

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según
Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Metodología para una eficiente gestión de proyectos espaciales basada en design thinking, ingeniería de sistemas y cadenas de Markov

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

Cecilia Michelle Talancon

Director:

Dr. Josué Aarón López Leyva
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Ensenada, Baja California, México
2019

**Metodología para una eficiente gestión de proyectos espaciales basada en
design thinking, ingeniería de sistemas y cadenas de Markov**

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería e
Innovación

Presenta:

Cecilia Michelle Talancon

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Josué Aarón López Leyva

Dr. Miguel Ponce Camacho

M.C.I. Oscar Meza Arballo

M.C. Amanda Georgina Nieto Sánchez
Coordinador del posgrado en
ingeniería e innovación

Cecilia Michelle Talancon © 2019

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor

Resumen de la tesis que presenta **Cecilia Michelle Talancon** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e Innovación con orientación en sistemas y procesos industriales

Metodología para una eficiente gestión de proyectos espaciales basada en design thinking, ingeniería de sistemas y cadenas de Markov

Resumen aprobado por:

Dr. Josué Aarón López Leyva

Los proyectos espaciales implican grandes riesgos en cada una de sus etapas, por esto, es importante que sean gestionados de manera eficiente. Esto permitirá que se puedan reducir los posibles errores en función de actividades que garanticen el éxito de los proyectos. Además, el uso adecuado de las herramientas de la ingeniería de sistemas en conjunto con la metodología *design thinking* y las cadenas de Markov permiten acelerar el proceso convencional en la gestión de proyectos espaciales, dando como resultado la optimización de los recursos requeridos. Este trabajo proporciona una nueva metodología para la gestión de proyectos espaciales que brinda la oportunidad de gestionarlos de manera eficiente, ya que reduce las deficiencias que pueden tener las herramientas de la ingeniería de sistemas si estas se utilizan por separado; además optimiza los recursos disponibles identificando la importancia de cada uno de ellos en cada etapa del proyecto. Esto a su vez permite conocer la probabilidad de éxito en los proyectos por medio de probabilidades de transición tomando en cuenta dichos recursos.

Palabras clave: proyectos espaciales, Markov, design thinking, sistemas

Abstract of the thesis presented **by Cecilia Michelle Talancon** as a partial requirement to obtain the Master degree in engineering and innovation with orientation in systems and industrial processes

Methodology for efficient space project management based on design thinking, systems engineering and Markov chains

Abstract approved by:

Dr. Josué Aarón López Leyva

Space projects involve great risks in each one of their stages, so it is important that they be managed efficiently. This will allow to reduce the possible errors in function of activities that guarantee the success of the projects. In addition, the proper use of systems engineering tools in conjunction with the *design thinking* methodology and Markov chains permit accelerate the conventional process in the management of space projects, resulting in the optimization of the required resources. This work provides a new methodology for the management of space projects that provides the opportunity to manage them efficiently, because it reduces the shortcomings that systems engineering tools may have if they are used separately; It also optimizes the resources available by identifying the importance of each of them at each stage of the project. This in turn allows to know the probability of success in the projects through transition probabilities keeping in mind these resources.

Keywords: space projects, Markov, design thinking, systems

Dedicatoria

**A mi familia y a mi novio,
con mucho amor y cariño.**

¡Los amo infinitamente!

Agradecimientos

Al M.C. Alan A. Calderón por brindarme en todo momento su amor y apoyo incondicional, por siempre estar conmigo en los buenos y malos momentos y por llenarme de alegría junto a Kira. Gracias infinitas mi futuro esposo, ¡Te amo!

A mis papás por confiar en mí y en todo lo que me propongo, gracias por todo el apoyo y amor que me dan cada día, ¡Los amo!

A mi hermana por comprenderme en todo momento, por ayudarme a cuidar a Kira cuando yo tenía que estudiar o ir a la escuela. Se que Kira es una perrita muy difícil de cuidar por eso te lo agradezco demasiado Charlien.

A mis abuelitos por ser los mejores del mundo, gracias por estar siempre a mi lado y apoyarme tanto, soy muy feliz de tener a los cuatro a mi lado.

A mis tías y tíos, por estar presentes en cada etapa de mi vida y apoyarme en todo momento. En especial quiero agradecer a VYMM, por todos sus consejos y palabras motivadoras, sus llamadas y mensajes constantes me hacen querer dar lo mejor de mí cada día.

A mi amiga la Ing. Paola Ceseña por su manera tan efusiva de alegrarme los días, por su apoyo infinito y por siempre estar a mi lado.

A mi director de tesis el Dr. Josué Aarón López Leyva, por querer trabajar conmigo y así poder desarrollar esta tesis, el capítulo de libro y el artículo, por su disponibilidad y comprensión en todo momento.

Al M.C.I. Oscar Meza, por su confianza, disponibilidad, interés y apoyo en la realización de este trabajo.

Al Dr. Miguel Ponce Camacho, por su apoyo en el desarrollo de este trabajo, su disponibilidad y su colaboración en el capítulo del libro y el artículo que logramos publicar.

A la Dra. Dalia Chávez García y el M.C. Abiud Flores Valentín, por su ayuda en la realización del capítulo del libro y el artículo, lo cual a su vez ayudó al desarrollo de este trabajo.

A CETYS Universidad por brindarme apoyo económico siendo becaria del trimestre 2018-2 al 2018-4 y a todo su personal administrativo y técnico, en especial al personal de biblioteca.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme el apoyo económico por medio del apoyo No. 474662 para la realización de mis estudios de maestría.

Tabla de contenido

Resumen en español.....	iii
Resumen en ingles.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Lista de figuras	ix
Lista de tablas	x
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes bibliográficos.....	2
1.3 Planteamiento del problema	5
1.4 Propuesta de trabajo.....	5
1.4.1 Entregable.....	5
1.5 Hipótesis	6
1.6 Objetivo general	6
1.6.1 Objetivos particulares	6
1.7 Justificación.....	7
1.8 Método	7
1.9 Cronograma	8
Capítulo 2. Marco de referencia	9
2.1 Introducción.....	9
2.2 Ingeniería de sistemas.....	9
2.3 Herramientas cualitativas y cuantitativas de la ingeniería de sistemas.....	12
2.3.1 Herramientas cualitativas	12
2.3.2 Herramientas cuantitativas.....	19
2.4 Deficiencias de las herramientas de la ingeniería de sistemas.....	22
2.5 Ingeniería de sistemas espaciales	23
2.6 Metodologías de la innovación.....	24
2.6.1 Lean startup	24
2.6.2 Design thinking	25
2.7 Metodología de las cadenas de Markov	28
Capítulo 3. Desarrollo	29
3.1 Definición.....	29
3.2 Comparación con la metodología design thinking convencional	37

Capítulo 4. Resultados	39
Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro	46
5.1 Conclusiones	46
5.2 Trabajo futuro.....	47
Anexo A	48
Lista de referencias bibliográficas.....	53

Lista de figuras

Figura 1 Cronograma de actividades.....	8
Figura 2 Vista del problema desde ambas perspectivas. Elaboración propia. Adaptado de: Toward a New Mindset: Bridging the Gap Between Program Management and Systems Engineering (Langley et al., 2011).....	11
Figura 3. Matriz de riesgo. Elaboración propia. Adaptada de NASA Systems Engineering Handbook (National Aeronautics and Space Administration, 2016).....	13
Figura 4 Ejemplo de formato para AMEF. Elaboración propia	14
Figura 5. Diagrama de Ishikawa. Elaboración propia	17
Figura 6. Símbolos del árbol de fallas. Elaboración propia.	18
<i>Figura 7. Ejemplo de árbol de fallas. Elaboración propia.</i>	<i>18</i>
Figura 8. Ejemplo de gráfico de Gantt. Elaboración propia.	19
Figura 9. Ejemplo de diagrama de PERT. Elaboración propia.....	21
Figura 10 Deficiencias de las herramientas de la ingeniería de sistemas. Elaboración propia. Información recuperada de (Nahmias, 2013; Salvendy, 2001; Stamatis, 2003; Watkins, Meiers, & Visser, 2012)	22
Figura 11 Etapas de la metodología. RR= Reunión de Revisión, RRF= Reunión de Revisión Final	29
Figura 12 Cadena de Markov base.....	33
Figura 13 Comparación gráfica de las metodologías.	37

Lista de tablas

Tabla 1 Fases del ciclo de vida del programa/proyecto (Program/Project life cycle). Elaboración propia. Adaptado de NASA Systems Engineering Handbook.(National Aeronautics and Space Administration, 2016).....	4
Tabla 2 Métricas para procesos de la ingeniería de sistemas. Adaptado de NASA Systems Engineering Handbook.(National Aeronautics and Space Administration, 2016).....	4
Tabla 3. Niveles de clasificación de la matriz de riesgo	13
Tabla 4. Niveles de severidad. Elaboración propia. Adaptada de FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods (Liu, 2016).	15
Tabla 5. Niveles de ocurrencia. Elaboración propia. Adaptada de FMEA. Adaptada de FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods (Liu, 2016).....	15
Tabla 6. Niveles de detección. Elaboración propia. Adaptada de FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods (Liu, 2016).	16
Tabla 7 Etapas de la metodología	31
Tabla 8 Recursos por estado.....	32
Tabla 9 Recursos, especificaciones y técnicas por estado	32
Tabla 10 Comparación entre ambas metodologías.....	38

Lista de gráficas

Gráfica 1 Matriz de transición para $SRH = SRM = SRE = 1$	39
Gráfica 2 Matriz de transición para $SRH = SRM = SRE = 0.85$	40
Gráfica 3 Matriz de transición para $SRH = SRM = SRE = 0.75$	41
Gráfica 4 Matriz de transición para $SRH = SRM = SRE = 0.65$	42
Gráfica 5 Matriz de transición para $SRH = SRM = SRE = 0.5$	43
Gráfica 6 Distribución de ponderación de importancia	43
Gráfica 7 Matriz de transición para $SRH = 1 ; SRM = SRE = 0.5$	44
Gráfica 8 Matriz de transición para $SRH = 0.5 ; SRM = SRE = 1$	45
Gráfica 9 Distribución de ponderación de importancia utilizada en las gráficas 7 y 8	45

Capítulo 1. Introducción

1.1 Introducción

La gestión de proyectos espaciales se encarga de aplicar las herramientas y conocimientos tanto de la administración de proyectos como de la ingeniería de sistemas en el ámbito espacial y hoy en día es de suma importancia, ya que proporciona técnicas que ayudan a aumentar la probabilidad de éxito en los proyectos.

Su contribución es que estos cuenten con una ingeniería adecuada, sus costos sean tanto aceptables como transparentes. De la misma manera que los hitos programados se realicen de manera oportuna para que tengan un orden de eventos únicos no cíclicos, una duración definida, distintas tareas y la participación de equipos, grupos de trabajo, empresas o instituciones, ya que estos a su vez pueden estar trabajando en diferentes secciones del proyecto con diversas complejidades (Ley, Wittmann, & Hallmann, 2011; Menrad & Morrow, 2014).

Como se puede notar la gestión de proyectos espaciales actualmente es un área de estudio que se debe actualizar constantemente, ya que se requiere una mejora continua en la manera de planificar e implementar los procesos, incluyendo los recursos económicos, humanos y materiales para mitigar los riesgos en los proyectos espaciales (National Aeronautics and Space Administration, 2014). La planificación de un proyecto es parte de la gestión de éste y se relaciona con el uso de programas para la elaboración de diferentes diagramas de planificación (Duffy, 2016).

Por otra parte, las metodologías de la innovación son parte de la ingeniería de sistemas pues respaldan su práctica, sin embargo, la ingeniería de sistemas hace más efectivas y eficientes las herramientas utilizadas en las metodologías de la innovación (Lima, 2012), esto es una parte fundamental del por qué la innovación es de suma importancia en la ingeniería de sistemas espaciales. Por lo tanto, es esencial saber implementar técnicas innovadoras como las del *design thinking* que constan de la reducción de la brecha del saber-hacer para convertir una idea de la innovación (Murphy, 2016).

Con respecto a las cadenas de Markov, se tiene que son parte de los modelos estadísticos que proporcionan un medio para modelar secuencias de operaciones, haciendo uso de probabilidades de transición a futuro (Gogunskii et al., 2017), lo cual es de gran ayuda en el proceso de desarrollo de las ideas

innovadoras, no obstante, el uso que se les da dentro del área de la innovación y de la gestión de proyectos espaciales es casi nulo.

1.2 Antecedentes bibliográficos

Los inicios de la ingeniería de sistemas se remontan a los efectos de la segunda guerra mundial en los años 1950 y 1960 cuando en varias publicaciones se nombró a la ingeniería de sistemas como una disciplina distinta por primera vez. El reconocimiento de la ingeniería de sistemas como una actividad única evolucionó para el rápido crecimiento de la tecnología y su aplicación a las principales operaciones militares y comerciales durante la segunda mitad del siglo XX (Kossiakoff, Sweet, Seymour, & Biemer, 2011).

La ingeniería de sistemas estuvo estrechamente vinculada a los métodos utilizados en las comunicaciones electrónicas y la ingeniería aeroespacial, y es por eso por lo que obtuvo su lugar dentro de estas disciplinas, ya que estaba a cargo de encontrar soluciones para reducir los niveles de complejidad en las situaciones de interacción humano-máquina (Balderas-Cañas & Guerrero, 2011; Baxter & Sommerville, 2011).

Con respecto al estudio de las cadenas de Markov, éste inició con el matemático ruso Andrei A. Markov (1856-1922) entre los años 1907 y 1912 cuando comenzó a estudiar un proceso aleatorio donde el resultado de un experimento dado podría afectar el resultado del siguiente experimento (Grinstead & Snell, 2006; Marchese & Maroulas, 2018).

Por otra parte, el *design thinking* fue desarrollado por Tim Brown director general y presidente de *IDEO* una firma internacional de consultoría y lo dio a conocer mediante una publicación en el *Harvard Business Review*, una revista gerencial de la escuela de negocios de Harvard. En esta publicación, Tim Brown explica que cuando Thomas Edison creó la bombilla eléctrica, fue capaz de prever como la gente querría usar lo que él había creado y diseñó con eso en mente para luego generar toda una industria a su alrededor.

Por esto, este método fue uno de los primeros ejemplos del *design thinking*, ya que no buscaba validar hipótesis preconcebidas sino ayudar a los experimentadores a aprender algo nuevo de cada intento

iterativo. Edison hizo que la innovación fuera una profesión que combinaba arte, destreza y ciencia, por lo tanto, se dice que el *design thinking* es un descendiente directo de esa tradición (Brown, 2008; IDEO, 2019).

Por lo que se refiere a la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), esta hace mención en su libro "*Systems Engineering Handbook*" a ciertos formatos y métricas de utilidad para los proyectos espaciales, entre los más importantes se menciona el Ciclo de vida del programa/proyecto (*Program/Project life cycle*) y las métricas para procesos de la ingeniería de sistemas (*Systems Engineering Process Metrics*).

El "Ciclo de vida del programa / proyecto" es uno de los conceptos fundamentales utilizados por la NASA en la administración de sistemas, que consiste en la categorización de todo lo que se debe hacer para lograr un programa o proyecto en diferentes fases, separados por puntos clave de decisión (KDP, por sus siglas en inglés) (Draft 2014). El ciclo de vida del Programa / Proyecto se divide en 2 segmentos principales (Formulación e Implementación) y estos a su vez en 7 fases (estudios conceptuales, concepto y desarrollo de tecnología, diseño preliminar y finalización de la tecnología, diseño final y fabricación, ensamblaje del sistema, integración -prueba-lanzamiento, operaciones y mantenimiento, finalización) (Webster 2014) (ver Tabla 1). El KDP se refiere a los momentos en que la persona a cargo determina la preparación del programa o proyecto para pasar a la siguiente fase; Si un programa o proyecto no aprueba uno de los KDP, puede intentarlo nuevamente o simplemente finalizar ((Draft 2014).

Las métricas para la evaluación de los procesos de ingeniería de sistemas, generalmente se dividen en tres categorías y miden el progreso del esfuerzo de la ingeniería de sistemas dividido en la calidad de ese proceso y aquellos que miden su productividad (progreso en el cronograma (S), calidad (Q) y productividad (P)) (ver Tabla 2). Mediante estas métricas, intentan cuantificar la eficiencia y la productividad del proceso y su organización y, a menudo, son muy útiles para los ingenieros en sistemas espaciales (NASA 2007).

