dye & Pennypacker, 2002). La gestión de portafolios comprende el arte de saber usar una serie de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a un conjunto de proyectos, con el fin de satisfacer necesidades y

expectativas de la estrategia de inversión de una organización (Dye & Pennypacker, 2002). La guía del PMBOK complementa la anterior definición indicando que la gestión de portafolios de proyectos se centra en asegurar que los proyectos sean revisados a fin de establecer prioridades para asignar recursos, logrando que el portafolio sea consistente y este alineado con las estrategias de la organización (Project Management Institute., 2017).

4.4 Procesos de la Gestión de Portafolio de Proyectos

De acuerdo con el (Project Management Institute., 2017) la gestión del portafolio de proyectos es una disciplina estructurada en procesos y roles que le facilitan a las organizaciones el cumplimiento de los objetivos estratégicos. En ese orden de ideas, los procesos de la gestión de portafolios propuestos por el PMI son identificar, categorizar, monitorear, evaluar, seleccionar, priorizar, balancear y autorizar los componentes que se encuentran en este, lo anterior se desglosa a profundidad en la Tabla 1.

Tabla 1. Mapa de grupos de proceso y áreas de conocimiento para la gestión de portafolios de proyectos

Áreas de Conocimiento	Grupo de Procesos de definición	Grupo de procesos de alineación	Grupo de procesos de autorización y control
Gestión estratégica del portafolio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollo del plan estratégico del portafolio. 2. Generar el acta de constitución del portafolio. 3. Definir el mapa de ruta del portafolio. 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Gestionar los cambios estratégicos. 	
Gestión de la gobernabilidad del portafolio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar el plan de gestión del portafolio. 2. Definir el portafolio 	<ol style="list-style-type: none"> 3. Optimizar el portafolio. 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Autorizar el portafolio. 5. Supervisar el portafolio.
Gestión de desempeño del portafolio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Desarrollar el plan de gestión del desempeño del portafolio 	<ol style="list-style-type: none"> 2. Gestionar la demanda y suministro. 3. Gestionar el valor del portafolio. 	

Gestión de comunicación del portafolio	1. Desarrollar el plan de gestión de comunicación del portafolio.	2. Gestionar la información del portafolio.	
Gestión del riesgo del portafolio	1. Desarrollar el plan de gestión de riesgos del portafolio.	2. Gestionar los riesgos del portafolio.	

Fuente: Tomado de A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (Pmbok Guide). (I. P. Group, Ed.) (6th ed.). Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 EE.UU: Project Management Institute, Inc.

De acuerdo con la tabla anterior, el foco de la presente investigación se encuentra inmerso en Desarrollar el plan estratégico del portafolio, el cual se encuentra en el grupo de procesos de definición y en el área de conocimiento Gestión de la gobernabilidad del portafolio.

El proceso de desarrollo del plan estratégico del portafolio, según el PMBOK “consiste en desarrollar el plan estratégico de un portafolio y alinear la gestión estratégica del portafolio a la estrategia organizacional y objetivos” (Project Management Institute., 2017), de esta forma, este proceso cuenta con las entradas, herramientas, técnicas y salidas que se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Desarrollo del plan estratégico del portafolio; entradas, herramientas y técnicas y salidas



Fuente: Elaboración propia, con base a *The Standar for Portfolio Management (4th ed.)*. Newton Square, Pennsylvania 19073.3299 EE.UU: *Project Management Institute, Inc*

El proceso menciona que una de las técnicas que se debe usar es la del análisis de priorización, sobre la cual *The Estándar for Portfolio Management* menciona “El plan estratégico del portafolio debe contener un modelo o enfoque de priorización que guíe las decisiones acerca de los componentes que deben ser añadidos, culminados o cambiados” (Project Management Institute, 2017).

4.5 Priorización de Portafolios

Uno de los desafíos clave en las organizaciones es alinear la gestión del portafolio con Las principales estrategias corporativas. Usualmente, las organizaciones basadas en proyectos usan recursos compartidos para controlar y planificar el portafolio de proyectos. Por lo tanto, las decisiones de planificación pueden cambiar el progreso de los proyectos y afectar el éxito de estos (Haghighi Rad & Rowzan, 2018). Lograr esta convergencia

entre proyectos y estrategia implica examinar el comportamiento del portafolio de proyectos de la compañía.

Según (Peraza Hernández & Penzo, 2005) “El portafolio se optimiza continuamente basado en la prioridad, el rendimiento del proyecto, el presupuesto y la disponibilidad de los recursos”. Así las cosas, es importante que las organizaciones posean un modelo de permita la priorización que facilite la toma de decisiones que se van a tomar sobre los componentes del portafolio.

Peraza propone que el sistema de priorización permita:

- Cuantificar el valor creado para cada proyecto.
- Producir la combinación de proyectos óptima que permita maximizar el portafolio de proyectos.
- Suministrar un mecanismo de justificación y explicación lógica de las alternativas de decisión otorgadas.
- Sustentar el proceso de toma de decisiones para mejorar la optimización de la distribución de los recursos.
- Generar una ventaja competitiva para la organización y están un paso adelante en el mercado.

De acuerdo a lo mencionado por Peraza y el PMI, la priorización hace un análisis, bien sea cualitativo o cuantitativo, para suministrarles información relevante a los gerentes de proyectos, que les permitan desarrollar actividades y seleccionar proyectos que ayuden a cumplir con los objetivos estratégicos de la organización. Sin embargo, en esta priorización intervienen algunas variables que son objeto de evaluación y facilitan priorizar los proyectos que cumplan ciertos criterios.

4.6 Criterios de Evaluación

En la tabla 2 se relacionan los autores que en sus investigaciones estudiaron diferentes criterios de selección de portafolios como lo son (Huang, Chu, & Chiang, 2008), (Mohanty, Agarwal, Choudhury, & Tiwari, 2005), (Bitman & Sharif, 2008), (Coldrick, Longhurst, Ivey, & Hannis, 2005), (Meade & Presley, 2002), (Imoto, Yabuuchi, & Watada, 2008), (J. Wang

& Hwang, 2007) y (Matthias Ehrgott, Klamroth, & Schwehm, 2004). Los factores que poseen en común *Huang, Chu, & Chiang y Mohanty, Agarwal, Choudhury, & Tiwari* en sus marcos teóricos y prácticos son las estructuras jerárquicas para la ponderación y evaluación de criterios, por otra parte, *Bitman & Sharif junto con Coldrick, Longhurst, Ivey, & Hannis* presentan criterios separados por columnas donde se representa el área de trabajo y la respectiva evaluación que cada criterio obtiene, *Ehrgott, Klamroth, & Schwehm* propone un cuadro de mando basado en riesgo y rentabilidad, para finalizar *Meade & Presley* citan un proceso analítico para la elección de criterios (Pérez Vélez, 2012).

La estructura Jerárquica planteada por (Huang et al., 2008) se relaciona en la Figura 2 la cual se divide en cuatro aspectos denominados meta, aspectos, objetivos y criterios a evaluar, representados en un organigrama vertical de izquierda a derecha, que permite identificar fácilmente los criterios que conllevaran al cumplimiento de un objetivo estratégico que la organización se haya propuesto para cada uno de los componentes que conforman el portafolio.

En la Figura 3 se relaciona la estructura jerárquica utilizada por (Mohanty et al., 2005) en ella se observan 5 aspectos denominados como meta, factores, fases del proyecto, atributos del proyecto, subatributos del proyecto y las alternativas. *Mohanty* analiza criterios de evaluación basados en el riesgo, tecnología, mercadeo y gerencia.

Tabla 2. Comparación de criterios de evaluación

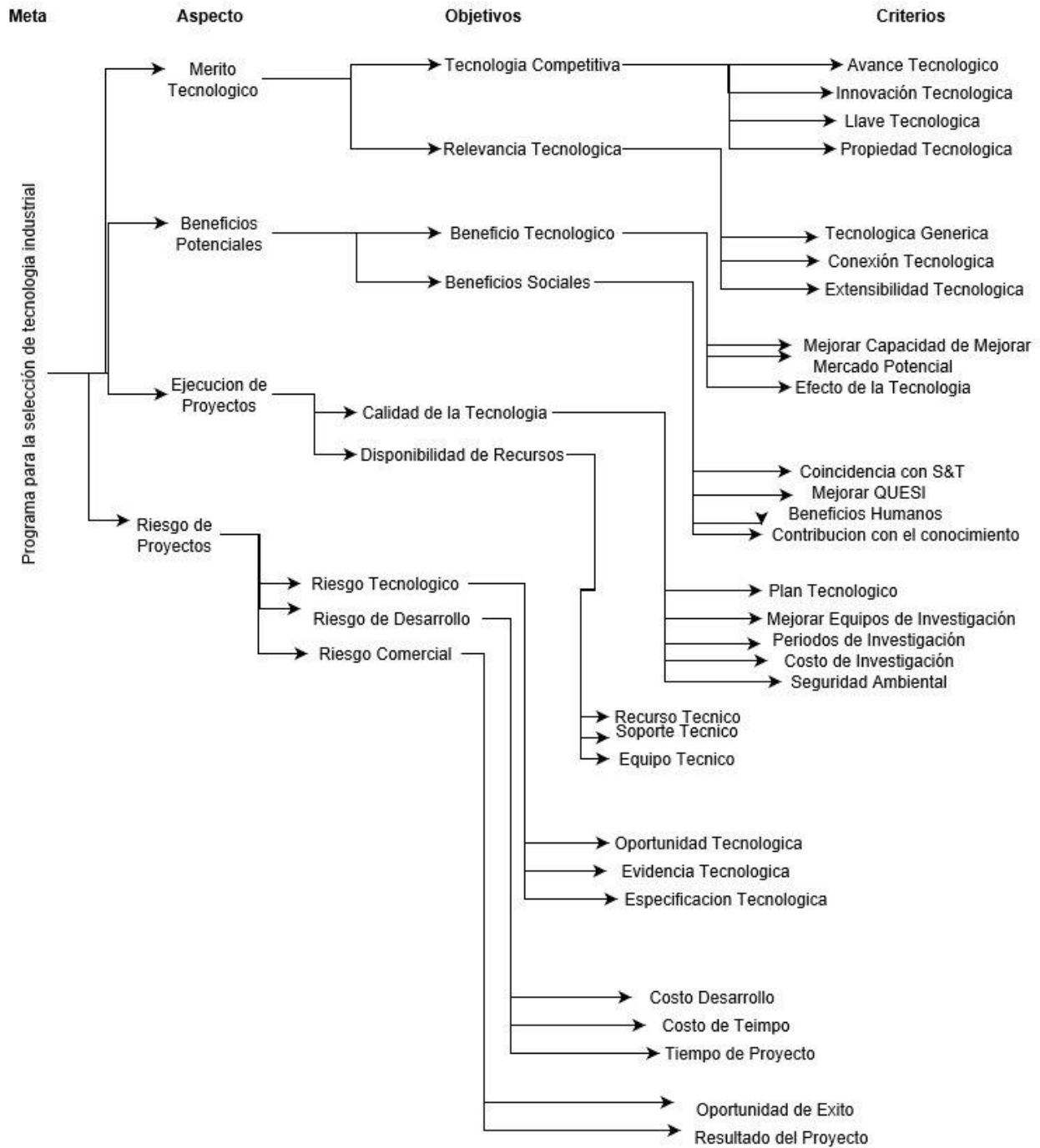
Criterios	Wang y Hwang	Imoto	Meade y Presley	Mohanty	Bitman y Sharif	Huang	Coldrick	Ehrgott
Número de proyectos candidatos	•							
Valor futuro del proyecto, utilidad esperada, retorno de la inversión	•		•	•			•	•
Presupuesto del proyecto i en la etapa j, consistencia del costo	•	•				•		

