



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
ENERGÍA – SISTEMAS ENERGÉTICOS

LA LÓGICA DIFUSA COMO HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE  
PLANES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ISAAC HERNANDEZ CEDEÑO

TUTOR PRINCIPAL  
PAMELA FRAN NELSON EDELSTEIN, FACULTAD DE INGENIERÍA

MÉXICO, CDMX (MAYO) 2017

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Francois Lacouture Juan Luis  
Secretario: Dra. Martín Del Campo Márquez Cecilia  
Vocal: Dra. Nelson Edelstein Pamela Fran  
1 er. Suplente: M. en I. Rodiles Amaro Fabiola  
2 d o. Suplente: M. I. Olivera Villa Beatriz Adriana

Lugar donde se realizó la tesis:  
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Facultad de Ingeniería,  
Ciudad de México, México

**TUTOR DE TESIS:**

PAMELA FRAN NELSON EDELSTEIN

-----  
**FIRMA**

---

# AGRADECIMIENTOS

---

A la UNAM por aceptarme nuevamente como alumno y acobijarme como parte de su familia universitaria.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico.

A mi familia por el apoyo brindado durante esta importante etapa en mi formación personal y profesional.

A mi tutora la Doctora Pamela Nelson por la paciencia y guía que me proporcionó siempre.

A mis sinodales por las observaciones y recomendaciones que ayudaron a mejorar este trabajo.

A todos los profesores del posgrado con quienes tuve la oportunidad de convivir por brindarme una gran cantidad de conocimientos y en quienes siempre encontré apoyo.

A mis compañeros de posgrado por el tiempo que convivimos estos dos años de estudio.

A Mariano, Alberto, Yazmín y Joali por ser parte de esta etapa, por su amistad y por apoyarme cuando lo requerí.

---

# CONTENIDO

---

Introducción.....	1
I. Contexto del problema y objetivos de la investigación .....	3
I.1 Marco legal .....	3
I.2 Energía y Economía.....	4
I.3 Energía y Aspectos Sociales .....	5
I.4 Cambio climático.....	6
I.5 Planteamiento del problema.....	8
I.6 Objetivos.....	8
II. Marco Teórico .....	9
II.1 La evaluación de proyectos energéticos .....	9
II.1.1 El concepto de un proyecto .....	9
II.1.2 Estructura de la evaluación de proyectos energéticos .....	10
II.2 Lógica difusa.....	29
II.2.1 Fundamentos.....	29
II.2.2 Conjuntos difusos .....	29
II.2.3 Control difuso.....	32
II.3 Resiliencia.....	35
II.3.1 Etimología histórica.....	35
II.3.2 Crecimiento en ciencias ecológicas y sociales .....	36
II.3.3 La resiliencia en concreto .....	38
III. Definición del modelo .....	41
III.1 Control difuso en Matlab .....	41
III.2 Coeficiente difuso gamma .....	45
III.3 El proyecto resiliente .....	56
IV. Análisis de un parque eólico en Juchitán con el modelo propuesto .....	59
V. Conclusiones y recomendaciones .....	71
VI. Referencias .....	73