Tabla 1 Fases del ciclo de vida del programa/proyecto (Program/Project life cycle). Elaboración propia. Adaptado de NASA Systems Engineering Handbook.(National Aeronautics and Space Administration, 2016).

	Fase	Nombre	Propósito
Formulación	Pre-fase A	Estudios conceptuales	Consiste en buscar otras ideas y alternativas factibles.
	Fase A	Concepto y desarrollo de tecnología	Determinar la viabilidad y la conveniencia del sistema, así como establecer una compatibilidad básica con los planes estratégicos.
	Fase B	Diseño preliminar y finalización de tecnología	Definir el proyecto a detalle para establecer una base inicial capaz de satisfacer las necesidades de la misión.
Implementación	Fase C	Diseño final y fabricación	Aquí se detalla el diseño del sistema, se fabrica hardware y software de código.
	Fase D	Ensamblaje del sistema, integración, prueba y lanzamiento	Esta etapa corresponde al ensamblaje del sistema, integración, pruebas y lanzamiento.
	Fase E	Operaciones y mantenimiento	Se lleva a cabo la misión donde se satisface la necesidad identificada inicialmente y se mantiene el apoyo a ella.
	Fase F	Finalización	Se analizan los resultados obtenidos y se realiza la documentación necesaria

Tabla 2 Métricas para procesos de la ingeniería de sistemas. Adaptado de NASA Systems Engineering Handbook.(National Aeronautics and Space Administration, 2016)

Función	Métrica	Categoría
Desarrollo y gestión de requisitos.	Requisitos identificados vs completados y aprobados.	S
	Requisitos de volatilidad.	Q
	Estudios comerciales planeados vs completados.	S
	Requisitos aprobados por hora de ingeniería de sistemas.	P
	Seguimientos (anunciarse, determinarse o resolverse) resueltos vs restantes.	S
Diseño y desarrollo	Especificaciones planificadas vs completadas.	S
	Procesamiento de propuestas de cambio de ingeniería / solicitudes de cambio de ingeniería.	Q
	Dibujos de ingeniería planeados vs lanzados.	S
Verificación y validación	Planes de verificación y validación identificados vs aprobados.	S
	Verificación y procedimientos de validación planificados vs completados.	S
	Requisitos funcionales aprobados vs verificados.	S
	Planes de verificación y validación aprobados por hora de ingeniería de sistemas.	P
	Procesamiento de informes de problemas o fallas.	Q
Revisiones	Procesamiento de la discrepancia del objeto en revisión.	Q
	Procesamiento de elementos de acción.	Q

Calidad (Q), Productividad (P), Progreso en calendario (S)

1.3 Planteamiento del problema

En los últimos 5 años los proyectos espaciales han tomado importancia en nuestra sociedad y muchas instituciones, organizaciones y empresas han optado por realizar diversos proyectos espaciales, sin embargo, se desconoce que en la literatura exista un modelo matemático para el cálculo de la probabilidad de éxito de dichos proyectos. Es por esto por lo que el presente trabajo desea responder a las siguientes interrogantes:

1. ¿Cuál es la metodología de la innovación más adecuada para la gestión de proyectos espaciales?
2. ¿Cómo se deben utilizar las cadenas de Markov para calcular la probabilidad de éxito de los proyectos?

1.4 Propuesta de trabajo

1.4.1 Entregable

Una metodología para una gestión más eficiente de proyectos espaciales basada en *design thinking*, ingeniería de sistemas y cadenas de Markov, que permitirá a los usuarios ahorrar tiempo debido a su forma ordenada, obtener retroalimentación para la mejora continua mediante las reuniones de revisión y estimar de manera cuantitativa la probabilidad del éxito de proyectos.

1.4.2 Actividades y procedimientos

Las etapas que se llevarán a cabo para cumplir con los requisitos de este trabajo son: 1) iniciación y planificación, 2) búsqueda bibliográfica, 3) definición de la metodología y 4) elaboración de la metodología. A continuación, se explica lo que se realizará en cada etapa:

- Etapa 1, esta etapa consiste en la creación de la propuesta del proyecto, así como de la definición de los objetivos y el plan de trabajo.
- Etapa 2, en esta etapa se realizará la investigación sobre los temas a abordar en el marco teórico, es decir, conceptos relacionados con la ingeniería de sistemas en el sector espacial, formatos y métricas propuestos por la NASA y metodologías de la innovación.

- Etapa 3, en esta etapa se establecerán los recursos clave para los proyectos espaciales que se deben considerar en la creación de la metodología y se empezara a implementar las cadenas de para el cálculo de la probabilidad de éxito en proyectos.
- Etapa 4, en esta última etapa se elaborará la metodología, tomando en cuenta la optimización de los recursos para la obtención de mejores resultados.

1.5 Hipótesis

La metodología para una eficiente gestión de proyectos espaciales basada en una propuesta novedosa e innovadora en la cual se integran el *design thinking*, la ingeniería de sistemas y las cadenas de Markov contribuirá al sector espacial proporcionando una estimación cuantitativa de la probabilidad de éxito de los proyectos.

1.6 Objetivo general

Crear una metodología que minimice las deficiencias de las herramientas existentes y que, a su vez, proporcione una estimación cuantitativa de la probabilidad de éxito de los proyectos.

1.6.1 Objetivos particulares

1. Investigar sobre los conceptos relacionados con la ingeniería de sistemas en el sector espacial, formatos y métricas propuestos por la NASA y metodologías de la innovación.
2. Establecer los recursos clave en el desarrollo de los proyectos espaciales que se deben considerar en la creación de la metodología.
3. Evidenciar que la metodología toma en cuenta la optimización de los recursos minimizando las deficiencias de las herramientas existentes mediante la implementación en conjunto del *design thinking* y las herramientas de la ingeniería de sistemas.

4. Implementar las cadenas de Markov para obtener como resultado una estimación cuantitativa de la probabilidad de éxito de los proyectos.

1.7 Justificación

Se considera que la realización de este trabajo es viable ya que esta metodología servirá para que las empresas, organizaciones e instituciones que quieran realizar proyectos espaciales puedan incrementar la eficiencia de sus proyectos mediante una estimación cuantitativa de la probabilidad de éxito.

1.8 Método

Este trabajo tiene como enfoque de estudio un diseño no experimental, transversal con un alcance de tipo exploratorio y descriptivo, el cual consistió en 2 actividades fundamentales para el desarrollo de los entregables.

1. Realización de búsqueda bibliográfica en libros, artículos y revistas en formato impreso y digital para su posterior lectura, resumen y síntesis de información con el fin de elaborar el marco teórico de este trabajo.
2. Elaboración de la metodología para una eficiente gestión de proyectos espaciales basada en *design thinking*, ingeniería de sistemas y cadenas de Markov. Esta actividad consiste en 3 partes:
 - La definición, en esta parte se hace uso de las herramientas de la ingeniería de sistemas y del *design thinking* y consiste en describir el funcionamiento de la metodología, sus pasos, bases, etapas, herramientas, recursos y técnicas a utilizar.
 - El modelado matemático, aquí se utilizan las cadenas de Markov para la creación del modelo matemático que define a la metodología y se establecen las ecuaciones a utilizar.

- La simulación, consiste en la simulación de diferentes escenarios para la estimación de la probabilidad de éxito de los proyectos.

1.9 Cronograma

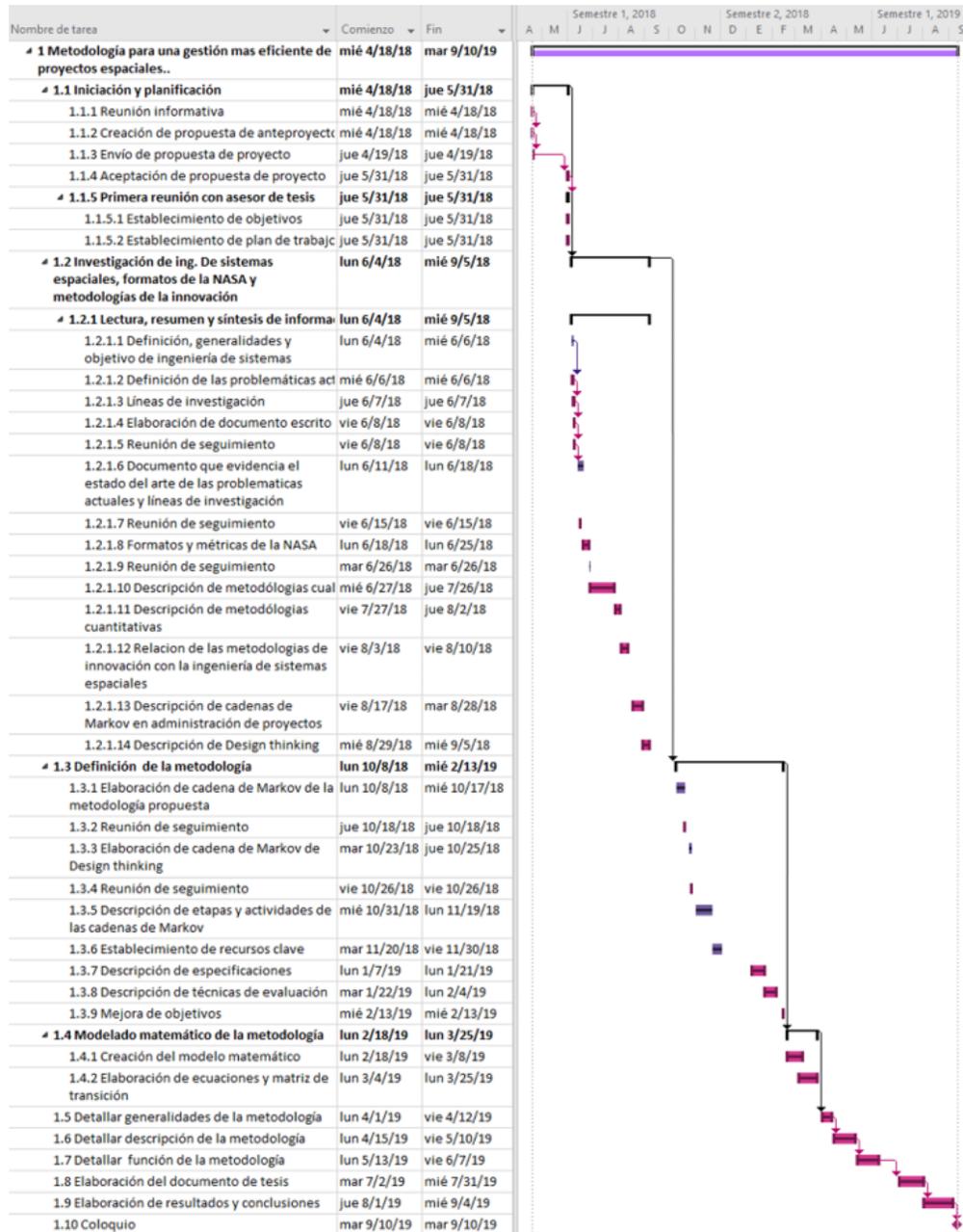


Figura 1 Cronograma de actividades

Capítulo 2. Marco de referencia

2.1 Introducción

En este capítulo se describe a la ingeniería de sistemas desde sus inicios hasta sus líneas de investigación y sus herramientas cualitativas y cuantitativas que pueden ser utilizadas en la gestión de proyectos espaciales. Además, se definen los formatos y métricas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América. Asimismo, se analizan las metodologías de la innovación actuales como lo son lean startup y *design thinking*; de igual manera se analiza la metodología de las cadenas de Markov.

2.2 Ingeniería de sistemas

Desde sus orígenes, el ser humano ha buscado formas de transformar la naturaleza, por eso su ingenio y creatividad han sido la fuerza transformadora del mundo y su manera de llevar las ideas a hechos concretos utilizando el conocimiento científico se llama ingeniería (Rojas-López & Ruíz-Ruiz, 2011). De una manera más técnica, la ingeniería es una disciplina que usa el conocimiento científico y técnico para imaginar, diseñar, crear, hacer, operar, mantener y desmontar dispositivos complejos, máquinas, estructuras, sistemas y procesos que respalden el esfuerzo humano (Blockley, 2012), por otro lado, tenemos que el conjunto de partes que interactúan entre sí para lograr un objetivo se llama sistema (Hurtado-Carmona, 2011), y esto también se puede ver como una combinación de elementos interactivos organizados para lograr un propósito (Haskins, 2006).

A la combinación de estas dos palabras se le conoce como ingeniería de sistemas y es la aplicación estructurada del conocimiento científico para el diseño, creación y gestión de un conjunto de elementos interactivos para lograr un objetivo.

Actualmente hay varias definiciones sobre ingeniería de sistemas, pero la más importante se define en el manual de ingeniería de sistemas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), donde dice que la ingeniería de sistemas es un enfoque metódico y disciplinado para el diseño, la realización y la gestión técnica, operaciones y retiro de un sistema y que su objetivo es ver que el sistema esté diseñado, construido y operado de tal manera que cumpla su propósito de la manera más rentable

posible, contemplando el rendimiento, el costo, el cronograma y el riesgo (National Aeronautics and Space Administration, 2016), todo esto para producir sistemas que satisfagan las necesidades de los clientes y aumente la probabilidad de éxito del sistema (Bahill & Dean, 2009).

Un ingeniero en sistemas debe ser capaz de insertar su labor, entendida como reconocer un problema, situación problema o proceso en su contexto, que le permitan aplicar, adaptar y administrar soluciones tecnológicas (Parra Valencia & Trillos U., 2013). Los ingenieros de sistemas generalmente inician sus estudios con una ingeniería en electrónica, mecánica o cualquiera de su interés y después optan por buscar certificaciones como la que ofrece la Organización Internacional de Ingeniería en Sistemas (INCOSE por sus siglas en inglés) o incluso por realizar posgrados en ingeniería de sistemas (Rebentisch, 2017).

A diferencia de los *Project Manager*, un ingeniero en sistemas tiene un conocimiento fundamental asociado con los principios de administración de ingeniería. Sin embargo es posible que en algunas organizaciones el papel del ingeniero en sistemas no sea tomado en cuenta, ya que su papel esta menos definido que el de un *Project Manager* (Rebentisch, 2017).

La perspectiva de un Project manager sobre un problema es muy diferente a la perspectiva del ingeniero en sistemas y el que no trabajen en conjunto provoca que no se tenga una "solución óptima", la cual podrían lograr la ingeniería de sistemas y los procesos de administración de proyectos en conjunto (Langley, Robitaille, & Thomas, 2011) (ver Figura 2). Ambos pueden aportar capacidades, habilidades y experiencias únicas a los proyectos, sobre todo a los relacionados con la ingeniería, por lo tanto, pueden impulsar el rendimiento y el éxito del equipo en un proyecto si trabajan en equipo.