Habilidades y recursos necesarias/disponibles para el proyecto. Métodos para gestionar.	•		•	•	•	•	•	
Presupuesto para la estrategia j, recursos disponibles	•		•			•		
El proyecto i contribuye a la estrategia j (alineación estratégica)	•		•	•	•		•	
Necesidad de implementación del proyecto i	•	•						
El proyecto i depende del proyecto p	•		•	•	•			
Etapas (I+D, I aplicada, ingeniería)		•	•		•		•	
Dificultad tecnológica		•				•		
Periodo de ejecución necesario, consistencia del tiempo		•				•		
Expectativa de ventas (cuota esperada de mercado)		•		•				
Posibilidad de patentes		•					•	
Probabilidad de éxito técnico (riesgo tecnológico), evidencia de la viabilidad científica			•	•		•	•	
Existencia de proyecto campeón (liderazgo), experiencia en proyectos similares			•	•	•	•		
Extensibilidad (aplicabilidad a otros productos o procesos), Interacción con productos existentes			•	•		•	•	
Tiempo al mercado; oportunidad del éxito tecnológico, el mejor momento para hacer el proyecto			•	•		•		
Probabilidad de éxito en el mercado, riesgo comercial			•	•		•	•	
Tamaño potencial del mercado			•	•		•	•	

Ciclo de vida del producto			•		•			
Número y fuerza de competidores			•	•				
Regulación externa			•	•	•	•	•	
Seguridad			•	•	•	•		
Consideraciones ambientales			•	•	•	•		
Grado de novedad					•	•		
Riesgo económico				•		•		•
Contribución a beneficios intangibles						•		
Influencia de los actores					•			
Impacto en la generación de capacidades propias (competitividad)					•	•		
Fuente de la idea					•			
Propietario de la tecnología						•		
Efectos de "derrame" de la tecnología						•		
Coincidencia con política de Ciencia y Tecnología (C&T)						•		
Contribución al estado del conocimiento						•		
Contenido técnico del plan						•		
Especificación de la tecnología						•		

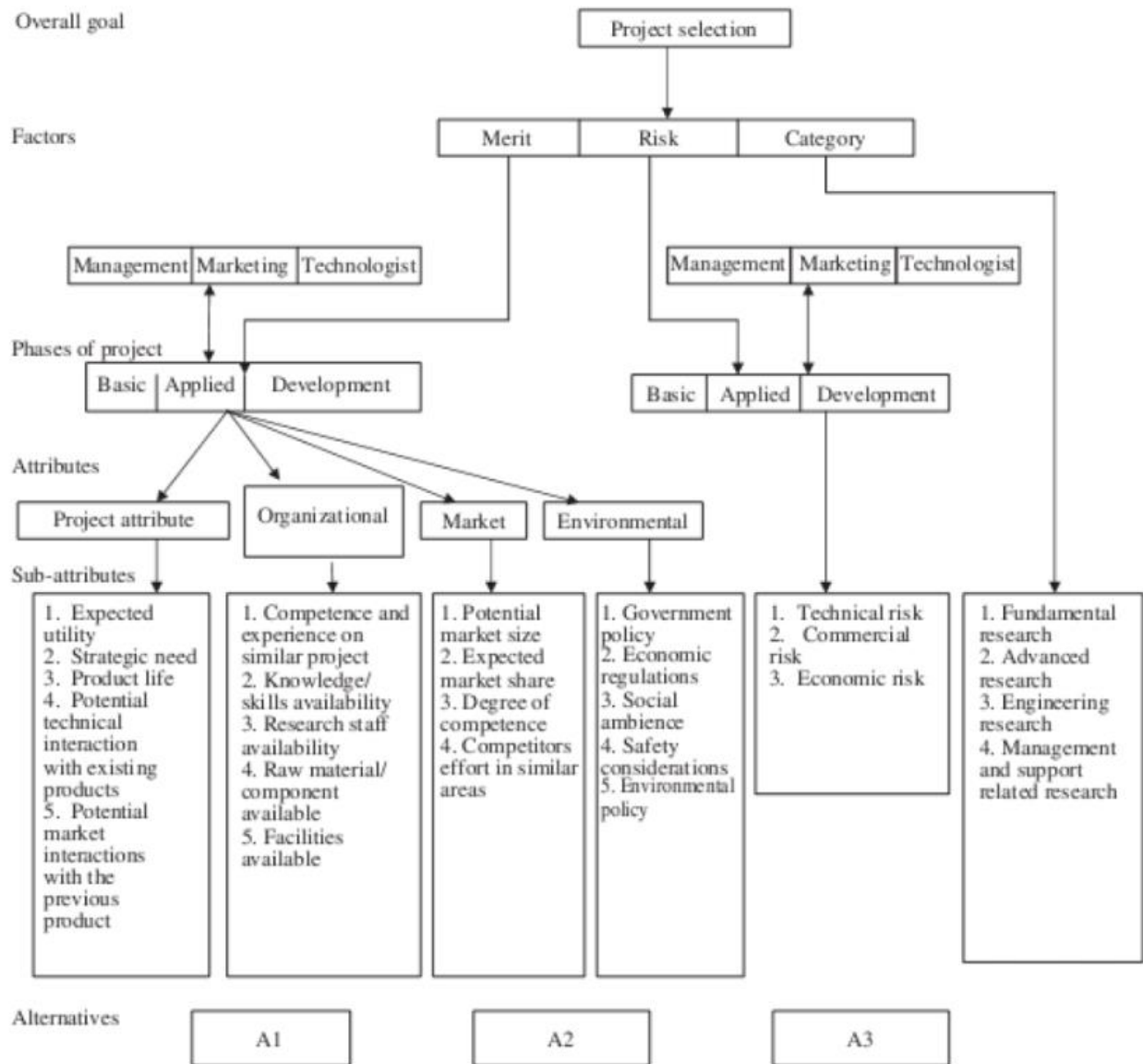
Fuente: Elaboración Propia

Figura 2. Estructura Jerárquica planteada por Huang en 2008



Fuente: Tomado de Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(6), 1038–1052

Figura 3. Estructura Jerárquica planteada por Mohanty en 2005



Fuente: Tomado de Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K. (2005). A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: A case study. *International Journal of Production Research*, 43(24), 5199–5216

En la Tabla 3, se desglosan los criterios estudiados por (Bitman & Sharif, 2008) quienes proponen un cuadro de mando para la evaluación de proyectos, aunque el autor no hace uso de una estructura jerárquica compleja como los anteriores dos autores, si hace uso de una estructura jerárquica simplificada que permite la clasificación de los criterios para llegar a una calificación y ponderación de estos.

Tabla 3. Clasificación de criterios de Bitman y Sharif (2008)

Criterios de primer nivel	Sub criterios
Sensatez y justificación del proyecto	Herramientas necesarias para asegurar la calidad del proyecto
	Habilidades necesarias para asegurar la calidad del proyecto
	Hitos y situaciones convenientes para asegurar la calidad del proyecto
	Métodos para asegurar la calidad y buena gestión del proyecto
	Subcontratos necesarios para asegurar la calidad del proyecto
Razones que hacen atractivo el proyecto	Alineación estratégica del proyecto con la organización
	Actores que influyen el proyecto
	Experiencias previas del líder de proyecto
Asuntos de responsabilidad del proyecto	Asuntos de ética del proyecto
	Asuntos de moral asociados al proyecto
	Implicaciones ecológicas del desarrollo del proyecto
	Limitaciones regulatorias
Asuntos competitividad asociados al proyecto	Capacidades
	Competencias
Grado de innovación del proyecto	Mejoramiento de las dimensiones tecnológicas que aporta el proyecto
	Grado de novedad del proyecto
	Fase del ciclo de investigación en la que se encuentra el proyecto
	Fuente de la idea

Fuente: Tomado de Bitman, W. R., & Sharif, N. (2008). *A Conceptual Framework for Ranking R&D Projects*. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(2), 267–278

(Coldrick et al., 2005) maneja una línea similar a Bitman & Sharif aunque tampoco hace explícita la estructura jerárquica, dicha clasificación se expone en la Tabla 4.

Ehrgott propone un modelo multiobjetivo basado en la idea de maximizar la utilidad global del portafolio independientemente del problema que se busque resolver en la optimización del mismo, para ello considera criterios estándares establecidos por alguna agencia de análisis económico internacional (en este caso, el ranking entregado por la agencia S&P), los cuales se resumen en la Tabla 4 (Matthias Ehrgott et al., 2004).

Tabla 4. Clasificación de criterios de Coldrick et al. (2002).

Filtros	Criterios
----------------	------------------

Técnico	Riesgo técnico para completar el proyecto
	Disponibilidad de recursos técnicos
Estratégico y corporativo	Alineación con el plan estratégico de la compañía
	Potencial del crecimiento del portafolio de productos
	Sinergias con otros productos o procesos
Regulatorio	Riesgo para obtener permisos o licencias exigidas por la regulación
	Capacidad para cumplir futuras regulaciones
Mercado	Efectos sobre la cuota de mercado actual
	Efectos sobre las proyecciones de mercado
	Potencial de nuevos mercados
Financiero	Riesgos asociados a la aplicación comercial
	Potencial retorno sobre la inversión
Implementación	Capacidades para implementar productos y/o procesos
	Probabilidades de patentamiento o protección de propiedad intelectual

Fuente: Tomado de Ehrgott, M., Klamroth, K., & Schwehm, C. (2004). An MCDM approach to portfolio optimization. *European Journal of Operational Research*, 155(3), 752–770

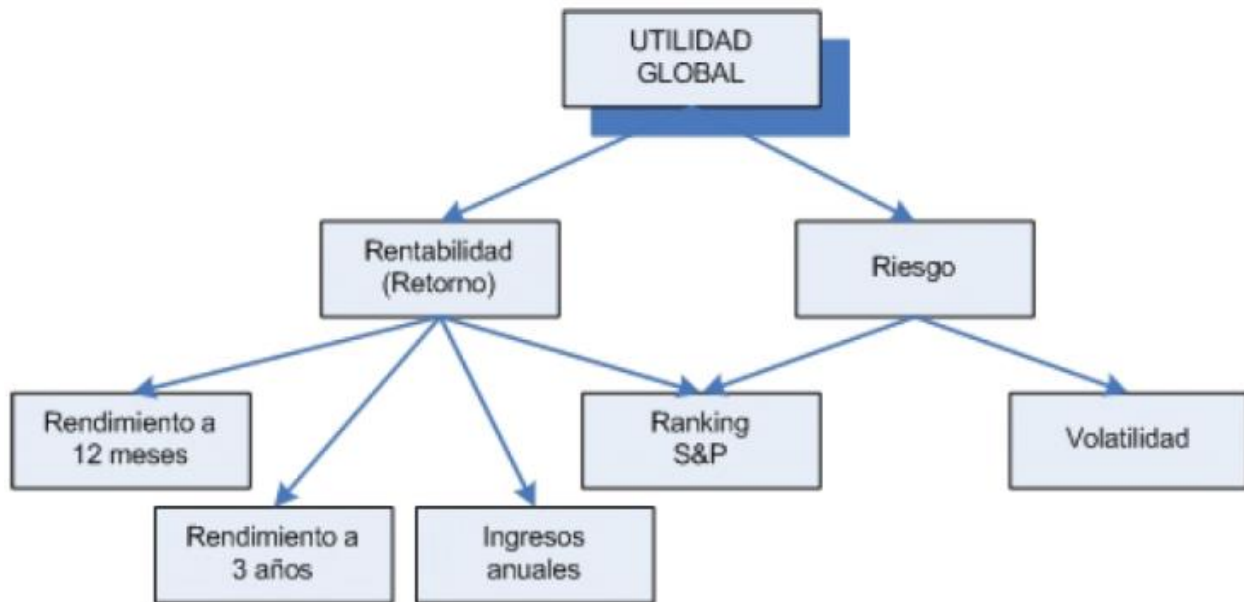
Ehrgott propone un modelo multiobjetivo basado en la idea de maximizar la utilidad global del portafolio independientemente del problema que se busque resolver en la optimización del mismo, para ello considera criterios estándares establecidos por alguna agencia de análisis económico internacional (en este caso, el ranking entregado por la agencia S&P), los cuales se resumen en la figura 4 (Matthias Ehrgott et al., 2004).

Dado los criterios mencionados anteriormente, se hace necesario conocer los métodos evalúan dichos criterios y que son conocidos actualmente.