---

# LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 “Reducción de la tarifa eléctrica con la reforma energética” .....	1
Figura 2 "Apertura del mercado eléctrico" .....	3
Figura 3 “Crecimiento del PIB y producción de energía” .....	4
Figura 4 "Despojo de tierras para construir el corredor eólico" .....	5
Figura 5 "Ejes temáticos para la estrategia" .....	7
Figura 6 “Triángulo de las 3P’s” .....	7
Figura 7 “Metodología de la planeación comprensiva” .....	10
Figura 8 “Estructura de la evaluación de proyectos” .....	11
Figura 9 “Etapas de la evaluación de proyectos” .....	11
Figura 10 "Componentes del estudio de mercado” .....	12
Figura 11 “Fases del estudio técnico” .....	16
Figura 12 "Diagrama de caja negra" .....	18
Figura 13 “Organigrama jerárquico” .....	19
Figura 14 “Organigrama de perfiles” .....	19
Figura 15 “Punto de equilibrio” .....	21
Figura 16 "Conjuntos difusos" .....	30
Figura 17 "Partes de un conjunto difuso" .....	31
Figura 18 "Sistema de control difuso”.....	33
Figura 19 "Diagrama esfuerzo-deformación” .....	36
Figura 20 "Historia de la resiliencia" .....	37
Figura 21 "Habilidades para la resiliencia" .....	38
Figura 22 "FIS Editor" .....	41
Figura 23 "MF Editor" .....	42
Figura 24 "Rule Editor" .....	42
Figura 25 "Rule Viewer" .....	43
Figura 26 "Surface Viewer" .....	43
Figura 27 "Sistema de control difuso en Matlab" .....	44
Figura 28 "Creación de variables" .....	46
Figura 29 "Función de pertenencia en las variables de entrada" .....	47
Figura 30 "Función de pertenencia para el coeficiente gamma" .....	47
Figura 31 "PIP vs AP" .....	49
Figura 32 "PIP vs CN" .....	49
Figura 33 "IP vs PIP" .....	50
Figura 34 "AP vs AC" .....	50
Figura 35 "AP vs CN" .....	51
Figura 36 "AP vs IP" .....	51
Figura 37 "AC vs CN" .....	52
Figura 38 "AC vs IP" .....	52
Figura 39 "CN vs V" .....	53

Figura 40 "CN vs IP" .....	53
Figura 41 "V vs IP" .....	54
Figura 42 "V vs MS" .....	54
Figura 43 "IP vs MS" .....	55
Figura 44 "Analogía del diagrama esfuerzo deformación y la gráfica de resiliencia del proyecto" .....	57
Figura 45 "Matriz de intervención resiliente" .....	58
Figura 46 "Escenario 2: Riesgo sociopolítico bajo" .....	63
Figura 47 "Escenario 3: Riesgo sociopolítico alto" .....	64
Figura 48 "Modelos CAPM y WACC con riesgo sociopolítico en Excel" .....	65
Figura 49 "Sensibilidad VPN-Tarifa" .....	66
Figura 50 "Sensibilidad VPN-Inversiones" .....	67
Figura 51 "Resiliencia ante el cambio en el precio de venta de la energía" .....	68
Figura 52 "Resiliencia ante el cambio en las inversiones del proyecto" .....	69

---

## LISTA DE TABLAS

---

Tabla 1 "Estructura general del Flujo de Efectivo" .....	22
Tabla 2 "Criterios de decisión utilizando el VPN" .....	23
Tabla 3 "Criterios de decisión utilizando la TIR" .....	24
Tabla 4 "Interpretación del factor Beta" .....	27
Tabla 5 "Operadores en lógica difusa" .....	32
Tabla 6 "Sistemas difusos y sus ventajas" .....	33
Tabla 7 "Tipos de reglas" .....	47
Tabla 8 "Relación general de las variables difusas con el coeficiente gamma" .....	55
Tabla 9 "Distribución de costos en parques eólicos" .....	59
Tabla 10 "Valores supuestos para el modelo financiero" .....	60
Tabla 11 "Flujos de efectivo durante el horizonte de evaluación" .....	61
Tabla 12 "Resumen del flujo de efectivo" .....	62
Tabla 13 "VPN, TIR y Tasa de descuento" .....	62
Tabla 14 "Resultados de los Escenarios E2 y E3" .....	65
Tabla 15 "Sensibilidad del VPN ante el cambio en el precio de venta de energía" .....	66
Tabla 16 "Sensibilidad del VPN ante el cambio en la inversión inicial" .....	67
Tabla 17 "Resiliencia del VPN ante el cambio en el precio de venta de la energía" .....	68
Tabla 18 "Resiliencia de VPN ante el cambio en la inversión inicial" .....	69
Tabla 19 "Resultados financieros" .....	72

---

# RESUMEN

---

La generación de energía es de gran importancia para el desarrollo de un país en la actualidad ya que conforme éste va creciendo económicamente su demanda energética también crece bajo la misma tendencia del mercado.