Los proyectos relacionados con el sector espacial pueden tener más éxito teniendo a cargo a un ingeniero en sistemas ya que estos conocen el dominio técnico: hardware y software. La ingeniería de sistemas proporciona un marco para la resolución de problemas, entre más complicado sea el sistema o problema, más útiles son los procesos para ayudar a los ingenieros en sistemas a hacer su trabajo (Larson, Kirkpatrick, Sellers, Thomas, & Verma Dinesh, 2009)

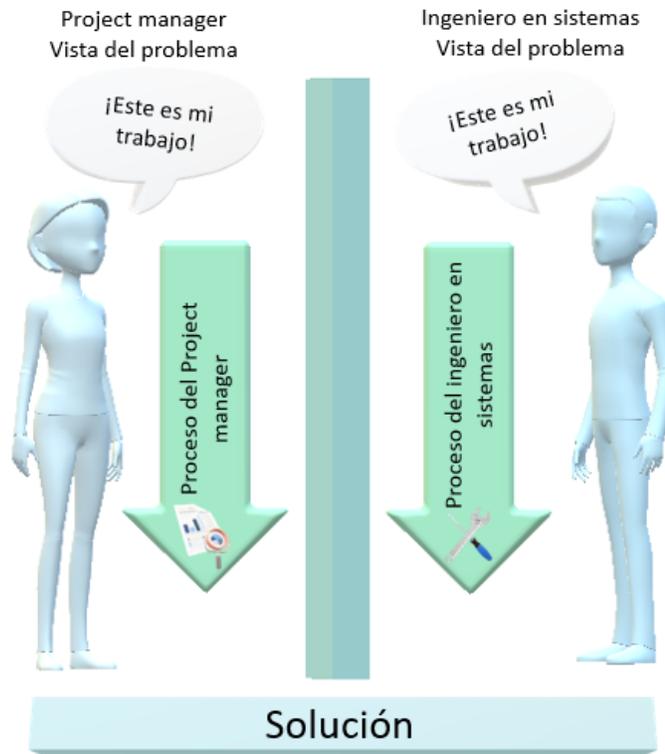


Figura 2 Vista del problema desde ambas perspectivas. Elaboración propia. Adaptado de: Toward a New Mindset: Bridging the Gap Between Program Management and Systems Engineering (Langley et al., 2011)

La ingeniería de sistemas tiene relación con varias áreas y esto hace que tenga muchas líneas de investigación. Un ejemplo de la importancia de la investigación en la ingeniería de sistemas es que países como Estados Unidos de América tienen su propio centro de investigación en ingeniería de sistemas, como el “Systems Engineering Research Center” (SERC), el cual funciona como el motor de la investigación en ingeniería de sistemas para el departamento de defensa de Estados Unidos (Systems Engineering Research Center, 2014a). En este centro de investigación (SERC) se tienen programas de investigación y proyectos divididos en las siguientes cuatro áreas: 1) las empresas y el sistema de sistemas, 2) los sistemas de confianza, 3) transformación de la ingeniería de sistemas y sistemas de gestión, 4) desarrollo de capital humano (Systems Engineering Research Center, 2014b).

2.3 Herramientas cualitativas y cuantitativas de la ingeniería de sistemas

Las herramientas cualitativas y cuantitativas son de gran ayuda cuando se utilizan en conjunto en la gestión de proyectos espaciales, ya que permiten analizar varios problemas desde un enfoque cualitativo o cuantitativo. A continuación, se describirán las herramientas tanto cualitativas como cuantitativas que tienen mayor uso en la gestión de proyectos espaciales.

2.3.1 Herramientas cualitativas

Las herramientas o métodos cualitativos generalmente ayudan a identificar escenarios que contribuyan al riesgo potencial, proporcionar una entrada a los métodos cuantitativos y apoyar la cuantificación basada en el juicio de la medida del desempeño técnico (National Aeronautics and Space Administration, 2016)

2.3.1.1 Matriz de riesgo

Las matrices de riesgos "NxM" ayudan a gestionar y comunicar los riesgos, pues combinan medidas de probabilidad cualitativas y semicuantitativas con medidas de consecuencias similares. Una matriz de riesgo ayuda a seguir el estado y los efectos de los esfuerzos de manejo de riesgos, así como a comunicar información de estado de riesgo (National Aeronautics and Space Administration, 2016). La matriz de riesgo debe contener información de palabras clave sobre la descripción del riesgo con respecto a costo, tiempo y calidad, criticidad del riesgo, resumen de las causas posibles del riesgo, consecuencias e impacto en el éxito y costos del proyecto, estimación de probabilidad de ocurrencia de riesgo, evaluación del efecto del riesgo basado en criterios predefinidos, descripción de medidas técnicas preventivas, medidas contractuales para controlar y medidas que deben iniciarse si se produce el riesgo (Ley et al., 2011).

Ya que cada proyecto puede tener sus propios parámetros y palabras clave, se utilizará como referencia lo utilizado por la NASA y agencias gubernamentales para entender la matriz de riesgo (ver Figura 3). El color verde es un riesgo bajo que tiene poco o ningún potencial de aumento en el costo, interrupción del cronograma o degradación del rendimiento, las acciones realizadas deberían dar como

resultado el control del riesgo aceptable; el color amarillo es un riesgo moderado que puede causar un aumento en el costo, la interrupción de la programación o la degradación del rendimiento, es posible que se requiera acción especial y atención de la administración para manejar el riesgo; el color rojo es un riesgo alto y es probable que cause un aumento significativo en el costo, la interrupción del cronograma o la degradación del rendimiento, se requerirán acciones adicionales importantes y atención de alta prioridad (National Aeronautics and Space Administration, 2016).

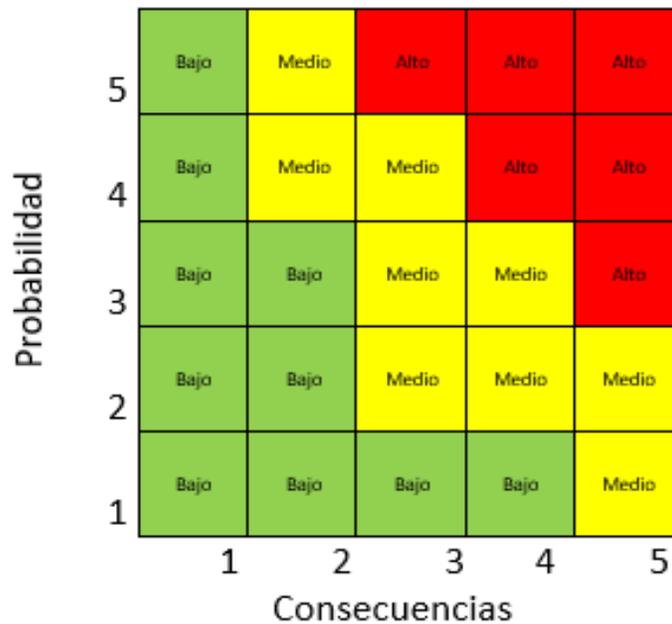


Figura 3. Matriz de riesgo. Elaboración propia. Adaptada de NASA Systems Engineering Handbook (National Aeronautics and Space Administration, 2016).

Para un mejor entendimiento de la matriz de riesgo, se elaboró la siguiente tabla (ver Tabla 3), donde se especifican de acuerdo con el nivel la consecuencia y probabilidad del riesgo.

Tabla 3. Niveles de clasificación de la matriz de riesgo

Nivel de clasificación	Consecuencias	Probabilidad
1	Despreciable	Raro
2	Menores	Poco probable
3	Moderadas	Posible
4	Mayores	Muy probable
5	Catastróficas	Casi seguro

Tabla 4. Niveles de severidad. Elaboración propia. Adaptada de FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods (Liu, 2016).

Severidad		
Efecto	Criterio: severidad del efecto	Rango
Peligroso sin advertencia	La clasificación de gravedad más alta de un modo de falla, que ocurre sin advertencia y la consecuencia es peligrosa.	10
Peligroso con advertencia	Clasificación de gravedad más alta de un modo de falla que ocurre con advertencia y la consecuencia es peligrosa.	9
Muy alto	El funcionamiento del sistema o producto se desglosa sin comprometer la seguridad.	8
Alto	La operación del sistema o producto puede continuar, pero el rendimiento del sistema o producto se ve afectado.	7
Moderado	La operación del sistema o producto continua y el rendimiento del sistema o producto se degrada.	6
Bajo	El rendimiento del sistema o producto se ve seriamente afectado y se necesita mantenimiento.	5
Muy bajo	El rendimiento del sistema o producto se ve menos afectado y el mantenimiento puede no ser necesario.	4
Menor	Rendimiento del sistema y satisfacción con un efecto menor	3
Muy menor	Rendimiento del sistema y satisfacción con un ligero efecto.	2
Ninguno	Ninguna	1

Tabla 5. Niveles de ocurrencia. Elaboración propia. Adaptada de FMEA. Adaptada de FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods (Liu, 2016).

Ocurrencia	
Criterio: probabilidad de ocurrencia de la falla	Rango
Extremadamente alta: falla casi inevitable	10
Muy alta	9
Fallas repetidas	8
Alta	7
Moderadamente alto	6
Moderada	5
Relativamente baja	4
Baja	3
Remota	2
Casi imposible	1

Tabla 6. Niveles de detección. Elaboración propia. Adaptada de FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods (Liu, 2016).

Detección		
Efecto	Criterio: severidad del efecto	Rango
Absolutamente imposible	El control de diseño no detecta una posible causa de falla o el modo de falla posterior, o no hay control de diseño.	10
Muy remoto	Muy remota posibilidad de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o un modo de falla posterior.	9
Remoto	Posibilidad remota de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o un modo de falla posterior	8
Muy bajo	Muy pocas posibilidades de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o un modo de falla posterior	7
Bajo	Poca posibilidad de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o modo de falla posterior.	6
Moderado	Posibilidad moderada de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o un modo de falla posterior	5
Moderadamente alto	Posibilidad moderadamente alta de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o modo de falla posterior.	4
Alto	Alta probabilidad de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o el modo de falla posterior.	3
Muy alto	Muy alta probabilidad de que el control de diseño detecte una posible causa de falla o un modo de falla posterior	2
Casi seguro	El control de diseño casi seguramente detectara una posible causa de falla o el modo de falla posterior.	1

2.3.1.3 Diagrama de Ishikawa

El diagrama de Ishikawa fue inventado por el ingeniero químico Kaoru Ishikawa quien señaló que este diagrama puede ser utilizado como herramienta de análisis en la gestión de proyectos y en la búsqueda de calidad (de Saeger, Feys, & Sánchez Hidalgo, 2016). Este diagrama también es conocido como diagrama de espina de pescado por la forma en que se realiza (ver Figura 5) o de causa-efecto y muestra de manera esquemática las posibles causas de un problema. Se puede decir que el diagrama de Ishikawa no tiene reglas específicas para su elaboración, pero es importante la manera en la que se acomodan las causas, dichas causas se dividen en 5 categorías que se definen a continuación:

- Personas: cualquier persona involucrada en el proyecto.
- Maquinas: todo equipo o herramienta utilizada.
- Métodos: es desde cómo se realiza el proceso hasta los requisitos específicos.

- Mediciones: son todos los datos generados que se utilizan para evaluar la calidad.
- Materiales: son las materias primas utilizadas para producir.

Cada rama del diagrama representa una categoría y estas a su vez tienen subramas que representan a las causas. El diagrama de Ishikawa proporciona una metodología en la que se pueden incluir todas las consideraciones posibles y aunque se ve ligeramente diferente por la forma que toma, es muy similar al mapa mental donde se agrupan todas las ideas recabadas de una lluvia de ideas (Clifton A., 2011).

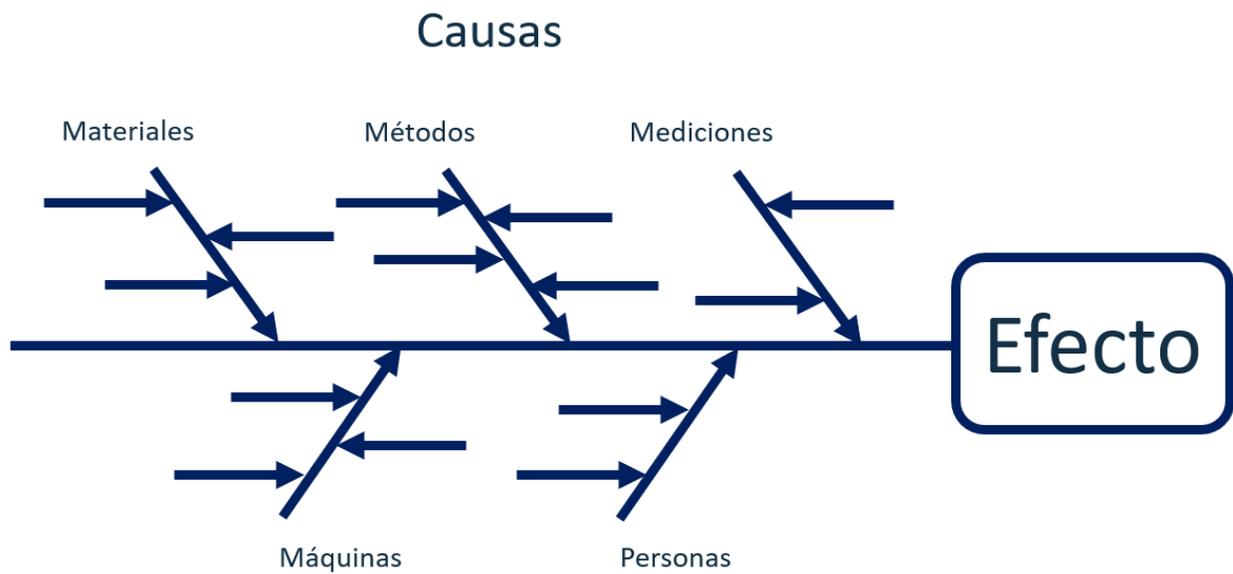


Figura 5. Diagrama de Ishikawa. Elaboración propia

2.3.1.4 Árbol de fallas

Un árbol de fallas es un modelo que representa gráfica y lógicamente las diversas combinaciones de eventos posibles, tanto defectuosos como normales, que ocurren en un sistema que conduce al evento superior no deseado (Liao, 2006). La principal ventaja del método es su sistematización, ya que permite determinar los múltiples factores que contribuyen a las fallas (Fernández de la Calle & Camacho López, 2013). Se utiliza para el análisis cualitativo, cuando se requiere conocer la situación de riesgo, y también para el análisis cuantitativo (Nowakowski, Ciszewski, Młyńczak, & Łukasik, 2018).

Generalmente su elaboración es una tarea complicada y lenta, ya que el primer paso para realizarlo es determinar el evento superior individual, después analizar los sub-eventos para que se vaya

expandiendo gradualmente hasta que no hay más componentes por desarrollar ni datos suficientes (Nowakowski et al., 2018). El árbol de fallas consta de los siguientes símbolos básicos para su elaboración (ver Figura 6).

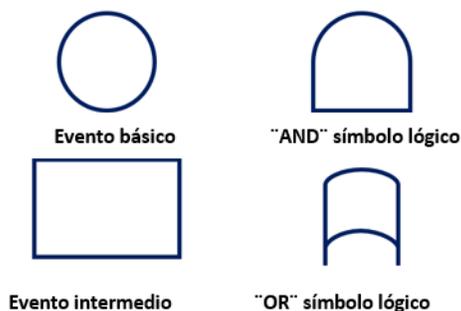


Figura 6. Símbolos del árbol de fallas. Elaboración propia.

El evento básico representa la raíz de la falla o error, generalmente se encuentran en la parte inferior del árbol de fallas, el evento intermedio representa el evento negativo y se localiza en el punto superior del árbol, puede encontrarse por todo el árbol para indicar otros eventos el símbolo lógico "AND" representa una condición donde la salida ocurre solo si ocurren todas las entradas el evento de resultado, es decir, ocurrirá solamente si todos los eventos de entrada existen simultáneamente y el símbolo lógico "OR" es la representación de la condición donde el evento ocurrirá si solamente uno o cualquier combinación de los eventos de entrada ocurre (Division of Workers Compensation, 2006; Hassani, 2016) (ver Figura 7).

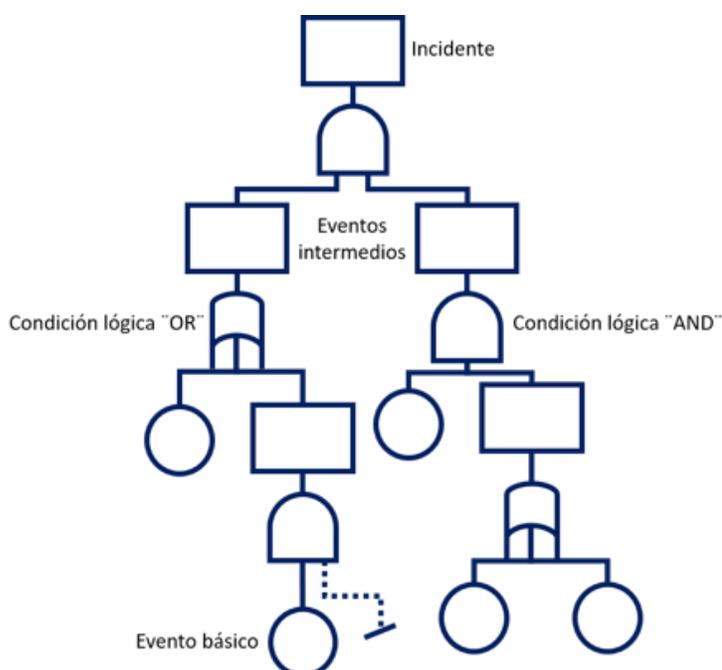


Figura 7. Ejemplo de árbol de fallas. Elaboración propia.