4.7 Métodos de Selección de Portafolios

Actualmente existen diversos métodos matemáticos, financieros o estadísticos para sustentar los modelos de priorización de proyectos. A continuación, relacionamos algunos de estos métodos que gestionan la priorización de los portafolios de proyectos.

Figura 4. Diversas funciones objetivo propuesta por Ehrgott.



4.7.1 Metodología Dinámica del Sistema (SD)

El enfoque de modelado SD (dinámica del sistema) se ha utilizado en las últimas décadas para el análisis y la mejora del rendimiento de los proyectos, esta técnica fue introducida en 1950 por Jay Forrester. Este modelo se basa en ecuaciones diferenciales, lo que hace bastante sencillo incluir relaciones no lineales, demoras y retroalimentación de información (Rahmandad, 2008).

La dinámica del sistema se emplea a menudo como un enfoque independiente; sin embargo, puede recibir apoyo de otras metodologías para ampliar y mejorar su rendimiento, como por ejemplo simulación de eventos discretos (ABS) en la que los agentes se representan explícitamente en lugar de como una entidad agregada única en el gasto computacional potencialmente mayor. Por lo tanto, el híbrido de simulación SD y ABS puede ayudar a superar dificultades (Haghighi Rad & Rowzan, 2018).

4.7.2 Metodología del análisis de decisión multicriterio (MCDM)

La metodología de análisis multicriterio es lo más cercano a como los seres humanos siempre han tomado decisiones, en donde a pesar de existir varios enfoques, métodos y

técnicas de MCDM, los componentes básicos son los mismos: una serie de acciones definidas (alternativas, soluciones y opciones), al menos dos criterios y una persona que tome decisiones (M. Ehrgott & Gandibleux, 2005).

(Morcos, 2008) define esta metodología como una herramienta que ayuda a las organizaciones a distribuir racionalmente los recursos limitados que posea en los diferentes proyectos que componen la estrategia organizacional, y así seleccionar portafolios eficientes que maximicen la rentabilidad y que estén acordes a los objetivos estratégicos de la organización. El funcionamiento de la metodología es a través de una matriz que permite parametrizar los proyectos candidatos y por medio de una serie de criterios obtener un orden de preferencia de los proyectos analizados. Esta matriz permite comparar escenarios de decisión con otros casos en los que se haya generado algún tipo de evaluación.

De acuerdo a (Majumder, 2015), los pasos para la toma de decisiones son:

- Identificar el objetivo del proceso de toma de decisión.
- Seleccionar los criterios, parámetros y los factores de decisión.
- Seleccionar alternativas.
- Seleccionar el método de ponderación que represente la importancia de cada criterio.
- Implementar el método de incorporación.
- Toma de decisiones basado en los resultados de la incorporación.

De la mano con los pasos básicos de decisión, (Majumder, 2015) establece un proceso para el MCDM basado en principios de trabajo, los cuales son:

- **Selección del criterio:** Esta debe ser coherente con la decisión, tanto criterio como decisión son independientes uno del otro, ambos deben estar representados en la misma escala, deben ser medibles y que no se encuentren relacionados con las alternativas que se van a evaluar.
- **Selección de alternativas:** Deben ser factibles, prácticas, comparables y reales.

- **Selección del método de ponderación que representa la importancia de cada criterio:** La selección de este método debe estar enmarcado en el método compensatorio, como el proceso de jerarquía analítica, el proceso difuso de MCDM, o en los procesos clasificables.
- **Método de incorporación:** El resultado de esta incorporación identificará de todas las opciones la mejor alternativa, a través de un método que utilice producto, promedio o una función para la puntuación.

4.7.3 Metodología de optimización de enjambre de partículas (PSO)

La selección de la cartera de proyectos (PPS) es uno de los problemas de toma de decisiones más importantes para la mayoría de las organizaciones en la gestión de proyectos y la gestión de ingeniería (Lean et al. 2012), El rendimiento del enfoque de la solución se compara con un algoritmo conocido, llamado optimización de enjambre de partículas (PSO) por medio de cuatro indicadores prominentes : la aptitud media obtenida, la desviación estándar, la desviación del porcentaje relativo y el tiempo de ejecución. Incluye restricciones intrínsecas como el presupuesto, los recursos disponibles, así como algunas limitaciones extrínsecas y técnicas del mundo real (Tofighian, Moezzi, Khakzar Barfuei, & Shafiee, 2018).

Para facilitar la gestión eficaz del trabajo y cumplir con los objetivos estratégicos del negocio bajo Incertidumbre y riesgo se puede utilizar la programación estocástica y la programación difusa teniendo en cuenta los periodos múltiples y la posible inversión de presupuesto adicional para cada período en instituciones financieras. El principal objetivo del modelo propuesto es maximizar la ganancia neta obtenida al invertir el presupuesto disponible bajo incertidumbre y riesgo son dos componentes sustanciales de las condiciones del mundo real, donde las características constantes de los proyectos es iniciar, continuar y finalizar sin ninguna pausa (Tofighian et al., 2018).

4.8 Estado del Arte

Según el Project Management Institute, "La gestión del portafolio, del programa y del proyecto deben estar alineadas e impulsadas por las estrategias organizativas, sin

embargo, cada uno contribuye de manera diferente al logro de los objetivos estratégicos" (Project Management Institute., 2017). Este papel importante de la gestión del portafolio provocó que los investigadores profundizaran sobre la clasificación de proyectos y la selección de estos.

Hace más de seis décadas Henry Markowitz utilizó este término en el campo de las finanzas en 1952 proponiendo un método de selección donde se consideraba como rasgo fundamental la conducta racional del inversor que facilite la composición del portafolio que maximice la rentabilidad del portafolio con cierto nivel de incertidumbre o un portafolio con mínimo riesgo a una rentabilidad esperada (Markowitz, 1952).

El modelo de Markowitz sugiere tres hipótesis (Markowitz, 1952):

1. **La rentabilidad** del portafolio es una variable aleatoria subjetiva, cuya probabilidad para el periodo de referencia es conocido únicamente por el inversor. El valor medio de esta variable se acepta como medida de la rentabilidad de la inversión.
2. **La dispersión**, se acepta como medida del riesgo usando la varianza o la desviación estándar, de la variable aleatoria de la rentabilidad, ya sea de forma individual o portafolio.
3. **La conducta** del inversor lo llevará a preferir aquellos portafolios con mayor rentabilidad y menor riesgo.

Con lo anterior, el método se reduce a dos etapas. En la primera se determina el conjunto de portafolios que generaran la máxima rentabilidad para un riesgo determinado, o bien, aquellos portafolios que proporcionan un mínimo riesgo para una rentabilidad determinada. Y en la segunda etapa se determina el portafolio óptimo que produce una mayor rentabilidad para un riesgo dado (Markowitz, 1952).

Como conclusión, si la correlación entre la rentabilidad de los portafolios es perfecta y negativa, la diversificación puede hacer desaparecer completamente el riesgo del portafolio y la rentabilidad del portafolio viene como consecuencia de obtener el punto de equilibrio (Markowitz, 1952).

Inicialmente, la selección de proyectos era cómodamente manejable debido a que la competencia empresarial era mínima y los analistas podrían tomar decisiones intuitivamente o con modelos sencillos, sin embargo, desde 1950 la competencia ha venido aumentando y la necesidad de optimizar los recursos ha llevado a que la decisión de selección de proyectos se tome con apoyo de modelos matemáticos (N. R. Baker & Pound, 1964).

(N. Baker & Freeland, 1975) establecieron que las técnicas de selección de proyectos se pueden clasificar en dos categorías:

- Técnicas de medidas de beneficio; y
- Técnicas de selección de proyectos y asignación de recursos.

La primera de estas fue aceptada, ampliada y matizada por autores como (Liberatore & Titus, 1983), (Martino, 1995), (Heidenberger & Stummer, 1999) y (Archer & Ghasemzadeh, 1996), quienes consideraban que se pueden establecer tres grupos en vez de dos como lo sugiere Baker haciendo que la última se divida en dos y quedando de la siguiente forma:

1. Técnicas de medidas de beneficio donde se pueden encontrar:
 - Modelos económicos;
 - Modelos de teoría de la decisión: tablas de decisión y árboles de decisión; y
 - Métodos basados en pesos y ordenación (ranking)

Varios de estos modelos han sido utilizados por autores como (Freeman, 1982) quien fundador y primer director de Unidad de Investigación de Políticas Científicas en la Universidad de Sussex, (Ellis, 1984), (Graves & Rinquist, 1996), (Lowell D. Dye, 1999) entre otros.

2. Otras técnicas, donde las más utilizadas han sido los análisis:
 - Cluster
 - DEA
3. Modelo de programación matemática, donde podemos encontrar

- Programación Mono objetivo;
- Programación Multiobjetivo; y
- Programación por metas

Los anteriores modelos se han venido utilizando en trabajos realizados por autores como (Henriksen & Traynor, 1999), (Spradlin & Kutoloski, 1999), (Linton, Walsh, & Morabito, 2002), (Coldrick et al., 2005), (Gustafsson & Salo, 2005)(Lawson, Longhurst, & Ivey, 2006) o incluso los de (Brans, Vincke, & Mareschal, 1986) donde utilizan más de una técnica para la selección de proyectos mostrando que no es necesario utilizar solo una técnica, sino al contrario que se pueden combinar diferentes modelos para realizar la selección.

Uno de los modelos que se viene manejando a lo largo de los años es el Análisis Envolvente de Datos (DEA) el cual aparece en el trabajo que realizó (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978), en el cual media la eficiencia de un conjunto de unidades similares conocidas como unidades de decisión (DMU) con el uso de programación lineal, estas unidades se evalúan por medio de un conjunto de variables input para obtener un conjunto de variables output.

Los proyectos por evaluar poseen caracterizado un vector observado de inputs y unos vectores de outputs, es decir, donde estos proyectos consumen P inputs en cantidades variables y generan Q outputs, en cantidades variables. Para calcular la eficiencia técnica de cada unidad de decisión DMU, se hace por medio del modelo CCR, el cual, a partir de la ratio entre la suma ponderada de sus outputs y la suma ponderada de sus inputs, donde se tiene pesos $U_r - V_k$, las cuales son variables por identificar, para que se maximice la ratio.

El ejercicio anterior aplica para todos los proyectos que se quieren evaluar proporcionándole a la función objetivo el grado de eficiencia o ineficiencia para así compararlos con el resto. Un proyecto es eficiente si su ratio es igual a uno, lo cual ocurre cuando hay un conjunto de ponderaciones del proyecto tengan las mejores prácticas en

relación a sus input y outputs, en caso contrario cuando es inferior a uno quiere decir que existen otros proyectos que pueden hacer más con los mismos recursos o hasta con menos recursos.

Este modelo se ha realizado muchas veces en el transcurso de los años, así como también se han implementado mejoras como se observa en la selección de portafolio de proyectos con los trabajos de (Cooper, Park, & Yu, 1999), (Linton et al., 2002), (Cook, 2004), (Eilat, Golany, & Shtub, 2006).

El trabajo de Markowitz brindó grandes aportes al problema de la selección de portafolios; sin embargo, trabajos posteriores han postulado que la falta de componentes de la vida real en la formulación del problema genera que los resultados obtenidos no sean precisos. Como es el caso de Giacomo di Tollo, quien propone al menos tres restricciones que deben ser incorporadas al problema propuesto inicialmente por Markowitz, pero al mismo tiempo elevan la complejidad a nivel de procesamiento de datos, conllevando a utilizar más recurso computacional a tal punto de ser inmanejable incluso hasta para pequeños portafolios (Tollo, Roli, Chieti-pescara, Pescara, & di tolo, 2008).