La evaluación de proyectos es una herramienta que nos ayuda a tomar la decisión sobre invertir en un proyecto. La metodología se compone de diferentes estudios que utilizan información cuantitativa y cualitativa. Sin embargo, la información cualitativa puede ser manipulada por el decisor en algunos casos.

El objetivo de este trabajo fue incluir diferentes factores sociopolíticos como la aceptación pública y el momento en el sexenio en el análisis financiero del proyecto energético. La hipótesis fue que, utilizando lógica difusa, la metodología de la evaluación de proyectos energéticos mejoraría y a la vez concientizaría a los inversionistas para no ejecutar una inversión cuando se tienen condiciones sociopolíticas de alto riesgo.

Con este trabajo, encontramos como resultado que, al adicionar este tipo de factores sociopolíticos dentro de la evaluación financiera de un proyecto, la tasa de riesgo puede aumentar de 0.5-4% y por ende el proyecto se vuelve menos atractivo para el inversionista. Esto también aumenta la sensibilidad del proyecto ante los cambios que puedan surgir en un futuro.

También se integró el concepto de resiliencia con el análisis de sensibilidad financiera para crear una gráfica muy similar al diagrama esfuerzo-deformación. Además, se creó una matriz de intervención a partir de las habilidades necesarias para lograr la resiliencia encontradas en la literatura. Esta matriz ayuda a determinar el tipo de acción a llevar a cabo conforme a las condiciones de información y tiempo del proyecto en cuestión.

Finalmente, al simular diferentes escenarios se encontró que cuando el proyecto energético tiene un alto riesgo sociopolítico, y aun así se lleva a cabo, puede representar pérdidas financieras de casi 10 veces el valor de su VPN.

Utilizando el sistema de inferencia difuso (FIS) que fue creado para considerar los riesgos sociopolíticos, la evaluación se vuelve más previsor. Lo que es de ayuda para evitar pérdidas monetarias. Además, nos es de utilidad para actuar a tiempo en caso de que ocurra algún suceso que pueda afectar la rentabilidad del proyecto.

---

# ABSTRACT

---

Energy generation is a very important topic for a developing country because as a country grows economically, its energy demand also increases under the same market trend.

An important tool for deciding whether or not a project is attractive from a financial perspective is the project evaluation. This assessment helps us to make the decision regarding the investment in the project. The evaluation's methodology is composed of different studies that include both quantitative and qualitative information. Nevertheless, the decision maker in some cases can manipulate qualitative information.

The objective of this work was to include different sociopolitical factors, such as public acceptance and the timing relative to the election cycle, into the financial analysis of an energy project. The hypothesis was that using fuzzy logic, would improve the methodology of the energy project evaluation and warn investors not to invest in a sociopolitically risky project.

With this work, we found that when adding this kind of sociopolitical factors into a project's financial evaluation the risk can increase 0.5-4% and therefore a project becomes less attractive to investors. This also increases the project's sensitivity to changes that may arise later.

We also integrate the concept of resilience with the analysis of financial sensitivity to create a very similar graph to the stress-strain diagram but that indicates the point at which the net present value (NPV) = 0 according to the rate of change in the tariff and the initial investment. We also developed an intervention matrix for the skills needed to achieve the resilience found in the literature. This matrix helps to determine the type of action to be carried out in accordance with the information, and the time conditions of the project.

Finally, when simulating different scenarios, we discovered that if a socio-politically risky energy project is executed, the financial losses are almost 10 times its NPV.

Using the Fuzzy Inference System (FIS), which was created to consider the sociopolitical risks, the evaluation became more predictive. This is helpful to prevent financial losses. Moreover, it is useful for warning the investor to act on time in case of any event that may affect the profitability of the project.

# INTRODUCCIÓN

El 20 de diciembre de 2013 se aprobó en México la reforma energética (Peña Nieto, 2013) siendo algunos de sus objetivos el atraer mayor inversión al sector energético mexicano para impulsar el desarrollo del país, contar con un mayor abasto energético a mejores precios e impulsar el desarrollo con responsabilidad social y ambiental.