2.3.2 Herramientas cuantitativas

Las herramientas cuantitativas ayudan a obtener una predicción “cuantitativa” de la probabilidad de ocurrencia de una falla o riesgo de tal manera que puedan prevenirse (National Aeronautics and Space Administration, 2016). Estas herramientas generalmente son del campo de la estadística.

2.3.2.1 Gráfico de Gantt

El gráfico de Gantt es una herramienta de gráficos de tiempos muy sencilla que resulta bastante eficaz para la planificación y la evaluación del avance de los proyectos (Bataller, 2016). Básicamente el gráfico de Gantt es un gráfico de barras colocado de lado, donde el eje horizontal corresponde al tiempo y el eje vertical a las actividades relacionadas (Nahmias, 2013) (ver Figura 8).

Entre las ventajas que tiene el gráfico de Gantt esta que muestra claramente cuales actividades se adelantan o retrasan, por lo que se convierte en una excelente herramienta de comunicación, además de que casi todos pueden leerlo o construirlo (Sholarin & Awange, 2015). En consecuencia, tenemos que el gráfico de Gantt se puede utilizar como un controlador para la planificación de proyectos pues se puede asegurar que todos los problemas se abordan conforme a lo requerido (Duffy, 2016).

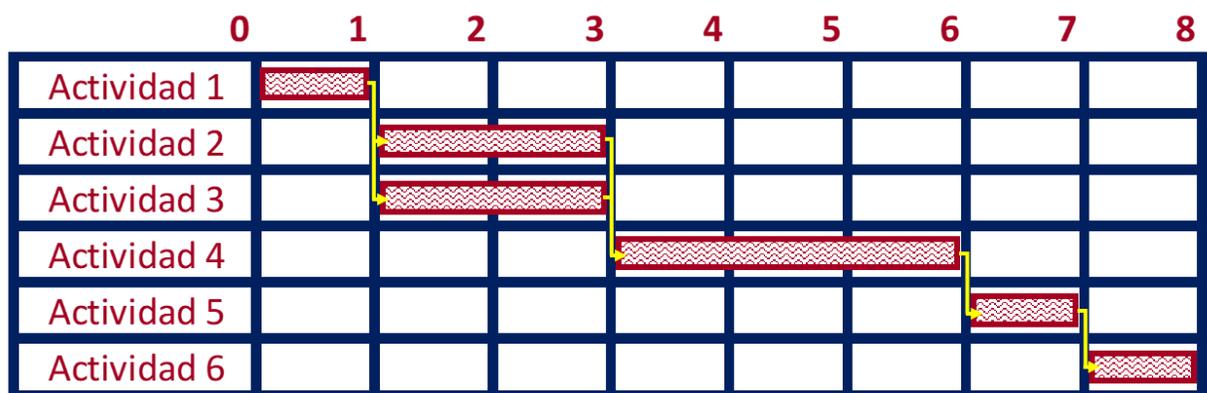


Figura 8. Ejemplo de gráfico de Gantt. Elaboración propia.

2.3.2.2 Método CPM

El método CPM (método de la ruta crítica, CPM por sus siglas en inglés) es una técnica basada en un diagrama de red, similar a PERT en la mayoría de los aspectos, excepto en lo que respecta al manejo de la incertidumbre pues trata las duraciones de las actividades como deterministas esto es que cuyas duraciones se conocen con certeza, además utiliza una estimación de tiempo única para cada actividad (Chemuturi, 2013).

Este método es muy utilizado en la gestión de proyectos ya que sirve para desarrollar estrategias y cronogramas utilizando una estimación de una sola vez para cada actividad que comprende el proyecto (Gass & Fu, 2013a). Un beneficio primordial de este método es que resume en un solo documento la imagen general de todo el proyecto, lo cual ayuda a evitar omisiones, identificar rápidamente contradicciones en la planeación de actividades logrando que el proyecto sea llevado a cabo con un mínimo de tropiezo (Rodríguez Solórzano, 2012).

Prácticamente este método consiste en: identificar todas las actividades involucradas, establecer relaciones entre las actividades, decidir cuál debe comenzar antes y cuál debe seguir después, construir un diagrama conectando las diferentes actividades a sus relaciones de precedencia, definir costos y tiempo estimado para cada actividad, identificar la ruta crítica y las holguras de las actividades que componen el proyecto y finalmente utilizar el diagrama como ayuda para planear, supervisar y controlar el proyecto (Espinal Torres, 2013).

2.3.2.3 Diagrama de PERT

El diagrama de PERT (técnica de revisión y evaluación de programas, PERT por sus siglas en inglés) es un método para planificar y programar un proyecto que modela las incertidumbres en la actividad mediante el uso de estimaciones de tiempo optimistas, probables y pesimistas para cada actividad (Gass & Fu, 2013b).

Un diagrama de PERT puede ser tan simple o tan complejo como se desee, pero siempre implica tres elementos básicos para su elaboración: círculos donde se escriben las actividades, líneas que muestran la dirección del progreso y fechas que indican el momento de finalización (Pickering, 2001) (ver

Figura 9). Los pasos para realizar un diagrama de PERT básico son: definir las actividades, indicar los requisitos necesarios antes de comenzar cada actividad y conocer el tiempo de cada actividad (Perossa, 2015).

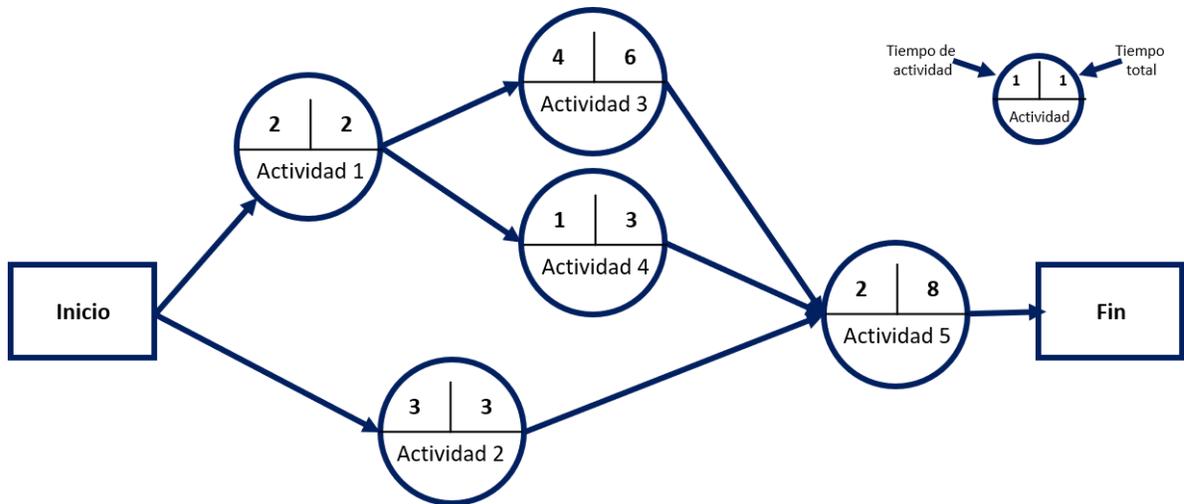


Figura 9. Ejemplo de diagrama de PERT. Elaboración propia

El diagrama de PERT proporciona una metodología que sirve para estimar la probabilidad de completar el proyecto en una duración determinada. Esta metodología consiste en calcular la desviación estándar (diferencia entre tiempo pesimista y optimista, dividido entre 6), varianza para cada actividad y varianza para actividades críticas, para después obtener la desviación estándar de todo el proyecto y finalmente la probabilidad (Chemuturi, 2013).

$$\text{Desviación estándar} = \frac{\text{tiempo pesimista} - \text{tiempo optimista}}{6} \quad (1)$$

$$\text{Varianza} = (\text{desviación estándar})^2 \quad (2)$$

La desviación estándar para el proyecto es la raíz cuadrada de la suma de varianzas de las actividades críticas. Una vez obtenido este valor se determina la probabilidad calculando el valor de Z y buscándolo en la tabla de probabilidad Z. La fórmula es la siguiente:

$$Z = \frac{D - t_e}{\text{Desviación estándar del proyecto}} \quad (3)$$

, donde D es la fecha en la que el proyecto debe estar terminado y t_e es el tiempo estimado de terminación de acuerdo con la ruta crítica (tiempo máximo que puede tardar el proyecto).

2.4 Deficiencias de las herramientas de la ingeniería de sistemas

Las herramientas de la ingeniería de sistemas a pesar de ser ampliamente utilizadas y muy útiles en la gestión de proyectos tienen deficiencias importantes que se deben tomar en cuenta al momento de utilizarlas. A continuación, se muestran las deficiencias de estas herramientas.



Figura 10 Deficiencias de las herramientas de la ingeniería de sistemas. Elaboración propia. Información recuperada de (Nahmias, 2013; Salvendy, 2001; Stamatis, 2003; Watkins, Meiers, & Visser, 2012)

2.5 Ingeniería de sistemas espaciales

La ingeniería de sistemas espaciales se define como el arte y ciencia de crear sistemas espaciales capaces de cumplir estrictos requerimientos, mediante la participación interdisciplinaria de diversas áreas de la ingeniería, tales como: ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, ingeniería electrónica e ingeniería de computo (Solis Santomé, 2016). Debe ser una actividad de equipo en la que las personas involucradas sean conscientes de la relación entre las especialidades y sus roles en el desarrollo como un proceso organizacional (Alves, Abdala, & e Silva, 2007). Consiste en diseñar, construir y gestionar los esfuerzos para la administración de la misión y las operaciones espaciales, es decir ayuda a que el equipo pueda implementar las técnicas necesarias para entregar en tiempo y bajo el presupuesto asignado el proyecto (Massachusetts Institute of Technology, 2007).

Un sistema espacial es un sistema que incluye un vehículo espacial (cohete, satélite, etc.), un centro de operaciones (estación terrena) y un vehículo lanzador (transporte tierra-espacio), se asume que todo sistema espacial incluye uno o más elementos que operan fuera de la atmósfera terrestre en un entorno espacial con características hostiles (Solis Santomé, 2016). Por lo tanto, se entiende como proyecto espacial a aquel proyecto que consiste en el desarrollo de un sistema espacial.

Los ingenieros de sistemas espaciales contribuyen de manera efectiva al diseño de misiones y sistemas espaciales, ya que pueden enfocarse en operaciones, desarrollo de conceptos, arquitectura de sistemas espaciales, verificación y validación, así como también en los procesos haciendo uso de las herramientas clave de ingeniería de sistemas (Stevens Institute of technology, 2012). Estos deben asegurarse de que la estimación del costo del ciclo de vida del proyecto/programa esté dentro del presupuesto y las políticas actuales de la NASA, una de ellas es que los proyectos deben presentar presupuestos suficientes para garantizar un 70% de probabilidad en alcanzar los objetivos sin exceder el presupuesto (National Aeronautics and Space Administration, 2016). Por esto es necesario establecer procesos para estimar, evaluar y controlar los costos en cada fase del proyecto.

Como problemáticas de las líneas de investigación de la ingeniería de sistemas en el sector espacial se tienen un par de preguntas, para las cuales los investigadores expertos esperan encontrar soluciones. Dichas preguntas son: ¿Cómo y qué tan fácil se puede cambiar un sistema añadiendo nuevas funciones, características y tecnologías?, ¿Cuándo se vuelve obsoleto o demasiado complejo un sistema?, ¿Qué se necesita para explorar el espacio de una manera sostenida?, ¿Cuáles son las necesidades reales de las

campañas de exploración espacial a largo plazo, así como para la construcción y operación de colonias planetarias? (de Weck, 2012), ¿Cuáles son los mejores métodos y herramientas para el modelado, medición, análisis, evaluación y predicción del rendimiento de sistemas de computación ultrarrápidos para misiones espaciales? (Saini, 2018), ¿Cuáles son las técnicas para hacer un software seguro (Lowry, 2016), ¿Cómo desarrollar sistemas de vuelo inteligentes que permitan operaciones de vehículos de aeronaves cada vez más autónomas en operaciones de ruta y terminales bajo operaciones de alta densidad? (Bailey, 2016), ¿Cómo identificar las tecnologías clave y la maduración a través de las pruebas terrestres y en órbita? (Massachusetts Institute of Technology, 2017).

2.6 Metodologías de la innovación

La innovación es un proceso para convertir las oportunidades en nuevas ideas y ponerlas en práctica ampliamente utilizada (Tidd & Bessant, 2013). La ingeniería de sistemas y la innovación tienen características comunes en muchos aspectos, entre ellos es tener un sistema exitoso (Scheurer & Strosnider, 2012), por esto la innovación también es muy importante en la ingeniería de sistemas espaciales. Cabe mencionar que el propósito de la innovación es la creación de valor para un grupo de personas en una categoría y contextos específicos, la resolución de problemas, interpretación de necesidades y deseos, además de generación de cambios en las prácticas y comportamientos con un alto nivel de relevancia e impacto (Chile, 2016).

2.6.1 Lean startup

Este método adapta las ideas del pensamiento lean (diseño del conocimiento y creatividad de los trabajadores, reducción de dimensiones, producción just-in-time, control de inventarios y aceleración del tiempo del ciclo) al contexto del espíritu emprendedor, proponiendo que los emprendedores juzguen su progreso de una forma diferente a como lo hacen otras empresas (Ries & San Julián, 2012). Dicho de otra manera, lean startup es un marco para el desarrollo eficiente de ideas empresariales que nació de los principios de la manufactura esbelta con el sistema de producción Toyota, que se centró en identificar y minimizar residuos (York, 2018).

El método lean startup emergió en Silicon Valley y recientemente se ha convertido en una práctica mundial ya que en este método la búsqueda y la ejecución son las dos actividades principales realizadas por las empresas emprendedoras (Yang, Sun, & Zhao, 2018).

Los cinco principios o pilares que sustentan el método Lean Startup son: 1) Innovación continua: un método que permita lograr nuevos descubrimientos de manera reiterada, aprovechando la creatividad y el talento de todos los niveles de la organización; 2) La startup como unidad atómica de trabajo: las empresas necesitan equipos capaces de experimentar a fin de crear ciclos de innovación continua y abrir nuevas fuentes de crecimiento; 3) La función faltante: Las startups deben ser gestionadas sin olvidar el espíritu emprendedor; 4) La segunda fundación: llevar a cabo un cambio tan profundo en la estructura de una organización es como volver a fundar la empresa, al margen de que tenga una antigüedad de cinco o cien años y 5) Transformación continua: desarrollo de nuevas capacidades organizativas, cuando la empresa ha descubierto cómo transformarse a sí misma puede y debe estar preparada para volver a hacerlo en el futuro (Ries, 2018).

2.6.2 Design thinking

El término *design thinking* generalmente se asocia con la aplicación de la sensibilidad y los métodos de los diseñadores a la resolución de problemas, sin importar cuales sean los problemas; cuando en realidad es una metodología para la innovación (Lockwood, 2009). Dicho de otra manera, el *design thinking* es una forma de solucionar problemas, reduciendo los riesgos y aumentando la probabilidad de éxito; se centra en las necesidades humanas y a partir de ahí, observa, crea y prueba, para conectar diversas disciplinas y llegar a una solución humanamente deseable, técnicamente viable y rentable económicamente (Serrano Ortega & Blázquez Ceballos, 2015).

Los métodos y la mentalidad del *design thinking* aunque son defendidos por empresas progresistas y consultoras de diseño; se basan en un amplio campo de disciplinas que incluyen desarrollo de software, ingeniería, antropología, artes y negocios (Griffin, Noble, Durmusoglu, Luchs, & Swan, 2015).

Así pues, el objetivo principal del *design thinking* es involucrar a los consumidores, diseñadores y empresarios en un proceso integrador, que puede aplicarse al producto, servicio o incluso al diseño empresarial (Lockwood, 2009). La ideología del *design thinking* afirma que un enfoque práctico y centrado

en el usuario para la resolución de problemas puede llevar a la innovación, y a su vez, la innovación puede llevar a la diferenciación y esto a una ventaja competitiva (Mehregany, 2018).