Las tres restricciones propuestas por Giacomo di Tollo son:

1. **Cardinalidad:** El número de proyectos que conforman el portafolio debe ser limitado, lo cual se logra introduciendo una variable binaria de decisión para cada proyecto que aspira a ser parte del portafolio. Por lo tanto, es necesario definir que la sumatoria de las variables debe ser igual al número de proyectos requeridos en el portafolio (Tollo et al., 2008).
2. **Mínimos y Máximos de cada constituyente del portafolio:** Para evitar el manejo de pequeños lotes de proyectos, es necesario incluir información sobre el rango permitido para cada constituyente del portafolio (Tollo et al., 2008).
3. **Lotes mínimos de transacción:** En la formulación inicial la cantidad de acciones se consideraba como una variable continua. Sin embargo, en la realidad las acciones se transan en pequeños lotes, lo que transforma la variable de continua a mixta de tipo entero continuo (Tollo et al., 2008).

Yaghootkar y Gil (Yaghootkar & Gil, 2012) analizaron el problema cómo compartir recursos hábiles entre varios proyectos paralelos impulsados por horarios que presentaba el proyecto proceso de gestión en entornos multiproyecto con recursos limitados a través de un método basado en la técnica de simulación SD. Los resultados arrojaron que una política de programación podría llevar a disminuir en la rentabilidad y crear desviaciones en los hitos del proyecto. Yang y Yeh (Yang & Yeh, 2014) reconocieron la dinámica del sistema como un método eficaz para Controlar los riesgos externos de los proyectos. Como conclusión este estudio arrojó que la técnica del SD permite al gerente de proyecto estudiar la relación entre los factores de riesgo para reducir los efectos negativos de los retrasos y las interrupciones.

Rashedi y Hegazy (Rashedi & Hegazy, 2016) desarrollaron un modelo basado en la dinámica del sistema para examinar los efectos de políticas estratégicas como el presupuesto, desarrollo de la infraestructura y la sostenibilidad de los proyectos. Los resultados demostraron que el modelo puede evaluar la eficiencia de varias soluciones de planificación de proyectos convirtiéndose en un apoyo fundamental para las personas que toman decisiones al interior de las organizaciones. Wang, Kunc y Bai (L. Wang, Kunc, & Bai, 2017) implementaron un modelo SD para alineación dinámica de proyectos bajo condición incierta. El modelo permite la evaluación de acciones correctivas basadas en la dinámica y el comportamiento de los componentes del portafolio. El sistema diseñado apoya al personal encargado de la toma decisiones con respecto a la identificación de estrategias contra interrupciones que se presenten en la fase de ejecución del proyecto. Los resultados demostraron la importancia de implementar acciones de corrección para evadir las fluctuaciones de rendimiento y los residuos de recursos.

5 METODOLOGÍA

Según lo mencionado por Fideas Arias el marco metodológico es un conjunto de pasos a seguir para responder un problema planteado (Arias, 2012). Lo anterior indica que es necesario identificar el paso a paso a para desarrollar la solución a la problemática expuesta en capítulos anteriores.

5.1 Tipo, Enfoque y Diseño de la Investigación

Según (Babbie, 2014) la experimentación elige realizar una acción y después observa las consecuencias y/o resultados de esa acción comparada con otra. Por lo tanto, la actual investigación se define como una investigación de **tipo experimental** que busca evaluar el desempeño de una técnica propuesta que evalúe los criterios que se le asignan a un portafolio de proyectos y así mismo priorice aquellos que se ejecutaran primero contra la técnica que es utilizada actualmente por las organización y los gerentes de proyectos, lo anterior se pretende realizar mediante técnicas de inteligencia artificial y observar cómo se comporta esta técnica en su desempeño así como en los resultados que arroje la experimentación final.

Por otra parte, se considera una investigación de **desarrollo de tecnológico**, debido a que se implementará un desarrollo de software para entrenar máquinas virtuales que logren entender cómo se evalúan los portafolios de proyectos y de esta manera poder realizar la priorización de una forma más ágil, lo anterior se define de acuerdo a lo mencionado por (Hernández Meléndrez, 2006) “El sello distintivo de este tipo de investigación es estar orientado hacia la obtención de productos tangibles y visibles”.

Para culminar, esta investigación posee un **enfoque cuantitativo** dada la serie de análisis matemáticos y/o estadísticos que se aplicarán a determinadas variables y/o datos con el fin de comprobar la (s) hipótesis formulada(s) y así observar el comportamiento en un entorno no controlado.

5.2 Descripción de la Metodología

Para llevar a cabo el objeto de estudio expuesto en este documento se implementará una metodología dividida en cuatro (4) fases que se muestran a continuación:

FASE 1 - Revisión bibliográfica: En esta fase se realizará un estudio de las técnicas y metodologías que actualmente se usan para evaluar portafolios de proyectos, así como

la identificación de los criterios que diferentes actores utilizan para evaluar los componentes que conforman un portafolio y permiten que la priorización de los proyectos sea más eficiente y más acertada.

FASE 2 - Criterios a Evaluar: Con base a los resultados que arroje la primera fase, se definirán los criterios que serán evaluados en el modelo propuesto en la actual investigación para la priorización de los proyectos que conforman un portafolio.

FASE 3 - Modelo Matemático: Partiendo de los criterios definidos en la fase anterior, se identificará un modelo matemático que se ajuste a la implementación requerida, y se realizará la elección del software que facilite el desarrollo del algoritmo que evaluará los criterios definidos; por último, es importante obtener bases de datos que contengan información histórica, que pueda ser analizada y así entrenar el algoritmo y observar su comportamiento comparado con las técnicas actuales.

FASE 4 - Implementación de un algoritmo de IA: En esta última fase se procederá a desarrollar el algoritmo con técnicas de IA para entrenarlo de forma tal que pueda valorar por si solo los criterios y pueda priorizar la pila de proyectos que conforman el portafolio evaluado, se espera también hacer pruebas controladas del software para observar su comportamiento con respecto a las técnicas usadas en la actualidad.

Tabla 5. Definición de Actividades

FASE 1 - Revisión bibliográfica	FASE 3 - Modelo Matemático
<ol style="list-style-type: none"> 1. Revisión de Investigaciones realizadas anteriormente por medio de las bases de datos de la Universidad. 2. Identificación el Estado del Arte que definirán los antecedentes de la evaluación y priorización de portafolios de proyectos. 3. Comprensión de la definición de Portafolio, así como la Gestión, evaluación y priorización del mismo. 4. Elaboración fichas bibliográficas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definición de los criterios que compondrán el modelo propuesto por medio de un instrumento de recolección de datos. 2. Formulación y definición de la metodología a emplear. 3. Selección del software y base de datos a utilizar. 4. Definición y Parametrización de variables que compondrán el algoritmo a desarrollar.

<p>FASE 2 - Criterios a Evaluar</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificación los criterios de evaluación que han utilizado diferentes autores en estudios e investigaciones anteriores. 2. Identificación las metodologías de evaluación y priorización de proyectos que se han usado a lo largo de los años. 3. Identificación la técnica metaheurística más apropiada para la evaluación y priorización de portafolio de proyectos. 4. Elaboración un estado del arte y un marco teórico. 5. Identificación de Variables Independientes y Dependientes de la investigación. 6. Formulación de la (s) hipótesis. 	<p>FASE 4 - Implementación de un algoritmo de IA</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Definición y documentación del diagrama de flujo del algoritmo a desarrollar. 2. Programación del algoritmo. 3. Pruebas del algoritmo desarrollado. 4. Creación de la API 5. Documentación final 6. Resultados, Conclusiones y Recomendaciones
--	--

Fuente: Elaboración Propia

Por último, se pretende obtener una amplia documentación de las fases descritas anteriormente.

Las fases anteriormente mencionadas se desglosan en diversas actividades las cuales se reflejan en la Tabla 5. Y en la Figura 5 se establece el cronograma de trabajo para cumplir con el objetivo de esta investigación

		de acuerdo a la ponderación que los gerentes de proyecto asignan a cada criterio y que permitirá priorizar los proyectos que componen el portafolio a evaluar.	
Criterios por Evaluar	Tiempo de Evaluación en cantidad de criterios por evaluar	Los criterios por evaluar tienen relación con el tiempo de evaluación en cuanto al periodo que los gerentes de proyectos invierten en este proceso con la metodología que priorice portafolio de proyectos y según la cantidad de criterios que se deseen evaluar.	Unidad de tiempo. Numérica Continua.
Técnica por utilizar	Desempeño de la propuesta con base a la técnica por utilizar	La relación se basa en la variedad de técnicas y/o metodologías utilizadas para la evaluación de Portafolio de proyectos.	Unidad. Numérica Discreta.
Técnica por utilizar	Tiempo de Evaluación según la técnica a utilizar	La relación consiste en la rapidez o lentitud con la que la técnica realiza la priorización del portafolio de proyectos.	Unidad. Numérica Discreta.
Sector Industrial del Portafolio de Proyecto	Desempeño de la propuesta según el sector industrial	La relación del sector industrial de la organización con respecto al modelo de priorización del portafolio hace posible su delimitación en cuanto a	No Numérica Categorica.

		estudio, resultados y conclusiones.	
Dimensión del Portafolio de Proyectos	Desempeño de la propuesta según la dimensión del portafolio de proyectos	La dimensión del portafolio tiene relación con el desempeño de la propuesta según el tamaño del portafolio para identificar un mínimo y un máximo de proyectos a evaluar.	Unidad. Numérica Discreta

Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo a lo descrito en la Tabla 6, las variables dependientes tienen relación directa con las variables independientes las cuales afectan el desempeño de la propuesta para evaluar portafolio de proyectos, la relación que guardan variables dependientes e independientes radica en una comparación de los métodos actuales contra el método propuesto el cual necesita de las variables utilizadas por los modelos ya existentes; se identifican distintos tipos de variable y medición de las mismas como son variables numéricas finitas, variables numérica continuas y variables categóricas, las cuales son las más difícil de evaluar debido a que se deberá realizar una técnica matemática/estadística para volverlas numéricas y lograr así su evaluación tanto como la extracción de la información que esta ofrece.

7 HIPÓTESIS

El tiempo que invierte el modelo propuesto para evaluar y priorizar los componentes de un portafolio es menor al tiempo que hoy invierten los gerentes de proyectos en este proceso con la metodología actual sin importar la cantidad de criterios que se deseen evaluar.

El desempeño del modelo propuesto para la evaluación de portafolios es comparable con el desempeño de las técnicas que actualmente utilizan las organizaciones, teniendo en cuenta la cantidad de criterios que intervienen en la evaluación, así como la cantidad de proyectos a evaluar.

8 MODELO PROPUESTO

El modelo planteado a continuación tiene como objetivo evaluar un portafolio de proyectos optimizando tiempos y desempeños de los modelos actuales, para lo cual se ha define una función objetivo expresada de la siguiente forma

$$\textit{Proyecto Priorizado} = \sum_{(cf)} + \sum_{(cm)} + \sum_{(ci)} + \sum_{(cr)} + \sum_{(ct)}$$

Está función objetivo se construye tomando como base los criterios mencionados en la tabla 2 que se encuentra en la sección 4.6, dichos criterios fueron evaluados en expresiones matemáticas y categorizados, dando como resultado la Tabla 7.