Con lo que se buscan diferentes beneficios para la población, como bajar las tarifas eléctricas, generar crecimiento económico (Figura 1), crear empleos y sustituir las centrales eléctricas más contaminantes con tecnologías limpias, entre otros. (Gobierno de la república, 2013)



Figura 1 "Reducción de la tarifa eléctrica con la reforma energética"

Fuente: (Gobierno de la república, 2013)

Para sustituir las centrales se necesita de la evaluación de proyectos, que también es un tema muy importante para cualquier inversionista que esté pensando en iniciar un negocio y esto es porque permite darse una idea sobre los resultados de ese negocio antes de realizar una inversión en el mismo. (Aguirre, 2014)

Miranda (2012) Destaca que de manera específica los proyectos enfocados a la generación de energía poseen un gran número de variables como la emisión de contaminantes, marco regulatorio, conflictos sociales, sustentabilidad y eficiencia por mencionar algunos.

Retomando la variable de los conflictos sociales, Castillo Jara (2013) menciona que son un tema muy sensible para los proyectos energéticos y en México se han generado este tipo de conflictos en varias ocasiones; por ejemplo, con los parques eólicos del Istmo de Tehuantepec en la región de Oaxaca.

Estos y otros aspectos cualitativos pueden ser transformados en datos cuantitativos utilizando diferentes metodologías como lo es la lógica difusa para representar las sentencias textuales a manera de valores numéricos. (Nguyen & Walker, 2006)

La resiliencia tiene principal aplicación en la mecánica de materiales como una característica que tienen para deformarse elásticamente debido a la acción de una fuerza; es decir, se deforman cuando esta fuerza ejerce acción en el material y una vez que la fuerza se retira el material vuelve a su forma original. (Hibbeler, 2011)

No es un concepto nuevo, pero hoy en día se ha vuelto muy popular debido a las condiciones de vida, el contexto volátil, adverso, incierto y sembrado de obstáculos. (Clarke, 2013)

Utilizando la lógica difusa se incluyen este tipo de datos en el modelo financiero del proyecto con el objetivo de obtener una tasa de sensibilidad debido a la información cualitativa y que ésta pueda ser utilizada en el modelo financiero para obtener resultados que tomen en cuenta matemáticamente los factores subjetivos que puedan llegar a afectar el proyecto.

Finalmente comparar si esta herramienta puede volver más resiliente el proyecto, considerando que al tener cuantitativamente valorados los factores subjetivos, el proyecto debe estar mejor preparado para afrontar cualquier suceso.

Dado lo anterior, en este trabajo se sigue la siguiente estructura:

- Capítulo 1.- Contexto del problema y objetivos de la investigación: Energía, economía y cambio climático.
- Capítulo 2.- Revisión de la literatura: Evaluación de proyectos, lógica difusa y resiliencia.
- Capítulo 3.- Definir el modelo a utilizar: Creación del coeficiente difuso gamma y la curva de resiliencia del proyecto.
- Capítulo 4.- Caso de estudio: Parque eólico en Juchitán.
- Conclusiones y Recomendaciones

# I. CONTEXTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

## I.1 MARCO LEGAL

En 2013, el Gobierno Mexicano aprobó una reforma al sector energético, en la que se argumenta la importancia del petróleo y gas natural como parte de la matriz energética del país y también la situación en que se encuentran nuestras reservas y los “recursos no convencionales”; es decir, aquellos que se encuentran en lutitas y aguas profundas; lo que el país posee en abundancia. Adicionalmente el Gobierno Mexicano señala la incapacidad técnica, financiera y de ejecución para extraer los hidrocarburos de estos lugares en forma competitiva. (Gobierno de la república, 2013)

A nivel constitucional la reforma reafirma la propiedad de la nación sobre los hidrocarburos en el subsuelo, se establece la posibilidad de establecer contratos con empresas privadas para poner yacimientos en producción, se destaca la relevancia de las actividades petroleras para el desarrollo nacional y se dictamina que el estado puede otorgar asignaciones o suscribir contratos para realizar actividades de exploración y extracción de hidrocarburos. (Peña Nieto, 2013)

También cambia los modelos actuales de producción de petrolíferos y petroquímicos, así como los modelos de transporte, almacenamiento y distribución de hidrocarburos y sus derivados, abriendo la participación a particulares.