En particular esta metodología se desarrolla valorando 5 características diferenciales: generación de empatía (entender al cliente no como cliente sino como ser humano (BBVA Innovation center, 2015)), trabajo en equipo (conocer a las personas interdependientes que se coordinan de manera espontánea y natural con el motivo de un proyecto en común (Enciso, 2011)), generación de prototipos (ya que ver y sentir un prototipo tiene más valor que una imagen impresa (Kim & Ryu, 2014)), generación de técnicas con gran contenido visual y de ambientes divertidos para promover la empatía en los participantes.

Esta metodología propone abordar tres fases, donde la primera consiste en entender la realidad del objeto de estudio y de sus protagonistas para definir el reto planteado inicialmente, la segunda se enfoca en la búsqueda de soluciones concretas diseñadas en clave de co-creación y la tercera consiste en la implementación, evaluación y retroalimentación (Echegaray Eizaguirre, Urbano Ortega, & Barrutieta Anduiza, 2017). A su vez, esta metodología cuenta con 6 etapas (definición, investigación, interpretación, ideación, prototipado y evaluación las cuales se describen a continuación:

- Definición. Consiste en establecer cuál es el problema a solucionar y los objetivos (Ambrose & Harris, 2010).
- Investigación. Se centra en recopilar toda la información que pueda ser útil (Yayici, 2016).
- Interpretación. Se refiere a la detección de los patrones entre los datos de investigación y utilizarlos para la generación de ideas.
- Ideación. Consiste en pensar en la creación de las posibles soluciones (Ambrose & Harris, 2010).
- Prototipado. Es la acción de convertir las ideas de las soluciones seleccionadas en forma tangible (Yayici, 2016).
- Evaluación. Es probar los prototipos y recibir retroalimentación (Griffin et al., 2015).

El *design thinking* es una metodología para la resolución de problemas que utiliza diferentes tipos de inteligencia: inteligencia integral, inteligencia emocional e inteligencia experimental (Lockwood, 2009). Como el ser humano es complejo y multidimensional se debe desarrollar la inteligencia integral para poder responder a las exigencias del mundo actual, sin embargo, esta inteligencia es un compendio de las distintas inteligencias que debe poseer el hombre para tener un desarrollo pleno y equilibrado (Serrano Ortega & Blázquez Ceballos, 2015).

Además, el *design thinking* hace uso de varias técnicas de innovación, las más utilizadas son:

- Mapa mental. Es el modo de representar la información de carácter gráfico y visual, enfocándose en conceptos clave del tema y sus relaciones (Ocaña, 2011).
- Diagrama de Ishikawa. Es un diagrama que muestra de manera esquemática las posibles causas de un problema.
- Matriz FODA. Es la representación por medio de un cuadrante de las fortalezas (F), oportunidades (O), debilidades (D) y amenazas (A) de un proyecto, empresa, producto, etc.
- Diagrama de las cinco fuerzas de Porter. Es la presentación en un diagrama de la posibilidad de amenaza ante competidores, el poder de la negociación con los proveedores, la capacidad de negociar con los compradores, la amenaza de ingresos por productos secundarios y la rivalidad entre los competidores (Harrison, 2009).
- Lluvia de ideas. Consiste en pensar de manera rápida y espontáneamente palabras relacionadas con un tema en específico (Ambrose & Harris, 2010).
- Matriz de impacto o esfuerzo. Es una matriz en la que en el eje Y se define el nivel de impacto y en el eje X el nivel de esfuerzo que se requiere.
- Mapa de impacto. Es un mapa donde se responden 4 preguntas esenciales: ¿Por qué? ¿Quién? ¿Cómo? ¿Qué?

2.7 Metodología de las cadenas de Markov

Las cadenas de Markov están incluidas dentro de los modelos estadísticos que proporcionan un medio para modelar secuencias de operaciones, haciendo uso de probabilidades de transición a futuro (Gogunskii et al., 2017). El estudio de las cadenas de Markov inició con el matemático ruso Andrei A. Markov (1856-1922) entre los años 1907 y 1912 cuando comenzó a estudiar un proceso aleatorio donde el resultado de un experimento dado podría afectar el resultado del siguiente experimento (Grinstead & Snell, 2006; Marchese & Maroulas, 2018).

Las cadenas de Markov representan el movimiento aleatorio de un objeto donde se considera $\{X_n\}$ como la posición o el valor de un objeto al instante n ; requieren un espacio de estados S que representa al conjunto de todos los lugares a donde puede ir el objeto y hacen uso de probabilidades de transición que muestran la probabilidad que describe hacia donde se desplazara el objeto (Evans, Rosenthal, & Tomás Morer, 2005). Conviene subrayar que un modelo matemático es un constructo matemático abstracto con una parte de la realidad y creado para un propósito particular (Bender, 2000). Se han encontrado muchas aplicaciones para las cadenas de Markov que van desde aplicaciones en la biología hasta en la música (Gagniuc, 2017).

El desarrollo y gestión de proyectos suele representarse solo en forma de modelos cualitativos, sin embargo, el uso de cadenas de Markov permite cambiar a las evaluaciones cuantitativas para obtener mejores resultados sobre el éxito en los proyectos (Gogunskii et al., 2017). Esto porque tener conocimiento de la probabilidad de éxito de los proyectos es beneficioso ya que con esto se pueden analizar futuras inversiones a proyectos en varios sectores.

Capítulo 3. Desarrollo

3.1 Definición

Esta metodología se encuentra basada y fundamentada de manera teórica en la ingeniería de sistemas y la metodología de la innovación *design thinking*, ya que mediante la búsqueda bibliográfica se determinó que esta era la mejor para la gestión de proyectos espaciales. A su vez esta metodología está basada en las cadenas de Markov, lo cual permite que también tenga un fundamento matemático.

Se define que la metodología consta de 12 etapas de las cuales 6 corresponden a las etapas originales del *design thinking* y las otras 6 a reuniones de revisión agregadas (ver Figura 11), en estas reuniones se juntan todos los involucrados en el proyecto para determinar si se cumplieron los objetivos establecidos en la etapa anterior y evitar el progreso a la siguiente etapa si algo es inusual, es decir, las reuniones de revisión establecidas servirán como filtros basados en una retroalimentación continua.

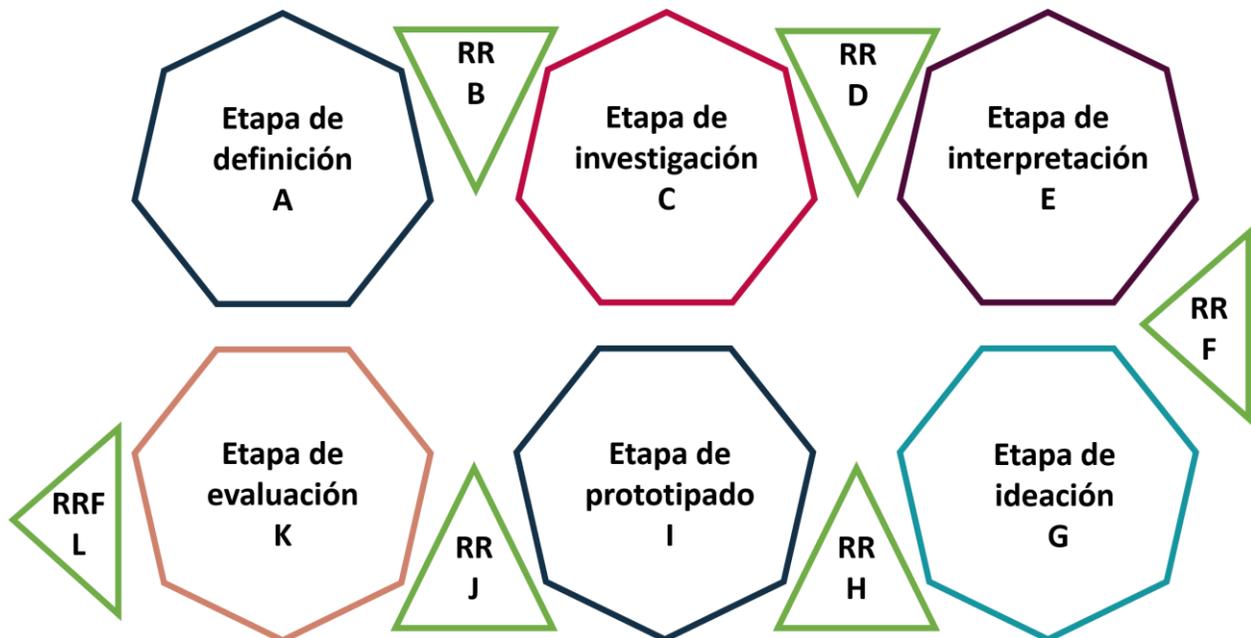


Figura 11 Etapas de la metodología. RR= Reunión de Revisión, RRF= Reunión de Revisión Final

Seguido a esto, se determinaron las herramientas de la ingeniería de sistemas que pueden ser utilizadas en cada una de las etapas quedando de la siguiente manera:

- **Etapa A (definición)**; se propone el uso del diagrama de Gantt para la planificación general del proyecto, es decir, orden de actividades, tiempo y personal requeridos para cada una de ellas. Además, el uso del diagrama de Ishikawa y AMEF en esta etapa funciona para contemplar las actividades críticas.
- **Etapa B (reunión de revisión)**; el propósito de esta reunión de revisión es aclarar los objetivos por alcanzar, para no avanzar a las siguientes etapas sin tener una definición específica única. Se considera que esta etapa es una de las más críticas ya que de ella depende en gran medida del éxito del proyecto.
- **Etapa C (investigación)**; se plantea la utilización de las matrices de riesgo, el árbol de fallas y nuevamente el diagrama de Ishikawa ya que ayudara a identificar posibles causas de riesgo de falla para el proyecto desde las primeras etapas.
- **Etapa D (reunión de revisión)**; esta reunión es necesaria debido a que es importante verificar que todas las posibles causas de falla hayan sido consideradas por las herramientas utilizadas.
- **Etapa E (interpretación)**; se considera el uso del diagrama PERT y el CPM para conocer la ruta crítica del proyecto.
- **Etapa F (reunión de revisión)**; la reunión de revisión en esta etapa del proyecto es fundamental ya que es la etapa intermedia de todo el proyecto y se puede ir obteniendo retroalimentación de lo avanzado hasta este punto, lo cual ayuda a continuar el proyecto por el mejor camino.
- **Etapa G (ideación)**; en esta etapa se puede utilizar cualquier técnica que se considere necesaria, sin embargo, se recomienda hacer uso de las técnicas lluvia de ideas y mapa mental.
- **Etapa H (reunión de revisión)**; una reunión de revisión en este punto es importante para aclarar todas las dudas que pudieron surgir después de la etapa de ideación.
- **Etapa I (prototipado)**; se recomienda hacer uso de cualquier herramienta o técnica que se considere necesaria, se sugiere el uso del grafico de Gantt, diagrama Ishikawa y matriz de riesgo como apoyo.

- **Etapa J (reunión de revisión);** hacer una reunión después de la etapa de prototipado es de suma importancia ya que en ella se pueden encontrar posibles mejoras.
- **Etapa K (evaluación);** utilizar el AMEF en esta etapa sirve para evaluar las posibles causas de problemas e identificar como se pueden controlar o eliminar
- **Etapa L (reunión de revisión final);** esta reunión es esencial debido a que es necesaria para garantizar que todo lo realizado fue correcto y para brindar una retroalimentación al equipo de trabajo sobre todo el proyecto.

Se implementó el uso de las cadenas de Markov, para el cual fue necesario nombrar a las etapas ya antes mencionadas como estados y definirlos tal como se muestra en la siguiente tabla (ver Tabla 7).

Tabla 7 Etapas de la metodología

Definición de estados		
Estado	Descripción	Herramienta sugerida
A	Etapa de definición	Gráfico de Gantt, diagrama de Ishikawa y análisis de modos y efectos de las fallas.
B	Reunión de revisión	
C	Etapa de investigación	Matriz de riesgo, árbol de fallas y diagrama de Ishikawa
D	Reunión de revisión	
E	Etapa de interpretación	Diagrama PERT y CPM
F	Reunión de revisión	
G	Etapa de ideación	<i>Lluvia de ideas y mapa mental</i>
H	Reunión de revisión	
I	Etapa de prototipado	Gráfico de Gantt, diagrama de Ishikawa y matriz de riesgo.
J	Reunión de revisión	
K	Etapa de evaluación	Análisis de modos y efectos de las fallas.
L	Reunión de revisión final	

Posteriormente, se determinó en base a los requerimientos de cada etapa que los recursos clave para estos proyectos son el recurso económico, el recurso material y el recurso humano. Así mismo se identificó a que estado pertenece cada uno de los recursos y su prioridad (ver Tabla 8).

Tabla 8 Recursos por estado

Estado	Prioridad de recurso
A, C	1. Económico 2. Humano 3. Material
I	1. Económico 2. Material 3. Humano
B, D, E, F, G, H, J, K, L	1. Humano

Teniendo ya identificados los recursos por estado y su prioridad, se añadieron las especificaciones y técnicas de evaluación sugeridas para cada uno de ellos (ver Tabla 9). Esto con el fin de conocer mediante una autoevaluación la condición en la que se encuentra la empresa o institución que realizara el proyecto respecto a los recursos ya mencionados.

Tabla 9 Recursos, especificaciones y técnicas por estado

Estado	Recurso	Especificaciones	Técnica de evaluación
A	Económico	Capacidad de solvencia económica del proyecto.	Balance de situación
		Capacidad de gestión económica.	
	Humano	Experiencia laboral.	Curriculum Vitae
		Capacidad de trabajar en equipo.	Test de competencias
		Capacidad de razonamiento verbal y matemático	Test de agilidad mental
	Material	Se tiene el equipo y material de trabajo necesario.	<i>Check-list</i>
Condiciones del equipo y material de trabajo.			
Infraestructura adecuada.			
C	Económico	Capacidad de invertir recurso económico en investigación.	Estado flujos de efectivo
	Humano	Conocimientos y experiencia en el área de trabajo.	Test de habilidades
		Manejo de las herramientas a utilizar.	
Material	Se cuenta con el equipo y material de trabajo necesario.	<i>Check-list</i>	
E	Humano	Conocimientos y experiencia en el área de trabajo.	Test de habilidades
		Manejo de las herramientas a utilizar.	Test de personalidad
		Autocrítica	
G	Humano	Creatividad	Test indicadores de creatividad
		Conocimiento de técnica lluvia de ideas y mapa mental	
I	Económico	Capacidad actual para solventar los gastos del prototipo a desarrollar.	Estado flujos de efectivo
	Material	Disponibilidad de material y equipo necesarios.	<i>Check-list</i>
		Creatividad.	
	Humano	Conocimientos en <i>Design thinking</i>	Test indicadores de creatividad
Experiencia en elaboración de prototipos.			
K	Humano	Buen manejo de la herramienta a utilizar.	Test de habilidades
		Grandes conocimientos en el área de trabajo.	
		Autocrítica	Test de personalidad
B, D, F, H, J, L	Humano	Conocimiento y experiencia en el área de trabajo.	Test de agilidad mental
		Capacidad de razonamiento verbal.	

Teniendo ya definidos los estados, sus recursos y especificaciones, se prosiguió a elaborar el gráfico base de la cadena de Markov para esta metodología (ver Figura 12). En este gráfico se muestra dentro de los círculos el estado correspondiente y al exterior las probabilidades de transición entre ellos.