Tabla 7. Categorización y Expresiones Matemáticas Criterios de Evaluación

Criterios	Expresión Matemática	Categoría
Número de proyectos candidatos	# Proyectos Candidatos= PC1+PC2+PC3+PCn...	Estratégico y corporativo
Valor futuro del proyecto, utilidad esperada, retorno de la inversión	Valor Futuro= VA*(1+i)^n	Financiero
Presupuesto del proyecto i en la etapa j, consistencia del costo	SV+SPI+CV+CPI	Financiero
Estimación de esfuerzo	Sumatoria de tiempos que le dedicaran los diferentes recursos	Implementación
Expectativa de ventas (cuota esperada de mercado)	Participación de Mercado en Unidades (%)= ((Total Unidades vendidas por la empresa)/(Total Unidades vendidas por el mercado))	Financiero
	Participación de Mercado en Ventas (%)=((Total de ventas de la empresa en valores monetarios \$)/(Total Ventas del Mercado en valores monetarios \$))	Financiero
Posibilidad de patentamiento	Regla de Laplace: P(A)= #Favorable de "A"/ número de casos Totales 0<=(A)<=1	Regulatorio
Probabilidad de éxito técnico (riesgo tecnológico), evidencia de la viabilidad científica	IRT=Rf*(1+F)	Técnico
Probabilidad de éxito en el mercado	Probabilidad de fracaso [%] = (1 – Dependencia de terceros x Conocimiento del Mercado x Inversión necesaria) x 100	Mercado

Demanda potencial del Mercado	$Q = n \cdot p \cdot q$	Mercado
Riesgo económico	$VaR = R - z \cdot \delta \cdot V$	Financiero

De acuerdo a lo descrito en la Tabla 7 cada grupo de criterios se define de la siguiente forma:

$\Sigma(cf)$ = Sumatoria de Grupo de Criterios Financieros

$\Sigma(cm)$ = Sumatoria de Grupo de Criterios de Mercado

$\Sigma(ci)$ = Sumatoria de Grupo de Criterios de Implementación

$\Sigma(cr)$ = Sumatoria de Grupo de Criterios Regulatorios

$\Sigma(ct)$ = Sumatoria de Grupo de Criterios Tecnicos

El grupo de criterios financieros se puede expresar de la siguiente forma

$$\Sigma_{(cf)} = Vf + CV + CPI + SV + SPI + \textit{Participación del Mercado} + VaR$$

Dónde:

Vf=Valor Futuro

CV=Variación del Costo

CPI=Índice de desempeño del costo

SV=Variación del Cronograma

SPI=Índice de desempeño del cronograma

Participación del Mercado=Participación de Mercado Expresado en Unidades o Ventas

VaR=Riesgo Económico

Criterios que pueden ser expresados de la siguiente forma:

$$Vf = VA + (1 * i)^n$$

El **valor futuro** es definido por la organización de acuerdo a sus objetivos estratégicos y al valor que desea recuperar de la inversión realizada. Según (N. S. Chain, 2011) Las evaluaciones de portafolios conllevan a modificar una situación existente, incluyendo las inversiones que las empresas realizan, para esta evaluación el gerente de proyectos debe comparar y analizar la variación en la creación de valor futuro que tendría optar por una inversión (o desinversión) en relación con el valor que se podría esperar si se mantiene la situación actual. Una opción que siempre se debe considerar al tomar una

decisión es la de mantener las condiciones de funcionalidad vigentes las cuales se detallan a continuación:

$V_f \geq$ Meta de la Organización entonces 1

$V_f <$ Meta de la Organización entonces 0

De acuerdo a (Project Management Institute., 2017) La **variación del costo** (CV) es una medida del desempeño del costo en un proyecto, “la cual se puede definir como el déficit o superávit presupuestario en una etapa determinada del proyecto”. La CV es un criterio crítico a tener en cuenta dentro de la priorización de un portafolio de proyectos porque expresa la relación entre el desempeño real del proyecto y los costos incurridos del mismo. Una CV negativa es a menudo difícil de recuperar para el proyecto. Su fórmula y condiciones son como se presentan a continuación:

$$CV = (EV - AC)$$

CV=0 proyecto con gastos de acuerdo al presupuesto

CV>0 proyecto con gastos menores al presupuesto

CV<0 proyecto con gastos mayores al presupuesto

El (Project Management Institute., 2017) considera al **índice de desempeño del costo** (CPI) como una “medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real”. Se considera la métrica más crítica del valor ganado y mide la eficiencia del costo para el trabajo completado de los proyectos que conforman un portafolio. Su fórmula es:

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

Un valor de CPI inferior a uno (1) indica un costo superior al planificado con respecto al trabajo completado y un valor de CPI superior a uno (1) indica un costo inferior con respecto al desempeño hasta la fecha (Project Management Institute., 2017).

CPI=1 proyecto con costos de acuerdo a lo planificado

CPI>1 proyecto con sobrecostos

CPI<1 proyecto con costos por debajo de lo planificado

La **variación del cronograma** (SV) es una medida que determina en qué medida el proyecto está adelantado o retrasado en una etapa determinada. En la priorización de portafolios, la variación del cronograma es una métrica útil, ya que puede identificar un retraso o adelanto del proyecto con respecto a la línea base del cronograma. Su fórmula y condiciones son como siguen (Project Management Institute., 2017):

$$SV = (EV - PV)$$

SV=0 progreso del proyecto en el cronograma, conforme a lo planificado

SV>0 progreso del proyecto en el cronograma, mejor que lo planificado

SV<0 proyecto del proyecto en el cronograma, por debajo de lo planificado

El **índice de desempeño del cronograma** (SPI) de acuerdo al (Project Management Institute., 2017) es una medida que refleja la medida de la eficiencia con que el equipo del proyecto está llevando a cabo el trabajo.

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

Un valor de SPI inferior a uno (1) indica que la cantidad de trabajo llevada a cabo es menor que la prevista. Un valor de SPI superior a uno (1) indica que la cantidad de trabajo efectuada es mayor a la prevista(Project Management Institute., 2017).

SPI=1 proyecto acorde al cronograma

SPI>1 proyecto adelantado con respecto en el cronograma

SPI<1 proyecto con retraso con respecto al cronograma

Solo conociendo con detalle qué hacen las empresas de la industria o el sector el gerente de proyectos podrá diagnosticar las causas de éxito o fracaso de un proyecto en la evaluación del portafolio. Con base en estos antecedentes o lecciones aprendidas, se podrá definir una estrategia comercial competitiva que permita lograr la **participación de mercado** esperada expresada en unidades o ventas (N. S. Chain, 2011).

$$\% \text{ Participación del Mercado}_{(Uds)} = \frac{\text{Total Uds Vendidas Organización}}{\text{Total Uds Vendidas Mercado}}$$

$$\% \text{ Participación del Mercado}_{(\text{Ventas})} = \frac{\text{Total Ventas por la Organización } (\$)}{\text{Total Ventas por el Mercado } (\$)}$$

El éxito que tendrá un proyecto para incorporarse a un mercado particular dependerá de las barreras de entrada generadas por nuevos competidores existentes en él (N. S. Chain, 2011). La meta de participación del mercado la define la organización ya sea por unidades vendidas o ventas en valores monetarios y es modelada con las siguientes condiciones

Participación del Mercado \geq Meta de la Organización entonces 1

Participación del Mercado $<$ Meta de la Organización entonces 0

El VaR paramétrico es un método para estimar el VaR (**Valor en Riesgo económico**) utilizando datos de rentabilidad estimados y asumiendo una distribución normal de la rentabilidad. También se conoce como método varianza-covarianza o método analítico. Cuando tenemos los datos de rentabilidad esperados y el riesgo histórico (medido por la desviación típica) utilizamos la siguiente fórmula (Jorion, 2007):

$$VaR = |R - (z * \delta)| * V$$

Siendo R, la rentabilidad esperada, z, el valor correspondiente para un nivel de significancia (por ejemplo 1,645 para 5%), δ , la desviación típica de la rentabilidad y V, el valor de la inversión (Jorion, 2007). La meta del riesgo económico la define la organización de acuerdo al riesgo que está dispuesto a asumir, siendo sus condiciones las siguientes

VaR \geq Meta de la Organización entonces 0

VaR $<$ Meta de la Organización entonces 1

Según lo anterior se define:

VA=Valor Presente

i=Interés que se obtendrá por cada periodo que se invertirá el dinero

n=# de periodos de duración del proyecto

EV=Valor Ganado expresado como PV (Valor Planificado) a la fecha * % Avance (De las actividades a la fecha). Costo presupuestado del trabajo programado para ser completado de una actividad o componente de la EDT hasta un momento determinado.

AC=Costo total (costos directos e indirectos) incurrido en la realización del trabajo de la actividad del cronograma o el componente de la EDT durante un periodo de tiempo determinado.

PV=Costo presupuestado del trabajo programado para ser completado de una actividad o componente de la EDT hasta un momento determinado.

R=Rentabilidad Esperada

Z=Valor correspondiente para un nivel de significancia Ej:1.645 para 5%

δ=Desviación típica de la rentabilidad

V=Valor de la inversión

Continuando con el grupo de criterios de mercado, dicho grupo se puede expresar de la siguiente forma

$$\Sigma_{(cm)} = X + Q$$

Dónde:

X=Probabilidad de éxito o fracaso en el mercado

Q=Demanda potencial del mercado

La **probabilidad de éxito o fracaso en el mercado** se puede evaluar con la distribución desarrollada por *Jackob Bernoulli* y es la principal distribución de probabilidad discreta para variables dicotómicas, es decir, que solo pueden tomar dos posibles resultados (Casas, 2010). Bernoulli definió el proceso el cual consiste en realizar un experimento aleatorio una sola vez y observar si cierto suceso ocurre o no, siendo p la probabilidad de que ocurra (éxito) y $q=1-p$ de que no ocurra (fracaso), por lo que la variable solo puede tomar dos posibles valores, 1 si ocurre y 0 sino sucede (Casas, 2010).

$$X = 1 \text{ --- } P[\text{Éxito}] = p \rightarrow P[X = 1] = p$$

$$X = 0 \text{ --- } P[\text{Fracaso}] = 1 - p \rightarrow P[X = 0] = 1 - p$$

entonces se dice que X es una variable aleatoria discreta que se distribuye como parámetro “ p ” donde “ p ” es la probabilidad de obtener éxito (Casas, 2010), y se expresa

$$X \rightarrow B(p)$$

En esta distribución 1-p se suele denotar como q, y tanto la esperanza como la varianza vienen dadas por las siguientes expresiones (Casas, 2010):

$$E(x) = (1 * p) + (0 * q) = p$$

$$V(x) = (p * p) = (p * (1 - p)) = (p * q)$$

El criterio de **Demanda potencial del mercado** permite identificar o comprender el potencial de un proyecto que hace parte de un portafolio y así satisfacer los objetivos estratégicos de la organización, todo esto en el marco de las restricciones presupuestarias que la compañía posee en su interior (N. S. C. Chain & Reinaldo Sapag, 1989). Dicho criterio se define de la siguiente forma

$$Q = n * p * q$$

Dónde:

n=# de compradores posibles para el mismo tipo de producto en un determinado mercado

p= precio promedio del producto en el mercado

q= cantidad promedio de consumo per cápita en el mercado

La meta del potencial debe ser definida por la organización de acuerdo a sus objetivos estratégicos y el potencial del mercado que está dispuesto a obtener, basado en las siguientes condiciones

Q >= Meta de la Organización entonces 1

Q < Meta de la Organización entonces 0

El grupo de criterios de implementación se puede expresar de la siguiente forma

$$\sum_{(ci)} = E$$

Dónde:

E= Esfuerzo

El cual hace referencia a la suma de los tiempos que le dedicaran los diferentes recursos al proyecto que hace parte del portafolio (N. S. C. Chain & Reinaldo Sapag, 1989)

$$E = \sum \frac{t}{r}$$

Dónde:

t=Tiempo

r=Recurso

La meta de esfuerzo la define la organización de acuerdo al esfuerzo que requiere para cada proyecto basado en las siguientes condiciones

E=Meta Esfuerzo realizado acorde al Esfuerzo Planificado

E>Meta Esfuerzo realizado superior al Esfuerzo Planificado (Sobre ejecución de recursos)

E<Meta Esfuerzo realizado inferior al Esfuerzo Planificado (Recursos no están bien distribuidos)

El grupo de criterios regulatorios se puede expresar de la siguiente forma

$$\sum_{(cr)} = P(A)$$

Dónde:

P(A)=Posibilidad de patentamiento que puede ser expresada como

$$P(A) = \frac{\textit{Favorabilidad de A}}{\# \textit{ casos Totales por patentar}}$$

Con la condición $0 \leq P(A) \leq 1$

El grupo de criterios técnicos se puede expresar de la siguiente forma

$$\sum_{(ct)} = IRT$$

Dónde:

IRT=Probabilidad de éxito técnico (riesgo tecnológico), evidencia de la viabilidad científica que puede ser expresada como

$$IRT = rf * (1 + F)$$

La meta de IRT la define la organización de acuerdo al riesgo tecnológico que está dispuesto a asumir con las siguientes condiciones

IRT>=Meta de la Organización entonces 0

IRT < Meta de la Organización entonces 1

Dónde:

rf=Riesgo Físico

F=Coficiente que depende de las condiciones de vulnerabilidad social ante un evento catastrófico

Con lo mencionado anteriormente se presenta en la Tabla 8 un ejemplo a modo de resumen del grupo de variables que definen la función objetivo

$$\text{Proyecto Priorizado} = \sum_{(cf)} + \sum_{(cm)} + \sum_{(ci)} + \sum_{(cr)} + \sum_{(ct)}$$

Tabla 8. Tabla Resumen de Proyecto Priorizado

Criterio	Meta	Criterio	Resultado
Valor Futuro	\$20	\$25	1
CV	0	0	0
CPI	1	1	1
SV	0	0	0
PSI	1	1	1
Participación (Uds.)	90%	91%	1
Riesgo Económico	3%	2%	1
Probabilidad de Éxito	1	1	1
Demanda Potencial	80%	82%	1
Esfuerzo	85%	85%	1
Posibilidad de Patentamiento	1	1	1
IRT	3%	2%	1
Sumatoria de Criterios			10

Con lo que se concluye que, si durante la evaluación de un proyecto que hace parte de un portafolio su sumatoria es 10, automáticamente el proyecto evaluado queda priorizado y con la autopista abierta para ser ejecutado. Si la sumatoria da entre 7 y 9, también podría quedar priorizado siempre y cuando no se cumplan las condiciones de alguno de los siguientes criterios (Demanda potencial, patentamiento o IRT), los cuales según el portafolio de proyectos que se este evaluando no sea posible cumplir con las condiciones o no se posea información. Los proyectos que estén por debajo de 6 en la evaluación no serían ejecutados debido a que no cumplen con los objetivos estratégicos de la organización.