En el caso de la energía eléctrica uno de los retos es la falta de inversión en la red nacional de transmisión eléctrica debido a que es necesario incrementar el mallado para poder alcanzar zonas del país que tienen alto potencial en energías limpias. Estableciendo una apertura del mercado eléctrico en donde tanto CFE como particulares pueden generar electricidad de manera libre como se muestra en la Figura 2. (Gobierno de la república, 2013)

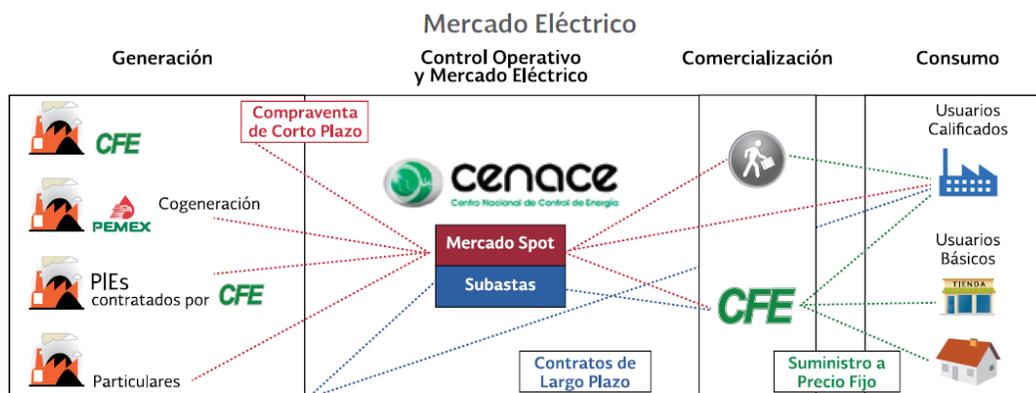


Figura 2 "Apertura del mercado eléctrico"

Fuente: Gobierno de la república

## I.2 ENERGÍA Y ECONOMÍA

Durante los últimos 20 años la producción de energía eléctrica ha ido en aumento, así como la economía del país, que puede verse reflejada por medio del Producto Interno Bruto (PIB); son estudios que se han realizado de manera conjunta entre diferentes instituciones, como el INEGI, CFE, SENER, Banco de México y algunas otras que pueden o no ser dependientes de las anteriores; el resumen de ambos crecimientos en el periodo comprendido entre 2000 y 2015 se muestra en la Figura 3. (Sistema de Información Energética, 2015)