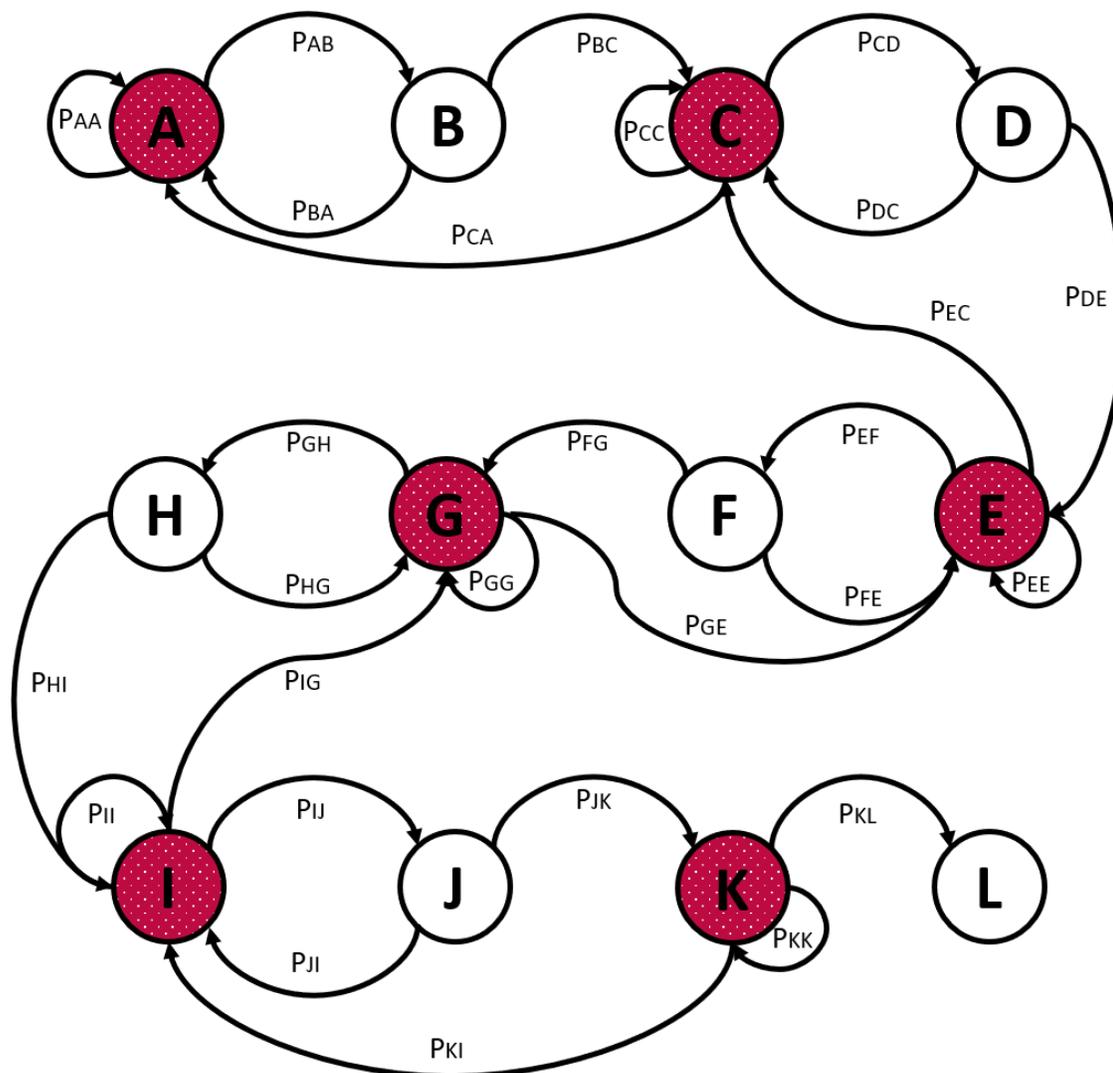


Figura 12 Cadena de Markov base

Como parte del uso de las cadenas de Markov, se realizó la matriz de transición de esta metodología (ver Ecuación 1), donde P es la probabilidad y n es la iteración correspondiente al tiempo, a su vez, se determinó el vector de probabilidades (ver Ecuación 2) el cual determina la probabilidad de un estado particular para un paso específico del proceso. Debido al proceso de innovación natural, el estado A tiene la probabilidad unitaria.

$$P = \begin{bmatrix} P_{A,A} & P_{A,B} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{B,A} & 0 & P_{B,C} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_{C,A} & 0 & P_{C,C} & P_{C,D} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{D,C} & 0 & P_{D,E} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & P_{E,C} & 0 & P_{E,E} & P_{E,F} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{F,E} & 0 & P_{F,G} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & P_{G,E} & 0 & P_{G,G} & P_{G,H} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{H,G} & 0 & P_{H,I} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{I,G} & 0 & P_{I,I} & P_{I,J} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{J,I} & 0 & P_{J,K} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & P_{K,I} & 0 & P_{K,K} & P_{K,L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^n \quad (1)$$

$$P_S = \begin{bmatrix} P_A \\ P_B \\ P_C \\ P_D \\ P_E \\ P_F \\ P_G \\ P_H \\ P_I \\ P_J \\ P_K \\ P_L \end{bmatrix} \quad (2)$$

A partir de lo anterior, se elaboraron las ecuaciones generales que servirán para el cálculo de la probabilidad de éxito del proyecto. En la ecuación (3) se hace referencia a las condiciones iniciales que se tienen en la empresa o institución que elaborara el proyecto, después de haber realizado la autoevaluación para cada recurso (humano, material, económico) haciendo uso de las técnicas de evaluación mencionadas anteriormente (ver Tabla 9).

$$P_i = S_{RH}P_{RH} + S_{RM}P_{RM} + S_{RE}P_{RE} = 1 \quad (3)$$

$$S_x = P_x = [0,1], \quad \sum S_x = 1 \quad (4)$$

Donde,

S es la puntuación obtenida para los recursos en la autoevaluación;

P es la ponderación de importancia de los parámetros elegidos por el usuario de acuerdo con su interés;

x es el recurso.

Cabe mencionar que en la ecuación (3) se considera que las condiciones son perfectas por lo tanto el resultado es igual a 1.

$$P_{A,x} = f(S_{RH}, P_{RH}, S_{RM}, P_{RM}, S_{RE}, P_{RE}) \quad (5)$$

$$P_{B,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (6)$$

$$P_{C,x} = f(S_{RH}, P_{RH}, S_{RM}, P_{RM}, S_{RE}, P_{RE}) \quad (7)$$

$$P_{D,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (8)$$

$$P_{E,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (9)$$

$$P_{F,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (10)$$

$$P_{G,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (11)$$

$$P_{H,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (12)$$

$$P_{I,x} = f(S_{RH}, P_{RH}, S_{RM}, P_{RM}, S_{RE}, P_{RE}) \quad (13)$$

$$P_{J,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (14)$$

$$P_{K,x} = f(S_{RH}, P_{RH}) \quad (15)$$

Después de elaborar las ecuaciones generales para la transición entre cada estado, se desarrollaron de la siguiente manera:

$$P_{AA} = 1 - P_i \quad (16)$$

$$P_{AB} = P_i \quad (17)$$

$$P_{BA} = 1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (18)$$

$$P_{BC} = \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (19)$$

$$P_{CA} = \frac{1 - P_i}{2} \quad (20)$$

$$P_{CC} = \frac{1 - P_i}{2} \quad (21)$$

$$P_{CD} = P_i \quad (22)$$

$$P_{DC} = 1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (23)$$

$$P_{DE} = \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (24)$$

$$P_{EC} = \frac{1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}}}{2} \quad (25)$$

$$P_{EE} = \frac{1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}}}{2} \quad (26)$$

$$P_{EF} = \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (27)$$

$$P_{FE} = 1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (28)$$

$$P_{FG} = \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (29)$$

$$P_{GE} = \frac{1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}}}{2} \quad (30)$$

$$P_{GG} = \frac{1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}}}{2} \quad (31)$$

$$P_{GH} = \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (32)$$

$$P_{HG} = 1 - \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (33)$$

$$P_{HI} = \frac{S_{RH} \times P_{RH}}{P_{RH}} \quad (34)$$

$$P_{IG} = \frac{1 - P_i}{2} \quad (35)$$

$$P_{II} = \frac{1 - P_i}{2} \quad (36)$$

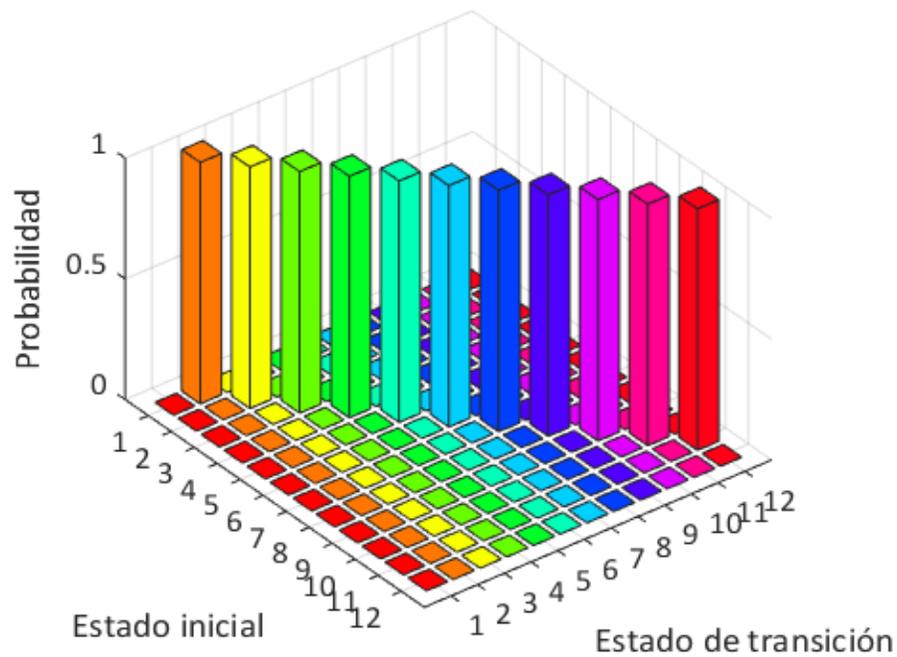
Tabla 10 Comparación entre ambas metodologías

Metodología creada	Metodología <i>Design thinking</i>
Es adaptable al criterio de quien las utilice, por lo tanto, puede ser usada desde universidades hasta en agencias espaciales.	Es de fácil implementación y es apta para todo el público.
Esta metodología permite ahorrar tiempo, ejemplo: al tomar decisiones de inversión.	No pretende ahorrar tiempo, ya que promueve los cambios repentinos y estos pueden afectar la rentabilidad del proyecto.
Es una metodología ordenada donde no se puede avanzar a un estado que no sea consecutivo	Metodología desordenada donde se va desde cualquier estado a cualquier otro.
Cuenta con etapas que consisten en reuniones de revisión para llevar un mejor control de lo requerido.	No sugiere el uso de reuniones de revisión entre etapas.
Permite calcular probabilidades de transición entre estados.	No es adecuada para el cálculo de probabilidades de transición, ya que al ser una metodología desordenada implica tener probabilidades de transición sumamente bajas.
Su fundamento se basa en un modelo matemático que utiliza cadenas de Markov, donde se consideran 3 recursos clave (económico, material y humano) los cuales permiten estimar de manera cuantitativa la probabilidad de éxito de un proyecto.	Su fundamento se basa únicamente en teoría.

Capítulo 4. Resultados

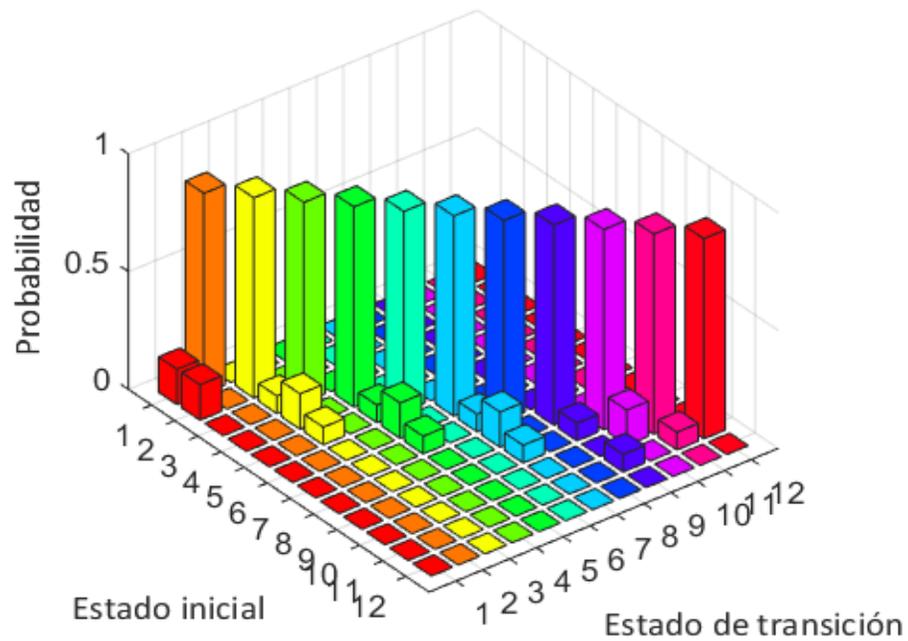
Con las ecuaciones obtenidas en el capítulo anterior, se realizó la simulación de los diferentes escenarios para el cálculo de la probabilidad de éxito de proyectos utilizando el software Matlab para obtener los siguientes resultados:

En la gráfica 1, se muestra la matriz de transición para una autoevaluación ideal, es decir, cuando las ponderaciones obtenidas en la autoevaluación de los recursos es 1 ($S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 1$), a su vez, es posible observar que la estimación de la probabilidad de transición siempre es avanzar hacia el estado siguiente.



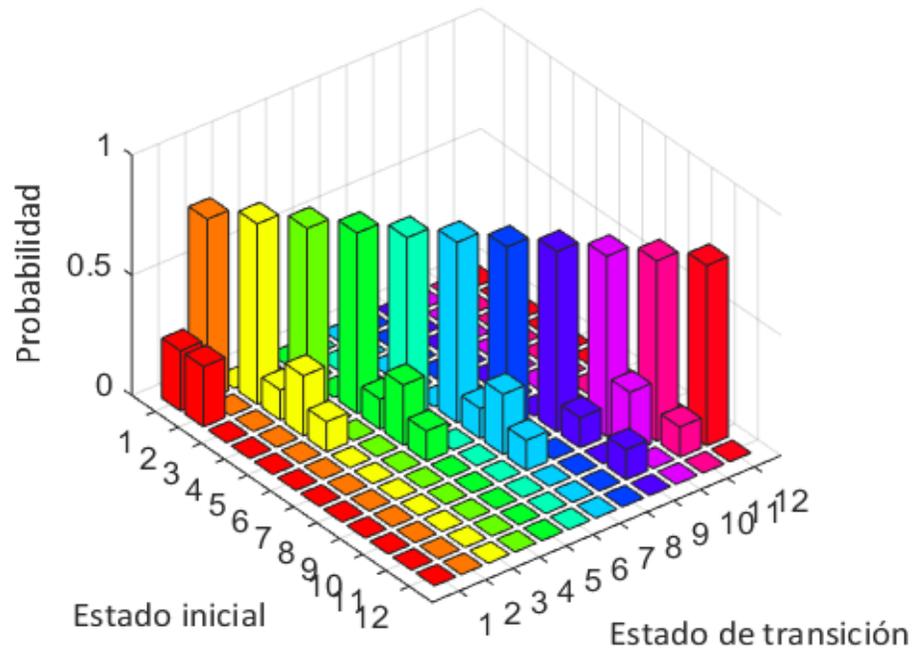
Gráfica 1 Matriz de transición para $S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 1$

En la gráfica 2, se muestra la matriz de transición para una autoevaluación considerablemente buena ya que las ponderaciones que se establecieron como resultado de una autoevaluación de recursos son ($S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.85$). En los resultados de esta simulación se puede observar que existen probabilidades de transición para ir de un estado a otro anterior, sin embargo, estas probabilidades se mantienen bajas.