Se plantea un segundo modelo binario de optimización para la priorización de proyectos que conformen un portafolio. El modelo propuesto considera dos aspectos, el primero de ellos se ejecuta por medio de la métrica VAN (Valor Actual Neto) la cual evalúa diferentes variables para lograr el punto óptimo, el segundo aspecto que tiene en cuenta el modelo es la cantidad de proyectos que conforman el portafolio para determinar los proyectos más rentables lo que permitirá su priorización.

El modelo plantea varias restricciones las cuales ayudan a determinar los proyectos que serán priorizados, para lo anterior se define un índice

$$i = [\textit{Proyecto}_1, \textit{Proyecto}_2, \textit{Proyecto}_3, \dots, \textit{Proyecto}_n]$$

Se definen los siguientes criterios como vectores, los cuales se encuentran en la Tabla 7

$$\textit{Riesgo Economico}(i) = [X\%, Y\%, Z\%, \dots, N\%]$$

$$\textit{VAN}(i) = [X\$, Y\$, Z\$, \dots, N\$]$$

$$\textit{Tiempo de Ejecución}(i) = [X, Y, Z, \dots, N]$$

$$\textit{Inversion Total}(i) = [X\$, Y\$, Z\$, \dots, N\$]$$

$$\textit{Participación}(i) = [X\%, Y\%, Z\%, \dots, N\%]$$

$$\textit{Cantidad Maximo de Proyectos}(i) = [X_1, X_2, X_3, \dots, X_N]$$

$$\textit{Probabilidad de Exito}(i) = [X\%, Y\%, Z\%, \dots, N\%]$$

$$\textit{Probabilidad de Patentamiento}(i) = [X\%, Y\%, Z\%, \dots, N\%]$$

Y los siguientes criterios como cantidades escalares

$$\textit{Riesgo Economico} = [A\%]$$

$$\textit{VAN} = [B\$]$$

$$\textit{Tiempo de Ejecución} = [C]$$

$$\textit{Inversion Total} = [D\$]$$

$$\textit{Participación} = [E\%]$$

$$\textit{Cantidad Maximo de Proyectos} = [F]$$

$$\textit{Probabilidad de Exito} = [G\%]$$

$$\textit{Probabilidad de Patentamiento} = [H\%]$$

Se determina una variable de decisión expresada de la siguiente forma

$$P(i) = 1 \rightarrow \textit{Si invierto en el proyecto } i$$

$$P(i) = 0 \rightarrow \textit{Si no}$$

Así como una función objetivo (F.O)

$$Zmax = \sum_{(i)} P_{(i)} * VAN_{(i)}$$

y un sujeto a (S.A)

$$\sum_i P_i * Inversio\textit{ntotal}_i \leq \textit{Presupuestototal}$$

$$\forall_i P_i \in [0, 1]$$

$$\forall_i (\textit{RiesgoEconomico}_i \geq \textit{RiesgoMaximo}_i) P_i = 0$$

$$\forall_i (\textit{TiemposeEjecución}_i \geq \textit{TiempoMaximo}_i) P_i = 0$$

$$\forall_i (\textit{ParticipaciónenelMercado}_i \leq \textit{TiempoMaximo}_i) P_i = 0$$

$$\forall_i (\textit{Patentamiento}_i \leq \textit{PatemtamientoMinimo}_i) P_i = 0$$

$$\sum_i P_i \leq \textit{CantidadMaximodeProyectos}$$

$$\forall_i (\textit{ProbabilidaddeExito}_i \leq \textit{ExitoMaximo}_i) P_i = 0$$

Donde:

VAN: Indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto.

Riesgo máximo: Riesgo máximo que cada proyecto puede asumir de acuerdo los objetivos estratégicos de la organización.

Tiempo máximo: Tiempo máximo de duración de cada proyecto.

Participación en el mercado: Es la participación mínima que debe aportar cada proyecto para que la organización obtenga participación en el mercado y así sea tenido en cuenta dentro del portafolio.

Cantidad máxima de proyectos: Corresponde a la cantidad de proyectos que se pueden evaluar en un portafolio.

Probabilidad de éxito: Es la probabilidad de éxito que tiene cada proyecto para evaluar si es viable o no.

Inversión total: Es la inversión que se necesita para cada proyecto.

El modelo anteriormente planteado permite identificar los proyectos que generan valor financiero a la organización, teniendo en cuenta criterios como presupuesto, riesgos, tiempo de ejecución, participación en el mercado entre otras, estas variables permiten priorizar el portafolio en función de maximizar la utilidad de los proyectos que cumplan con las condiciones establecidas y que se mencionaron anteriormente.

9 RESULTADOS

Para el procesamiento, estudio y pruebas se escoge el segundo modelo planteado en la sección anterior, para el cual se utilizó un algoritmo bacteriano de elitismo, el cual mediante un Script de Matlab, se definen las restricciones en forma de coeficientes de cada valor, se define también la función objetivo y se le asigna al algoritmo previamente construido, el cual procesa los datos suministrados y arroja el valor máximo que se puede conseguir con el portafolio de proyectos así como las condiciones que cumplen o no, para conseguir la maximiza utilidad.

Se comienza exponiendo una función objetivo (F.O)

$$Zmax = \sum_{(i)} P_{(i)} * VAN_{(i)}$$

El cual permite identificar cuáles son los proyectos que más valor presente neto generaran a la compañía y que se ajuste con los objetivos estratégicos. Sin embargo, el modelo no solo maximiza el valor presente neto, sino que a partir de las restricciones que se definen a continuación se busca maximizar la utilidad de los proyectos que cumplan con las condiciones establecidas por cada organización o gerente de proyectos.

$$\sum_i P_i * Inversio_n_{total_i} \leq Presupuestototal$$

$$\forall_i P_i \in [0, 1]$$

$$\forall_i (RiesgoEconomico_i \geq RiesgoMaximo_i) P_i = 0$$

$$\forall_i (TiempodeEjecucion_i \geq TiempoMaximo_i) P_i = 0$$

$$\forall_i (ParticipacionenelMercado_i \leq TiempoMaximo_i) P_i = 0$$

$$\forall_i (Patentamiento_i \leq PatemtamientoMinimo_i) P_i = 0$$

$$\sum_i P_i \leq CantidadMaximodeProyectos$$

$$\forall_i (ProbabilidaddeExito_i \leq ExitoMaximo_i) P_i = 0$$

Donde:

VAN: Indicador financiero que sirve para determinar la viabilidad de un proyecto.

Riesgo máximo: Riesgo máximo que cada proyecto puede asumir de acuerdo los objetivos estratégicos de la organización.

Tiempo máximo: Tiempo máximo de duración de cada proyecto.

Participación en el mercado: Es la participación mínima que debe aportar cada proyecto para que la organización obtenga participación en el mercado y así sea tenido en cuenta dentro del portafolio.

Cantidad máxima de proyectos: Corresponde a la cantidad de proyectos que se pueden evaluar en un portafolio.

Probabilidad de éxito: Es la probabilidad de éxito que tiene cada proyecto para evaluar si es viable o no.

Inversión total: Es la inversión que se necesita para cada proyecto.

Para el procesamiento, estudio y pruebas del modelo sugerido, se utilizó un algoritmo bacteriano de elitismo, el cual mediante un Script de Matlab, se definen las restricciones en forma de coeficientes de cada valor, se define también la función objetivo y se le asigna al algoritmo previamente construido, el cual procesa los datos suministrados y arroja el valor máximo que se puede conseguir con el portafolio de proyectos así como las condiciones que cumplen o no, para conseguir la maximiza utilidad.

9.1 Carga de Datos

En la Figura 6, se parametriza la función que alojará los datos y los pasa a forma de coeficientes. La función anteriormente mostrada, se alimenta de los datos generados en una hoja de cálculo tal como se muestra en la Figura 7. Por lo tanto, para ingresar los datos se debe crear una hoja de cálculo e ingresar los datos que posea el portafolio de proyectos, para que la función mostrada los pueda obtener, convertir a coeficientes y de esta manera procesar los datos.

Figura 6. Función Para Ingresar Los Insumos Que Usara El Algoritmo

```
%% Import the data
function [A,b,f]=llamarF()

A = xlsread('/Users/andresacosta/Downloads/Codigo/Muestra.xlsx','restricciones')
b = xlsread('/Users/andresacosta/Downloads/Codigo/Muestra.xlsx','limites')
f = xlsread('/Users/andresacosta/Downloads/Codigo/Muestra.xlsx','funcion')

end
```

Figura 7. Formato De La Hoja Para Ingresar Datos Al Sistema

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	portfolios	inveTo	riesgoecon	tiempoejecucion	partimercado	patentamiento	probexito	van		
2	proyect1	5347952	20%	3	20%	0	20%	1		
3	proyect2	5964711	30%	4	30%	0	30%	1		
4	proyect3	6647228	15%	5	15%	1	15%	0		
5	proyect4	9944799	10%	2	10%	0	10%	0		
6	proyect5	4490885	8%	1	8%	1	8%	0		
7	proyect6	6647228	15%	5	15%	1	15%	1		
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										

9.2 Procesamiento de Datos

Para lograr el procesamiento de los datos se debe tener en cuenta las 8 restricciones mencionadas anteriormente, luego de realizar la extracción de los coeficientes, para las restricciones y función objetivo y antes de pasarse por el algoritmo bacteriano de elitismo, se evalúa cada proyecto respecto a las condiciones anteriormente presentadas, asignando una penalidad a los que no cumplan con las restricciones, cabe mencionar que esta penalidad depende de que tan importante se considera para la empresa o el cliente que utilice el método propuesto de acuerdo a sus objetivos estratégicos

Figura 8. Restricciones Del Modelo Con La Penalidad En Caso De Cumplir

```
pen=0;
npro=max(size(f));
for i=1:npro
    if sum(inv.*x)>10000000
        pen=pen+1000;
    end

    if A(i,1)*x(1)>b(1)
        pen=pen+1;
    end
    if A(i,2)*x(2)>b(2)
        pen=pen+1;
    end
    if A(i,3)*x(3)<b(3)
        pen=pen+1;
    end
    if A(i,4)*x(4)==0
        pen=pen+1;
    end
    if A(i,5)*x(5)>=b(5)
        pen=pen+1;
    end
    if A(i,6)*x(6)==0
        pen=pen+100;
    end
end

% fo=1/(1+sum(f.*x));
fo=(sum(f.*x));
factor=10000;
% fo=(factor*pen+1)*fo;
fo=fo-(factor*pen+1);
```

Como se observa en la figura 8, se implementa una función donde se evalúa cada condición, agregándole la penalidad según corresponda, los resultados obtenidos de esta función se evalúan a través del algoritmo de optimización bacteriano de elitismo, para su procesamiento y muestra de resultados.

9.3 Algoritmo de Optimización

El algoritmo utilizado fue un algoritmo bacteriano de elitismo clásico al cual se le asignan los valores mostrados en la Figura 9 para su inicialización

Figura 9. Condiciones Iniciales Del Algoritmo De Optimización

```
Ne=1000;%Number of elimination and dispersion cycles
Nr=1;%Number of reproduction cycles
Nc=1;%Number of chemotactix cycles
S=50; %Number of bacteria
Ns=100;%Number of swimming cycles
D=6;%Dimension of the search space

C=0.5;
Ped=0.5; % elimination dispersion probability
maxiter=10;
```

Donde:

- Ne: Numero de dispersión y ciclos de eliminación, donde las bacterias que no pueden encontrar nutrientes son eliminadas.
- Nr: Numero de ciclos de reproducción, que es la cantidad de veces que las bacterias se reproducen para encontrar nutrientes (que son los puntos óptimos).
- Nc: Numero de veces que la bacteria podría girar, para la búsqueda de nutrientes.
- Ns: Numero de veces que la bacteria podría nadar.
- D: Dimensión del espacio de búsqueda de nutrientes.
- Ped: Probabilidad de que las bacterias que no encuentren nutrientes sean eliminadas y la probabilidad de que las bacterias se dispersen buscando nutrientes.

El algoritmo consiente, en un grupo de bacterias buscando nutrientes (que seria considerados los puntos óptimos que satisfacen la función objetivo del problema a optimizar), las bacterias, nadan, se reproducen y giran en busca de estos nutrientes (puntos óptimos) y las bacterias que no son capaces de encontrar un punto optimo simplemente es descartada y se reemplazada por otra nacida de la reproducción de las que si encuentran los nutrientes, se debe aclarar que no siempre los puntos óptimos encontrados son los mejores, por eso las bacterias siempre se están reproduciéndose y dispersándose para hallar los puntos sobresalientes.

En este punto, los datos procesados por las funciones anteriores se ingresan Al algoritmo para que sean evaluados y así indique los valores que logra maximizar la función objetivo y que proyectos dan la mayor utilidad y que condiciones cumplen o no cumplen con las restricciones.

9.4 Resultados

Por tal motivo el algoritmo arroja dos (2) columnas, la primera columna corresponde a la utilidad máxima con la penalización aplicada y la segunda columna la utilidad máxima que se puede generar por el portafolios de proyectos, lo anterior le permite al modelo brindar la oportunidad de tomar una decisión a nivel gerencial acerca de seleccionar con cuál de las utilidades reportadas por el algoritmo se desea trabajar gracias a que se obtiene la utilidad máxima y mínima de cada proyecto lo cual se observa en la Figura 10. De igual forma se observa una pestaña llamada utilidad máxima donde se evidencia la utilidad más alta que el portafolio puede generar.

El algoritmo implementado presenta las condiciones que se cumplen o no con las restricciones propuestas, la salida se expresa de forma binaria (1 o 0) como se observa en la segunda condición de la figura 11, entiéndase que si el algoritmo arroja 1 es que la condición cumple y no tuvo penalidad alguna en caso de que sea 0 la condición no cumple y por lo tanto tuvo una penalidad

Figura 10. Resultados Que Se Obtienen Con El Algoritmo Bacteriano De Elitismo

	UTILIDAD PENALIZADA	UTILIDAD MAXIMA
1	10451938	12611939
2	9008112	11138113
3	10451938	12611939
4	10451938	12611939
5	4285595	10455596
6	10451938	12611939
7	10451938	12611939
8	4285595	10455596
9	4285595	10455596
10	4285595	10455596

UTILIDAD MAXIMA
12611939

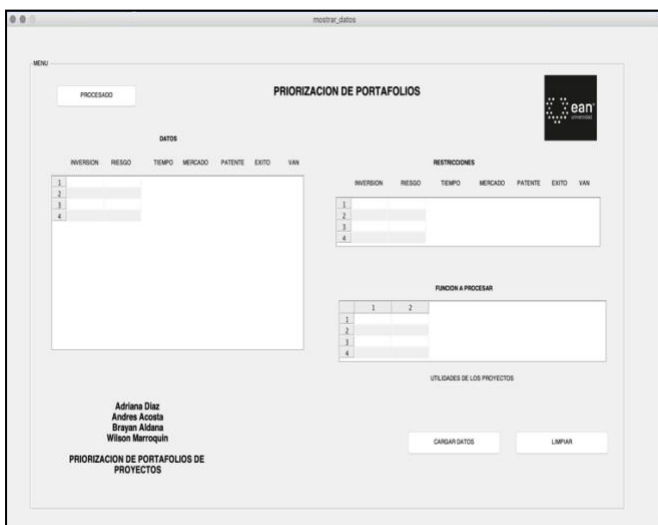
Figura 11. Salida Binaria Con Las Restricciones Que Cumplen O No Las Condiciones

1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	0.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
0.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00
1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00	1.0000000e+00

9.5 Interfaz Gráfica

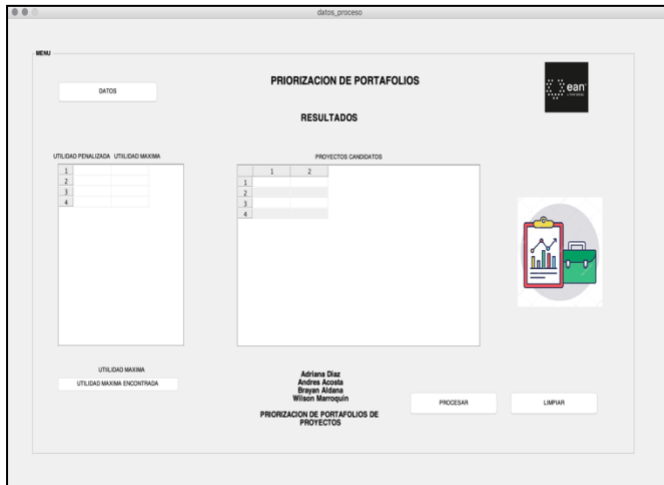
Para facilitar el uso de usuarios finales que poseen pocos conocimientos en programación, optimización y afines, se implementó una versión beta de una interfaz de usuario, utilizando la herramienta de Matlab llamada Guide, con el fin de facilitar la manipulación del modelo. La interfaz es minimalista que posee 3 botones principales, cargar datos, limpiar y procesar, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12. Vista de Carga de Datos de la Interfaz



Luego de cargar los datos, se pasa a la vista número 2 que se muestra en la Figura 13, en la cual se sigue con el diseño minimalista, y corresponde a la interfaz para procesar datos y mostrar resultados arrojados por el algoritmo de optimización, en la cual la tarea de entender los datos es más simple

Figura 13. Vista de Procesado de Datos de la Interfaz



10 DISCUSIÓN

El uso de algoritmos de optimización para la evaluación de portafolios es una tendencia en aumento para este tipo de trabajos, debido a la facilidad con la cual procesa la información y la optimización en los tiempos utilizando este tipo de técnicas.

Uno de los inconvenientes presentados en este trabajo y que al mismo tiempo es una de las falencias del modelo en cuestión, es el de tener que usar restricciones muy generales y/o específicas lo cual hace que encontrar un portafolio que posea las 7 restricciones para hacer las pruebas requeridas, sea muy complicado. Por lo tanto, se trabajó con datos generados aleatoriamente, para toda la fase de cargue de datos, pruebas, procesamiento y resultados.

Motivo por el cual se puede decir que el algoritmo optimiza las utilidades generadas por el portafolio de proyectos, facilita a la toma de decisiones de las juntas directivas gracias a las diferentes opciones que expone el portafolio en cuanto a maximizar utilidad. Lo anterior, va de la mano con la hipótesis planteada por este trabajo la cual es, "El desempeño del modelo propuesto para la evaluación de portafolios es comparable con el desempeño de las técnicas que actualmente utilizan las organizaciones, teniendo en cuenta la cantidad de criterios que intervienen en la evaluación, así como la cantidad de

proyectos a evaluar.”, para lo cual se puede concluir que, el desempeño que tiene el modelo propuesto en comparación con las técnicas que actualmente son utilizadas, es similar, ya que facilita rapidez y facilita evidenciar los distintos caminos que puede tener cada portafolio de proyecto y el valor que genera a la organización un portafolio específico.

Dado a lo anteriormente expuesto, los resultados del modelo quedan sujetos a un entorno de pruebas controlado y no se puede apreciar en ambientes reales las bondades o deficiencias del modelo.

11 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una de las falencias del modelo más grandes que se debe tener en cuenta, es la necesidad de requerir unos criterios específicos para ser evaluados, por lo tanto la empresa o el usuario que quiera utilizar este modelo para evaluar y priorizar sus portafolios de proyecto debe tener en cuenta los criterios requeridos por el modelo y de no poseerlos no podría ser utilizado o no de manera eficiente, dejando acá unos de los trabajos futuros sugeridos el cual consiste en crear un modelo que no esté delimitado por unos criterios específicos y que sea más robusto y se adapte a los criterios y portafolios manejado por las organizaciones.

Otra observación, es el hecho de que ser probado con datos generados aleatoriamente implica resultados “controlados” por lo tanto todas las observaciones hechas, son meramente académicas sin posibilidad de emplearse en entornos de trabajos reales, limitando las pruebas de mayor nivel de profundidad, o en su defecto de comparar los resultados del modelo con resultados ya revisados o expuesto por una gerencia para de esta manera lograr comprobar el error presentado por el modelo logrando de esta manera tener datos más coherentes y potentes para defender las bondades que el modelo puede mostrar.

Por último, todas las pruebas se desarrollaron en el entorno de desarrollo (IDE) Matlab, pero dado a que no se usaron ToolBoxs especiales, o complementos, el uso de recursos en cuanto a tiempos de respuesta son bastante largos, los cuales se encuentran en aproximadamente 20 segundos (y esto solo para portafolios pequeños de máximo 6 proyectos), por lo tanto se recomienda utilizar otro tipo de herramientas

que consuman menos recursos para probar dicho comportamiento en ambientes reales, como puede ser Python, con sus respectivas librerías para el trato y procesamiento de datos, o la librería Anaconda que esta optimizada para todo el tema de análisis y procesamiento de la información.

12 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejandra Blanco Murillo, M., Andrés Muñoz Peña, F., & Palacio León, Ó. (2017). Optimización de portafolio de proyectos a través de la aplicación de programación lineal y el CAPM Optimization of project portfolio through the application of linear programming and CAPM Otimização de portfolio de projetos através da aplicação de program. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(37), 71–86.
- Archer, N., & Ghasemzadeh, F. (1996). Project Portfolio Selection Techniques : a Review and a Suggested. *Project Portfolio Management. Selecting and Prioritizing Projects for Competitive Advantage*, 207–238.
- Arias, F. G. (2012). *El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica*. (Episteme, Ed.) (6th ed.). Caracas, Venezuela: Episteme C.A.
- Babbie, E. (2014). *The Basics Of Social Research*. (C. L. Custome, Ed.) (5th ed.). Belmont, CA 94002-3098 USA: Cengage Learning Custome.
- Baker, N., & Freeland, J. (1975). Recent Advances in R&D Benefit Measurement and Project Selection Methods. *Management Science*, 21(10), 1164–1175. <https://doi.org/10.1287/mnsc.21.10.1164>
- Baker, N. R., & Pound, W. H. (1964). R&D project selection: Where we stand. *IEEE Transactions on Engineering Management*, EM-11(4), 124–134. <https://doi.org/10.1109/TEM.1964.6446420>
- Benaija, K., & Kjiri, L. (2014). Project portfolio selection: Multi-criteria analysis and interactions between projects. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 11(6), 134–143. <https://doi.org/10.1016/j.mechrescom.2011.11.004>
- Bitman, W. R., & Sharif, N. (2008). A Conceptual Framework for Ranking R&D Projects. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 55(2), 267–278. <https://doi.org/10.1109/TEM.2008.919725>
- Brans, J. P., Vincke, P., & Mareschal, B. (1986). How to select and how to rank projects: The Promethee method. *European Journal of Operational Research*, 24(2), 228–238. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(86\)90044-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(86)90044-5)
- Casas, J. M. (2010). *Estadística Económica y Empresarial*. Madrid, España: Editorial Universitaria Ramón Areces.
- Chain, N. S. (2011). *Proyectos de inversión. Formulación y evaluación*.