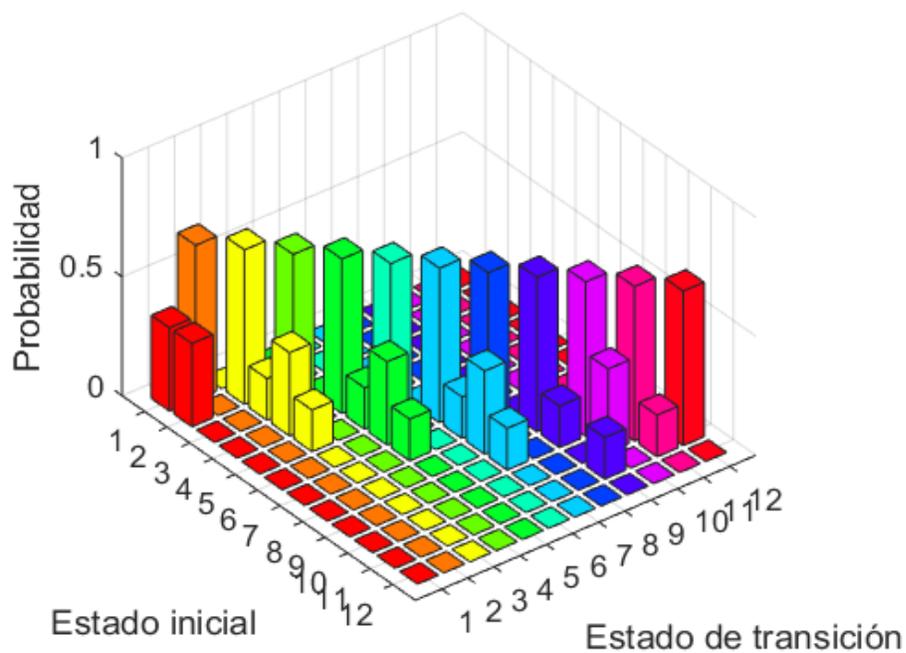
Gráfica 2 Matriz de transición para $S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.85$

En la gráfica 3, se muestra la matriz de transición para una autoevaluación considerada como regular, ya que las ponderaciones establecidas para la autoevaluación de los recursos son ($S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.75$). Los resultados obtenidos son muy similares a los de la gráfica 2, sin embargo, en estos se puede observar que la probabilidad de retroceder a un estado es ligeramente más alta.



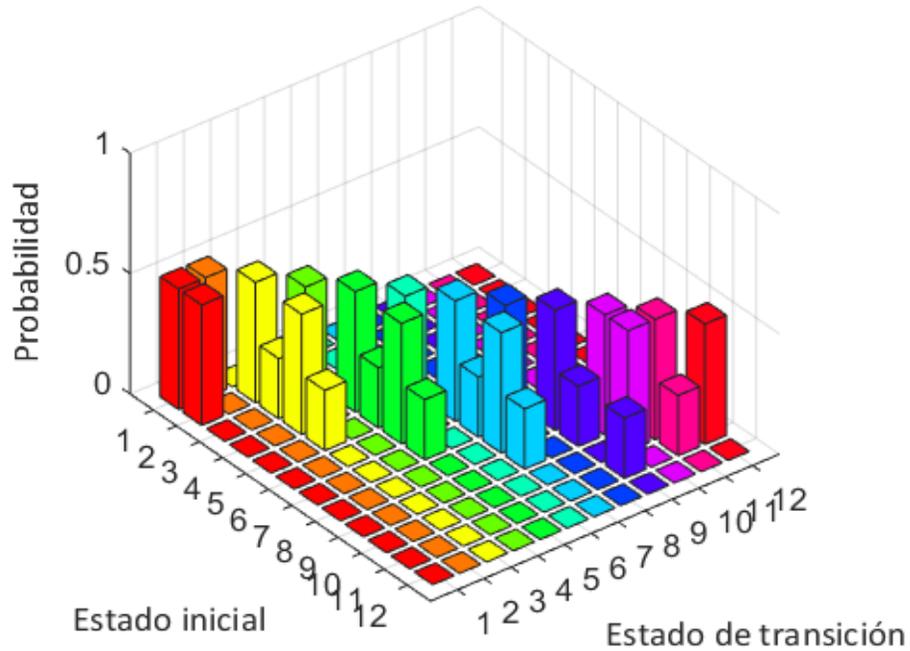
Gráfica 3 Matriz de transición para $S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.75$

En la gráfica 4, se muestra la matriz de transición para una autoevaluación considerada como media, ya que las ponderaciones establecidas para la autoevaluación de los recursos son ($S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.65$). Los resultados obtenidos son muy similares a los de la gráfica 2, sin embargo, en estos se puede observar que la probabilidad de retroceder a un estado es ligeramente más alta.



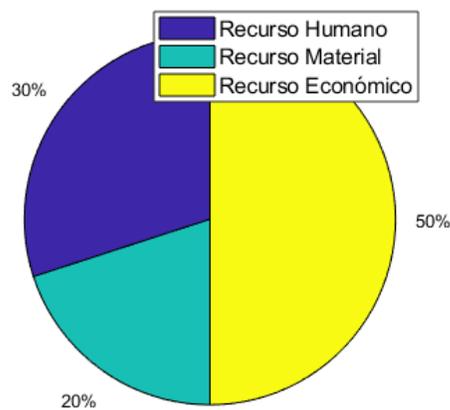
Gráfica 4 Matriz de transición para $S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.65$

En la gráfica 5, se muestra la matriz de transición para una autoevaluación considerada como mala, teniendo como ponderación de la autoevaluación de recursos $S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.5$. En este caso las probabilidades de avanzar entre estados son menores a 0.5 lo cual no es un buen indicativo ya que la probabilidad de retroceder es igual,



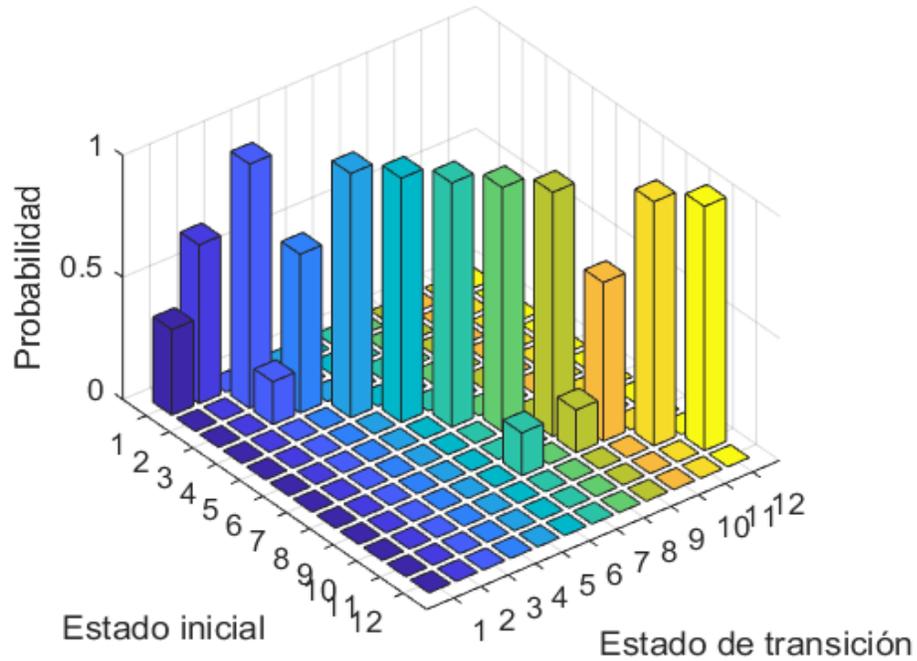
Gráfica 5 Matriz de transición para $S_{RH} = S_{RM} = S_{RE} = 0.5$

La gráfica 6 muestra la distribución de las ponderaciones de importancia utilizadas en las simulaciones anteriores.



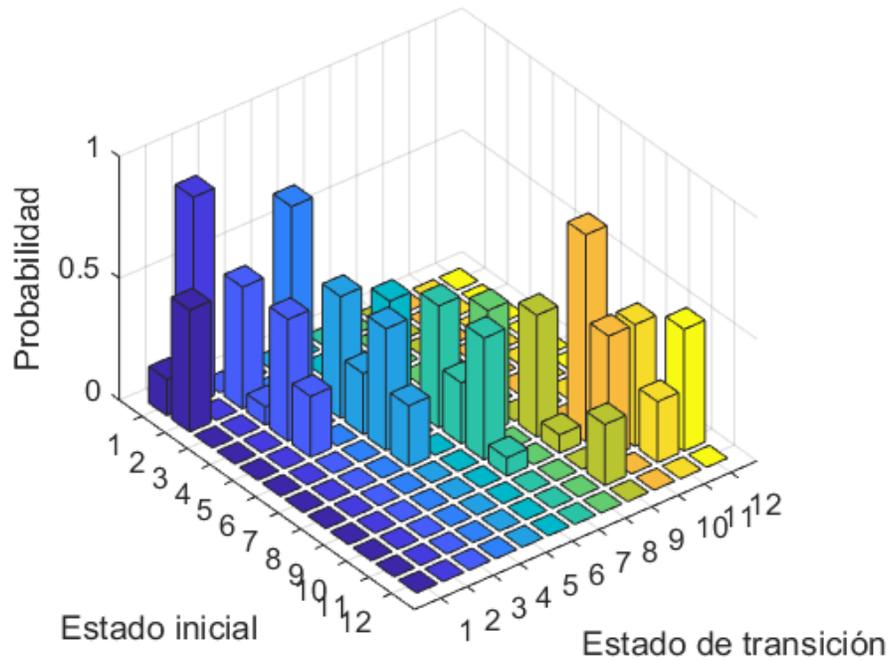
Gráfica 6 Distribución de ponderación de importancia

En la gráfica 7 se muestra un caso donde el recurso humano tiene la mejor ponderación en la autoevaluación y el recurso material y económico tienen ponderaciones medias ($S_{RH} = 1$; $S_{RM} = S_{RE} = 0.5$). Esto da como resultado que la probabilidad de avanzar de un estado a otro es considerablemente alta y por lo tanto se puede concluir bien el proyecto.



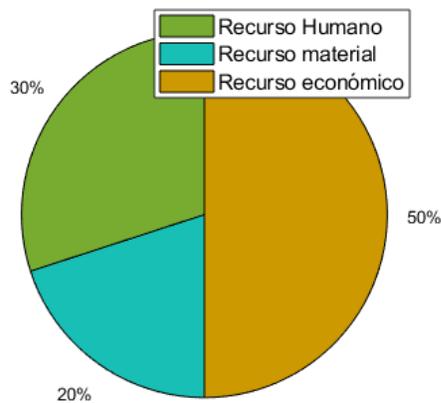
Gráfica 7 Matriz de transición para $S_{RH} = 1$; $S_{RM} = S_{RE} = 0.5$

En la gráfica 8 se muestra un caso donde el recurso humano tiene una ponderación media en la autoevaluación y el recurso material y económico tienen ponderación alta ($S_{RH} = 0.5$; $S_{RM} = S_{RE} = 1$). Esto muestra que, aun teniendo muy buena ponderación en el recurso económico y material, si no se tiene un buen recurso humano las probabilidades de avanzar hacia otro estado son bajas.



Gráfica 8 Matriz de transición para $S_{RH} = 0.5$; $S_{RM} = S_{RE} = 1$

La gráfica 9 muestra la distribución de las ponderaciones de importancia utilizadas en las simulaciones de las gráficas 7 y 8 .



Gráfica 9 Distribución de ponderación de importancia utilizada en las gráficas 7 y 8

Capítulo 5. Conclusiones y trabajo futuro

5.1 Conclusiones

Se concluye que se responden las preguntas de investigación, se cumplió con el entregable, la hipótesis y objetivos de este trabajo. La metodología creada aporta una estimación cuantitativa de la probabilidad de éxito de un proyecto mediante el uso de las cadenas de Markov.

Se determinó mediante la búsqueda bibliográfica que la metodología de la innovación más adecuada para la gestión de proyectos espaciales es la del *design thinking* utilizándose en conjunto con las herramientas de la ingeniería de sistemas. De esta manera se minimizan las deficiencias significativas que estas pueden tener si se utilizan individualmente y añadiendo las reuniones de revisión entre sus etapas. Del mismo modo, se logró que la metodología creada tuviera una forma ordenada que permite a los usuarios ahorrar tiempo y obtener retroalimentación para la mejora continua.

Se determinó por medio de las simulaciones que el modelo matemático se comporta tal como se esperaba debido a que depende de los resultados de la autoevaluación de recursos. Además, se pudo observar que, si los resultados de la autoevaluación no son los mejores, se puede tener mayor incidencia en las reuniones de revisión creando bucles.

Por otro lado, se concluye que como el recurso humano es el que se encuentra presente en todas las etapas de la metodología, es de gran importancia que se cuente con un buen equipo de trabajo, ya que como se observa en las gráficas 7, 8 y 9 si el recurso humano recibe una muy buena autoevaluación y el recurso material y económico una mala, la probabilidad de terminar con éxito el proyecto es alta. En cambio, si el recurso humano recibe una mala autoevaluación y los recursos material y económico una muy buena, las probabilidades de avanzar de un estado a otro disminuyen significativamente. Con esto también se concluye que, aunque el recurso que se considere de más importancia no sea el recurso humano, este es el que más influye.

Aunque existan metodologías de trabajo propuestas por diversas agencias espaciales para los proyectos espaciales, se considera que esta metodología es adecuada para quienes requieran optimizar sus recursos sin disminuir la calidad del proyecto o bien para quienes están emergiendo en el sector

espacial. Esto debido a la implementación de las reuniones de revisión ya que permiten el ahorro de tiempo y costos, adelantándose a los imprevistos que puedan ocurrir.

5.2 Trabajo futuro

Como trabajo futuro se plantea la implementación de una herramienta de análisis tipo cuestionario (ver Anexo A), la cual permitirá elaborar de una manera más sencilla la autoevaluación necesaria de los recursos disponibles al momento de la elaboración de los proyectos y la determinación de la importancia que se le asigna a cada uno de ellos; tomando en cuenta las especificaciones que se deben evaluar en cada recurso clave y ponderaciones significativas.

Además, se propone la implementación de la metodología en proyectos reales de corta duración (hasta un año), para así mejorar la precisión de las estimaciones y poder proporcionar resultados más visuales.

Anexo A

Proyectos innovadores en las empresas

Estimado(a):

CETyS Universidad, a través de la Coordinación de Vinculación Académica tiene el agrado de compartirle esta encuesta con el objetivo de realizar un análisis del estado actual de los proyectos de innovación en las empresas. En particular, la encuesta mencionada es parte de un proyecto de investigación desarrollado en la Maestría en Ingeniería e Innovación. De antemano, muchas gracias por su colaboración. La información recopilada en esta encuesta será tratada de manera confidencial y únicamente se utilizará en la evaluación de una nueva metodología para la eficiente gestión de proyectos.

Dirección de correo electrónico _____

Nombre de la empresa _____

Instrucciones: marque con una X la respuesta correspondiente.

1. Asigne el orden de prioridad a los siguientes factores en función de su opinión, siendo el 1 el de mayor prioridad y el 3 el de menor prioridad. ¿Cuáles son los conceptos más importantes para el desarrollo de proyectos innovadores?
 - 1=Económico, 2=Recurso Humano, 3=Infraestructura
 - 1=Económico, 2=Infraestructura, 3=Recurso Humano
 - 2=Económico, 1=Infraestructura, 3=Recurso Humano
 - 3=Económico, 1=Infraestructura, 2=Recurso Humano
 - 2=Económico, 3=Infraestructura, 1=Recurso Humano
 - 3=Económico, 2=Infraestructura, 1=Recurso Humano
 - Todos igual de importantes
2. ¿Considera que los trabajadores de la empresa solucionan de manera innovadora los problemas en los procesos industriales?
 - Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca
 - Nunca

3. ¿Existe un entrenamiento y/o capacitación para los empleados de la empresa, referente a temas de innovación tecnológica?
- Siempre (más de 2 cursos al año)
 - Regularmente (2 cursos al año)
 - Casi nunca (1 curso al año)
 - Nunca
4. ¿La empresa cuenta con un departamento dedicado a solucionar los problemas de manera innovadora?
- Sí
 - No
5. ¿Las soluciones innovadoras a problemas internos de la empresa se protegen en el ámbito nacional o internacional por medio de patentes, diseños industriales, modelo de utilidad, derecho de autor, etc.?
- Sí
 - No
6. ¿Se considera la experiencia/conocimientos en innovación en el perfil de ingreso de los administrativos de la empresa?
- Sí
 - No
7. Cuando se realiza un nuevo proyecto en la empresa, ¿Se consideran las habilidades de los participantes al asignar tareas?
- Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca
 - Nunca
8. ¿Se fomenta el pensamiento creativo en el personal de la empresa?
- Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca
 - Nunca

9. ¿Se establece un plan de comunicación durante la realización de proyectos?

- Siempre
- Regularmente
- Casi nunca
- Nunca

10. En su experiencia dentro de la empresa, ¿Qué tan frecuentemente se ven limitados por la infraestructura de la empresa al desarrollar cualquier proyecto? *Infraestructura es el conjunto de elementos o servicios que están considerados como necesarios para el desarrollo de una actividad.

- Siempre
- Regularmente
- Casi nunca
- Nunca

11. Antes de iniciar un proyecto nuevo, ¿Se realiza un inventario del material que se tiene disponible?

- Siempre
- Regularmente
- Casi nunca
- Nunca

12. ¿Se acostumbra a demorar el inicio de un proyecto si no se cuenta con el material necesario?

- Siempre
- Regularmente
- Casi nunca
- Nunca

13. Antes de iniciar un nuevo proyecto, ¿Se verifica que la empresa cuente con todas las herramientas necesarias disponibles?

- Siempre
- Regularmente
- Casi nunca
- Nunca

14. ¿Se tiene establecido un calendario de reuniones periódicas durante el desarrollo de los proyectos?
- Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca
 - Nunca
15. En promedio, a nivel nacional e internacional y sin importar la periodicidad, ¿Cuántas reuniones/juntas de planeación, seguimiento, verificación, etc. se realizan en cada uno de sus proyectos?
- Menos de 12
 - Entre 12 y 15 reuniones
 - Entre 16 y 25 reuniones
 - Mas de 25 reuniones
16. ¿Al iniciar un proyecto, se contempla un fondo de emergencia?
- Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca
 - Nunca
17. ¿En la empresa existe un fondo para apoyo de proyectos innovadores?
- Sí
 - No
18. ¿Se realizan estados de flujo de efectivo para conocer la capacidad de inversión en proyectos?
- Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca
 - Nunca
19. ¿En la empresa se elaboran balances de situación antes de iniciar un proyecto?
- Siempre
 - Regularmente
 - Casi nunca

Nunca

20. ¿Se acostumbra a elaborar el presupuesto de los nuevos proyectos?

Siempre

Regularmente

Casi nunca

Nunca

21. ¿Se elaboran estados financieros en la empresa?

Sí

No

En caso de que la respuesta de la pregunta anterior sea Sí, responda las preguntas siguientes, de lo contrario omítalas.

I. ¿Con que frecuencia?

Mensual

Bimestral

Trimestral

Semestral

Anual

II. ¿Se realiza el análisis de los estados financieros?

Sí

No

Se desconoce

En caso de que la respuesta de la pregunta anterior sea Sí, responda la siguiente pregunta, de lo contrario omítala.

I. ¿En la empresa se utilizan los análisis financieros para la toma de decisiones sobre proyectos de innovación?

Siempre

Regularmente

Casi nunca

Nunca

Lista de referencias bibliográficas

- Alves, M. B., Abdala, M. A. D., & e Silva, R. B. (2007). Bringing together space systems engineering and software engineering processes based on standards and best practices. In Loureiro G. & Curran R. (Eds.), *Complex Systems Concurrent Engineering* (1st ed., pp. 159–166). London: Springer London. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-976-7_18
- Ambrose, G., & Harris, P. (2010). *Metodología del diseño*. Barcelona, España: Parramón Arquitectura y Diseño.
- Bahill, A. T., & Dean, F. F. (2009). What Is Systems Engineering ? A Consensus of Senior Systems Engineers, 1–13.
- Bailey, R. (2016). NASA Postdoctoral Program Opportunities. Recuperado de <https://npp.usra.edu/opportunities/details/?ro=18867>
- Balderas-Cañas, P. E., & Guerrero, G. (2011). *Ingeniería de sistemas: investigación e intervención*.
- Bataller, A. (2016). *La gestión de proyectos*. Barcelona, España: Editorial UOC.
- Baxter, G., & Sommerville, I. (2011). Socio-technical systems: From design methods to systems engineering. *Interacting with Computers*, 23(1), 4–17. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2010.07.003>
- BBVA Innovation center. (2015). *Design thinking: A creative and different approach to take on projects and solve problems arising on business*.
- Bender, E. A. (2000). *An introduction to mathematical modeling* (1st ed.). New York, USA: Dover Publications.
- Blockley, D. I. (2012). *Engineering: a very short introduction*.
- Brown, T. (2008). *Design thinking*. *Harvard Business Review*, 86(141), 84–92.
- Chemuturi, M. (2013). *Mastering IT Project Management: Best Practices, Tools and Techniques*. Plantation, UNITED STATES: J. Ross Publishing.
- Chile, A. de M. D. y D. de. (2016). *Design thinking: innovando desde la observación*. *Magazine AMDD*, (31), 54.
- Clifton A., E. (2011). *CONCISE ENCYCLOPEDIA OF SYSTEM SAFETY- Definition of Terms and Concepts*.
- de Saeger, A., Feys, B., & Sánchez Hidalgo, M. (2016). *El diagrama de Ishikawa: solucionar problemas desde su raíz* (1st ed.). España: 50 minutos.
- de Weck, O. L. (2012). MIT Strategic Engineering. Recuperado de <http://strategic.mit.edu/changeability.php>
- Division of Workers Compensation. (2006). El Análisis de Fallas con Diagramas de Árbol. Centro de Recursos de Seguros de Texas.
- Draft, L. (2014). *NASA Space Flight Program and Project Management Handbook*.
- Duffy, G. L. (2016). Project Planning Facilitates Effective Outcomes. In W. O'Donohue & A. Maragakis (Eds.), *Quality Improvement in Behavioral Health* (pp. 153–168). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26209-3_11
- Echegaray Eizaguirre, L., Urbano Ortega, I., & Barrutieta Anduiza, G. (2017). *Design thinking : un modelo para la aplicación en la Administración Pública* (1st ed.). Madrid: Innap Investiga.
- Enciso, R. Z. (2011). *Teamwork : motivation, commitment and results*. (2nd ed.). Lulu Com.
- Espinal Torres, L. M. (2013). Método de Ruta Crítica – CPM (Critical Path Method) (p. 2). Escuela de Organización Industrial.
- Evans, M. J., Rosenthal, J. S., & Tomás Morer, X. (2005). *Probabilidad y estadística. La ciencia de la*

- incertidumbre*. (Reverté, Ed.) (1st ed.). Barcelona España: Reverté.
- Fernández de la Calle, I., & Camacho López, A. (2013). *Seguridad funcional en instalaciones de proceso : sistemas instrumentados de seguridad y análisis SIL*. Madrid: Díaz de Santos.
- Gagniuc, P. A. (2017). *Markov chains : from theory to implementation and experimentation*. Hoboken, NY.: Wiley.
- Gass, S. I., & Fu, M. C. (Eds.). (2013a). Critical Path Method (CPM). In *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (pp. 313–314). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_200107
- Gass, S. I., & Fu, M. C. (Eds.). (2013b). Program Evaluation and Review Technique (PERT). In *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (p. 1185). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_200653
- Gogunskii, V., Kolesnikov, O., Oborska, G., Moskaliuk, A., Kolesnikova, K., Harelik, S., & Lukianov, D. (2017). Representation of project systems using the Markov chain. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2(3–86), 60–65. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97883>
- Griffin, A., Noble, C. H., Durmusoglu, S. S., Luchs, M. I., & Swan, S. (2015). *Design thinking : New Product Development Essentials from the PDMA*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Incorporated.
- Grinstead, C. M. ., & Snell, J. L. (2006). *Introduction to Probability* (2nd ed.). United States of America: American Mathematical Society. Recuperado de 978-0821807491
- Harrison, J. S. (2009). *Fundamentos de la dirección estratégica* (2nd ed.). España: PARANINFO.
- Haskins, C. (2006). Systems engineering handbook. *INCOSE*, (January). Recuperado de [http://smslab.kaist.ac.kr/Course/CC532/2012/LectureNote/2012/INCOSE Systems Engineering Handbook v3.1 5-Sep-2007.pdf](http://smslab.kaist.ac.kr/Course/CC532/2012/LectureNote/2012/INCOSE%20Systems%20Engineering%20Handbook%20v3.1%205-Sep-2007.pdf)
- Hassani, B. K. (2016). Fault Trees and Variations. In *Scenario Analysis in Risk Management: Theory and Practice in Finance* (pp. 81–96). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-25056-4_7
- Hurtado-Carmona, D. (2011). *General Systems Theory a Focus on Computer Science Engineering*.
- IDEO. (2019). Hello, I'm Tim Brown. Recuperado de <https://www.ideo.com/people/tim-brown>
- Kim, J., & Ryu, H. (2014). A *Design thinking* Rationality Framework: Framing and Solving Design Problems in Early Concept Generation. *Human–Computer Interaction*, 29(5–6), 516–553. <https://doi.org/10.1080/07370024.2014.896706>
- Kossiakoff, A., Sweet, W. N., Seymour, S. J., & Biemer, S. M. (2011). *Systems engineering : principles and practice* (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Langley, M., Robitaille, S., & Thomas, J. (2011). Toward a new mindset: bridging the gap between program management and systems engineering. In Project Management Institute (Ed.). Dallas TX. USA.: PMI® Global Congress. Recuperado de <https://www.pmi.org/learning/library/bridging-gap-program-management-systems-engineering-6213>
- Larson, W. J., Kirkpatrick, D., Sellers, J., Thomas, L., & Verma Dinesh. (2009). *Applied space systems engineering* (2nd ed.). McGraw-Hill Learning Solutions.
- Ley, W., Wittmann, K., & Hallmann, W. (2011). *Handbook of space technology*. John Wiley & Sons.
- Liao, J. C. K. C. S. (2006). The reliability of general vague fault-tree analysis on weapon, 531–542. <https://doi.org/10.1007/s00500-005-0483-y>
- Lima, F. S. of O. (2012). The Relationship between Systems Engineering and Innovation.
- Liu, H. (2016). *FMEA Using Uncertainty Theories and MCDM Methods*. Shangai, China: Springer.

- <https://doi.org/10.1007/978-981-10-1466-6>
- Lockwood, T. (2009). *Design thinking : Integrating Innovation, Customer Experience, and Brand Value*. New York, United States of America: Allworth Press.
- Lowry, M. (2016). NASA Postdoctoral Program Opportunities. Recuperado de <https://npp.usra.edu/opportunities/details/?ro=17602>
- Marchese, A., & Maroulas, V. (2018). Probability Matrices. In R. Alhajj & J. Rokne (Eds.), *Encyclopedia of Social Network Analysis and Mining* (pp. 1921–1927). New York, NY: Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7131-2_158
- Massachusetts Institute of Technology. (2007). *Space Systems*. Cambridge, MA. USA.
- Massachusetts Institute of Technology. (2017). MIT Space Systems Laboratory. Recuperado de <http://ssl.mit.edu/newsite/research.php>
- Mehregany, M. (2018). *Innovation for Engineers: Developing Creative and Entrepreneurial Success*. Springer.
- Menrad, R. J., & Morrow, G. W. (2014). Project Management: Relationship Between the Project Manager and the Technologist. In M. Macdonald & V. Badescu (Eds.), *The International Handbook of Space Technology* (pp. 619–655). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-41101-4_22
- Murphy, M. D. (2016). *Design thinking*. In *Landscape Architecture Theory: An Ecological Approach* (pp. 263–277). Washington, DC: Island Press/Center for Resource Economics. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-751-3_10
- Nahmias, S. (2013). Gantt Charts. In S. I. Gass & M. C. Fu (Eds.), *Encyclopedia of Operations Research and Management Science* (pp. 631–633). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1153-7_375
- National Aeronautics and Space Administration. (2014). Research and Engineering: Systems Engineering and Integration Branch. Recuperado de https://www.nasa.gov/centers/armstrong/capabilities/CodeZ/flight/systems_engineering.html
- National Aeronautics and Space Administration. (2016). *NASA Systems Engineering Handbook* (2nd ed.). Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration. Recuperado de https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nasa_systems_engineering_handbook_0.pdf
- Nowakowski, W., Ciszewski, T., Młyńczak, J., & Łukasik, Z. (2018). Failure Evaluation of the Level Crossing Protection System Based on Fault Tree Analysis. In E. Macioszek & G. Sierpiński (Eds.), *Recent Advances in Traffic Engineering for Transport Networks and Systems* (pp. 107–115). Cham: Springer International Publishing.
- Ocaña, J. A. (2011). *Mapas mentales y estilos de aprendizaje (aprender a cualquier edad)*. ECU.
- Parra Valencia, J. A., & Trillos U., A. C. (2013). *Deontología del ingeniero de sistemas: un enfoque sistémico*. Académica española.
- Perossa, M. L. (2015). El P.E.R.T. cost: Una herramienta para maximizar tiempo y reducir costos., (October), 13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5082.1849>
- Pickering, P. (2001). *How to Make the Most of Your Workday*. Franklin Lakes, UNITED STATES: Career Press, Incorporated.
- Rebentisch, E. S. (2017). *Integrating program management and systems engineering: methods, tools, and organizational systems for improving performance*.
- Ries, E. (2018). *El camino hacia el Lean Startup: Cómo aprovechar la visión emprendedora para transformar*

- la cultura de tu empresa e impulsar el crecimiento a largo plazo*. Ediciones Deusto. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books?id=52tODwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=lean+startup&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiDnfr7pvnbAhUPIzQIHcFiAKsQ6AEIPzAE#v=onepage&q=lean+startup&f=true>
- Ries, E., & San Julián, J. (2012). *El método Lean Startup : cómo crear empresas de éxito utilizando la innovación continua*. Ediciones Deusto.
- Rodríguez Solórzano, E. (2012). *Ruta Critica*, 1–23.
- Rojas-López, M. D., & Ruíz-Ruiz, C. (2011). *Introducción a la ingeniería*.
- Saini, S. (2018). NASA Postdoctoral Program Opportunities. Recuperado de <https://npp.usra.edu/opportunities/details/?ro=17570>
- Salvendy, G. (2001). *Handbook of industrial engineering : technology and operations management*. Wiley.
- Scheurer, R. B., & Strosnider, D. D. (2012). Maximizing Innovation With Systems Engineering. *National Defense Industrial Association Systems Engineering Conference*, 21.
- Serrano Ortega, M., & Blázquez Ceballos, P. (2015). *Design thinking : lidera el presente : crea el futuro*. ESIC.
- Sholarin, E. A., & Awange, J. L. (2015). Project Management Toolbox. In *Environmental Project Management: Principles, Methodology, and Processes* (pp. 295–334). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27651-9_15
- Solis Santomé, A. (2016). *Introducción a la gestión e ingeniería de proyectos espaciales*. Ciudad de México.
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis : FMEA from theory to execution*. ASQ Quality Press.
- Stamatis, D. H. (2015). *The ASQ pocket guide to failure mode and effect analysis (FMEA)*. ASQ Quality Press.
- Stevens Institute of technology. (2012). *Space systems engineering*, 2801, 4.
- Systems Engineering Research Center. (2014a). About SERC. Recuperado de <http://www.sercuarc.org/about-serc/>
- Systems Engineering Research Center. (2014b). Research Programs and Projects. Recuperado de <http://www.sercuarc.org/research/research-programs-and-projects/>
- Tidd, J., & Bessant, J. (2013). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change. Research-Technology Management* (5th ed.). Wiley.
- Watkins, R., Meiers, M. W., & Visser, Y. L. (2012). *A Guide to Assessing Needs: essential tools for collecting information, making decisions, and achieving development results*. Washington, DC, USA: The world bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8868-6>
- Webster, J. (2014). NASA's new space flight project requirements: Earlier definition for later cost stability. In *2014 IEEE Aerospace Conference* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/AERO.2014.6836436>
- Weeden, M. M. (2015). *Failure mode and effects analysis (FMEAs)for small business owners and non-engineers : determining and preventing what can go wrong*. ASQ Quality Press.
- Yang, X., Sun, S. L., & Zhao, X. (2018). Search and execution: examining the entrepreneurial cognitions behind the lean startup model. *Small Business Economics*. <https://doi.org/10.1007/s11187-017-9978-z>
- Yayici, E. (2016). *Design thinking: methodology book*. ArtBizTech.
- York, J. M. (2018). Putting lean startup into perspective: A novel approach for discovering and developing a successful business model. *Archives of Business Administration and Management*, 2018(01), 1–16. <https://doi.org/10.29011/ABAM-104>