- Chain, N. S. C., & Reinaldo Sapag. (1989). Preparacion Y Evaluacion De Proyectos. *Segunda Edicion*. Retrieved from <http://es.slideshare.net/ErnestoUlbrich/preparacin-y-evaluacin-de-proyectos-nassir-sapag-chain>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Coldrick, S., Longhurst, P., Ivey, P., & Hannis, J. (2005). An R&D options selection model for investment decisions. *Technovation*, 25(3), 185–193. [https://doi.org/10.1016/S0166-4972\(03\)00099-3](https://doi.org/10.1016/S0166-4972(03)00099-3)
- Cook, W. D. (2004). Qualitative Data in Dea. In *Handbook on Data Envelopment Analysis* (pp. 153–175). Boston: Kluwer Academic Publishers. https://doi.org/10.1007/1-4020-7798-X_6
- Cooper, W. W., Park, K. S., & Yu, G. (1999). IDEA and AR-IDEA: Models for Dealing with Imprecise Data in DEA. *Management Science*, 45(4), 597–607. <https://doi.org/10.1287/mnsc.45.4.597>
- Costantino, F., Di Gravio, G., & Nonino, F. (2015). Project selection in project portfolio management: An artificial neural network model based on critical success factors. *International Journal of Project Management*, 33(8), 1744–1754. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.07.003>
- Dye, L., & Pennypacker, J. (2002). *Managing Multiple Projects: Planning, Scheduling, and Allocating Resources for Competitive Advantage*. (L. S. Pennypacker, James; d. Dye, Ed.). New York, United States: Taylor & Francis. Retrieved from <https://books.google.com.co/books?id=LBwEU-oj3M8C>
- D. S. G. Grass, «Optimizaci´on multi-objetivo con algoritmos bio-inspirados para el control y coordinaci´on de inventarios multi-producto,» 2016. [En l´inea]. Available: <http://bdigital.unal.edu.co/53405/1/1073159192.2016.pdf>. [Último acceso: 30 05 2019].
- Ehrgott, M., & Gandibleux, X. . (2005). Multiple criteria optimization : state of the art annotated bibliographic surveys. *Fuzzy Sets and Systems*, 150(1), 163–164. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2004.08.004>

- Ehrgott, Matthias, Klamroth, K., & Schwehm, C. (2004). An MCDM approach to portfolio optimization. *European Journal of Operational Research*, 155(3), 752–770. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00881-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00881-0)
- Eilat, H., Golany, B., & Shtub, A. (2006). Constructing and evaluating balanced portfolios of R&D projects with interactions: A DEA based methodology. *European Journal of Operational Research*, 172(3), 1018–1039. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2004.12.001>
- Ellis, L. W. (1984). Viewing R&D Projects Financially. *Research Management*, 27(2), 29–34.
- Freeman, C. (1982). *The Economics of Industrial Innovation*. (F. Pinter, Ed.) (Universida). Indiana, USA.
- Graves, S. B., & Rinquist, J. L. (1996). Evaluating a portfolio of R&D investments. *The Journal of High Technology Management Research*, 7(1), 53–60. [https://doi.org/10.1016/S1047-8310\(96\)90014-0](https://doi.org/10.1016/S1047-8310(96)90014-0)
- Gustafsson, J., & Salo, A. (2005). Contingent Portfolio Programming for the Management of Risky Projects. *Operations Research*, 53(6), 946–956. <https://doi.org/10.1287/opre.1050.0225>
- Haghighi Rad, F., & Rowzan, S. M. (2018). Designing a hybrid system dynamic model for analyzing the impact of strategic alignment on project portfolio selection. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 89(October), 175–194. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2018.10.001>
- Haugeland, J. (1985). *Artificial intelligence: The very idea*: J. Haugeland, (MIT Press, Cambridge, MA, 1985); 287 pp., (June).
- Heidenberger, K., & Stummer, C. (1999). Research and development project selection and resource allocation: a review of quantitative modelling approaches. *International Journal of Management Reviews*, 1(2), 197–224. <https://doi.org/10.1111/1468-2370.00012>
- Henriksen, A. D., & Traynor, A. J. (1999). A practical R&D project-selection scoring tool. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 46(2), 158–170. <https://doi.org/10.1109/17.759144>
- Hernández Meléndrez, E. (2006). *Metodologia de la Investigacion. Cómo escribir una*

- Tesis. *Universidad Autónoma de Toluca, Centro de*
<https://doi.org/10.2196/jmir.7.4.e40>
- Huang, C. C., Chu, P. Y., & Chiang, Y. H. (2008). A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. *Omega*, 36(6), 1038–1052.
<https://doi.org/10.1016/j.omega.2006.05.003>
- Imoto, S., Yabuuchi, Y., & Watada, J. (2008). Fuzzy regression model of R&D project evaluation. *Applied Soft Computing*, 8(3), 1266–1273.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.02.024>
- Jorion, P. (2007). *Value at risk* (3rd ed). Boston. Estados Unidos de Norteamérica: McGraw-Hill Publishing Co.
- Lawson, C. P., Longhurst, P. J., & Ivey, P. C. (2006). The application of a new research and development project selection model in SMEs. *Technovation*, 26(2), 242–250.
<https://doi.org/10.1016/j.technovation.2004.07.017>
- Liberatore, M. J., & Titus, G. J. (1983). The Practice of Management Science in R&D Project Management. *Management Science*, 29(8), 962–974.
<https://doi.org/10.1287/mnsc.29.8.962>
- Linton, J. D., Walsh, S. T., & Morabito, J. (2002). Analysis, ranking and selection of R&D projects in a portfolio. *R and D Management*, 32(2), 139–148.
<https://doi.org/10.1111/1467-9310.00246>
- Lowell D. Dye, J. S. P. (Ed.). (1999). *Project Portfolio Management: Selecting and Prioritizing Projects for Competitive Advantage*. Center for Business Practices.
- Maikel Y. Leyva Vázquez; Pedro Y. Piñero Pérez. (2010). Modelo para la evaluación y selección de proyectos de innovación en las tecnologías de la información, (November 2015).
- Majumder, M. (2015). *Impact of Urbanization on Water Shortage in Face of Climatic Aberrations*. Singapore: Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-4560-73-3>
- Markowitz, H. (1952). *Portfolio Selection*. *The Journal of Finance* (Vol. 7). Retrieved from https://www.math.ust.hk/~maykwok/courses/ma362/07F/markowitz_JF.pdf
- Martino, J. P. (1995). *Research and Development project selection*. New York, USA: Wiley. Retrieved from <https://trove.nla.gov.au/version/37535703>

- Meade, L. A., & Presley, A. (2002). R&D project selection using ANP the analytic network process. *IEEE Potentials*, 21(2(415) 2), 22–28. <https://doi.org/10.1109/45.998087>
- Mohanty, R. P., Agarwal, R., Choudhury, A. K., & Tiwari, M. K. (2005). A fuzzy ANP-based approach to R&D project selection: A case study. *International Journal of Production Research*, 43(24), 5199–5216. <https://doi.org/10.1080/00207540500219031>
- Morcos, M. S. (2008). Modelling Resource Allocation of R&D Project Portfolios Using a Multi-Criteria Decision-Making Methodology. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 25(1), 72–86. <https://doi.org/10.1108/02656710810843595>
- Mossalam, A., & Arafa, M. (2017). Using artificial neural networks (ANN) in projects monitoring dashboards' formulation. *HBRC Journal*, 14(3), 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2017.11.002>
- Nagy, K., & Hajrizi, E. (2018). Beyond the Age of Oil and Gas – How artificial intelligence is transforming the energy portfolio of the societies. *IFAC-PapersOnLine*, 51(30), 308–310. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.307>
- Peraza Hernández, E. M., & Penzo, L. (2005). *Diseño de un modelo de priorización de proyectos tácticos para el portafolio de banesco banco universal*. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Pérez Vélez, J. D. (2012). *Método para la Selección y Priorización de Portafolios de Proyectos de I+D+i en el Contexto Institucional de un Centro de Desarrollo Tecnológico en Colombia*. Escuela Ingeniería de la Organización.
- Project Management Institute., I. (2017). *A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (Pmbok Guide)*. (I. P. Group, Ed.) (6th ed.). Newtown Square, Pennsylvania 19073-3299 EE.UU: Project Management Institute, Inc.
- Project Management Institute. (2017). *The Standar for Portfolio Management* (4th ed.). Newton Square, Pennsylvania 19073.3299 EE.UU: Project Management Institute, Inc.
- Rahmandad, H. (2008). Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Contagion : Comparing Agent-Based and Differential Equation Models. *Management Science*, 54(5), 998–1014.
- Rashedi, R., & Hegazy, T. (2016). Strategic policy analysis for infrastructure rehabilitation using system dynamics. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(6), 667–681.

<https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1038723>

- Rauch-Hindin, W. B. (1989). *Artificial Intelligence in Business, Science, and Industry*. Madrid, España: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Spradlin, C. T., & Kutoloski, D. M. (1999). Action-Oriented Portfolio Management. *Research-Technology Management*, 42(2), 26–32. <https://doi.org/10.1080/08956308.1999.11671270>
- Tofighian, A. A., Moezzi, H., Khakzar Barfuei, M., & Shafiee, M. (2018). Multi-period project portfolio selection under risk considerations and stochastic income. *Journal of Industrial Engineering International*, 14(3), 571–584. <https://doi.org/10.1007/s40092-017-0242-6>
- Tollo, G., Roli, A., Chieti-pescara, U. G. D. A., Pescara, V. P., & di tolo, G. (2008). Metaheuristics for the Portfolio Selection Problem. *International Journal of Operations Research*, 5(1), 13–35.
- Vidal, C. J. C. J., Bravo, J. J., Cajiao, E., Meza, P. P., Arango, S., Franco, D., ... Hern, J. (2012). *Guía metodológica para la priorización de proyectos: un enfoque aplicado a la infraestructura, la logística y la conectividad*. (P. U. Javeriana, Ed.). Santiago de Cali, Colombia: Sello Editorial Javeriano.
- Wang, J., & Hwang, W. L. (2007). A fuzzy set approach for R&D portfolio selection using a real options valuation model. *Omega*, 35(3), 247–257. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2005.06.002>
- Wang, L., Kunc, M., & Bai, S. (2017). Realizing value from project implementation under uncertainty: An exploratory study using system dynamics. *International Journal of Project Management*, 35(3), 341–352. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.01.009>
- Yaghootkar, K., & Gil, N. (2012). The effects of schedule-driven project management in multi-project environments. *International Journal of Project Management*, 30(1), 127–140. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.02.005>
- Yang, C.-C., & Yeh, C.-H. (2014). Application of System Dynamics in Environmental Risk Management of Project Management for External Stakeholders. *Systemic Practice and Action Research*, 27(3), 211–225. <https://doi.org/10.1007/s11213-013-9283-y>
- Zuluaga Vidal, D., Castillo Méndez, R., Mayorquín Bejarano, D., Cuadra, M., & Perdomo,

L. E. (2013). Metodología para la Selección de Portafolios de Tecnologías y Segmentos de Mercado para Agendas de I+D+i Sectoriales. *Políticas y Gestión de Ciencia y Tecnología En El Contexto Latino-Iberoamericano ALTEC*, 6823–6838. <https://doi.org/978-989-98721-0-3>