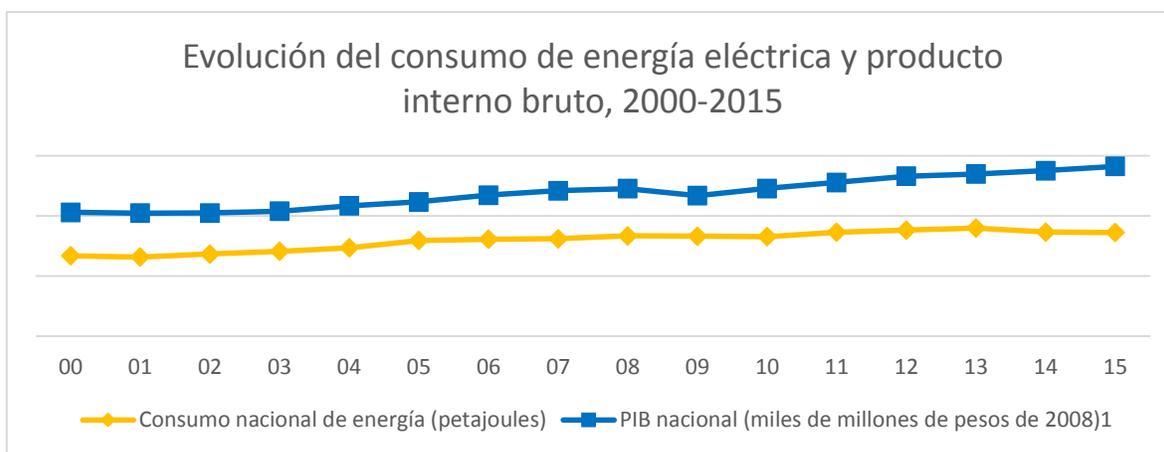


Figura 3 “Crecimiento del PIB y producción de energía” (Elaboración propia con información de INEGI y SIE.)

De acuerdo con la Secretaría de Energía (2016), dentro de los supuestos en el escenario de planeación es necesario diversificar la matriz energética del país para satisfacer la demanda de la población y beneficiar a la economía y al medio ambiente, lo que deja una brecha para los factores sociopolíticos en los proyectos energéticos.

También menciona el comprender los nuevos modelos de mercado, tomando en cuenta diferentes variables como los precios internacionales y disponibilidad de combustibles, así como la economía del país y la integración de la red eléctrica mexicana a la región de Norteamérica.

Se pronostica satisfacer dicho crecimiento por medio de modelos de optimización, con los que es posible estimar el tipo, tamaño, ubicación y hasta la fecha de entrada en operación de las centrales eléctricas que deben instalarse; en resumen, se espera que para 2030 se adicione 57,122 Mega Watts (MW) de capacidad para los que será necesario realizar las evaluaciones de los proyectos energéticos que cubrirán esa adición a la capacidad.

Los proyectos energéticos son evaluados de la misma manera que cualquier otro proyecto que requiera una inversión inicial y se dedique a vender o proporcionar algún servicio ya que la energía eléctrica es considerada un servicio, como lo menciona Córdoba (2015)

### I.3 ENERGÍA Y ASPECTOS SOCIALES

Tratándose de los aspectos sociales, se reconocen las aspiraciones de los pueblos indígenas y tribales en todas las regiones del mundo a asumir el control de sus propias instituciones y formas de vida y desarrollo económico.

El gobierno asume la responsabilidad de desarrollar acciones donde participen dichos pueblos y que además estas acciones protejan sus derechos y garanticen el respeto a su integridad, incluyendo diferentes medidas, como el asegurar sus derechos y oportunidades, promover la efectividad de los derechos sociales, económicos y culturales, respetar sus costumbres y tradiciones y eliminar las diferencias socioeconómicas entre esos pueblos y el resto de la comunidad nacional. (Organización Internacional del Trabajo, 1989)

Algo que algunas veces ha sido violentado en la elaboración de proyectos energéticos; por ejemplo, con los parques eólicos del Istmo de Tehuantepec, donde se violentaron los derechos de la comunidad del lugar a fin de elaborar tales parques. (Castillo Jara, 2013) Durante los últimos 20 años esto ha sucedido para dar nombre al megaproyecto “Corredor Eólico del Istmo” donde las empresas privadas no informaron ni consultaron a la población indígena, violando el Convenio 169 de la OIT, la constitución del estado de Oaxaca y su ley de derechos indígenas, lo que ha tenido como consecuencia un repudio hacia los parques eólicos por parte de las comunidades.

Manzo (2015) señala que la Venta I y sus posteriores etapas no fueron proyectos definidos de manera regional o local, su planeación, gestión, ingeniería y licitación fueron propuestas de empresas privadas en común acuerdo con la SENER, CFE y Presidencia de la República, quienes al llegar con los gobernadores de la región los convencían a base de engaños, corrupción y desinformación para beneficiar a diferentes empresas privadas, terminando por despojar de sus tierras a las comunidades del lugar.(Figura 4).



*Figura 4 "Despojo de tierras para construir el corredor eólico"*

*Fuente: La Jornada*

También menciona que otro aspecto a considerar es también el impacto ambiental asociado a estos proyectos; para continuar con el caso de la energía eólica, los principales impactos que produce son la deforestación, alteración de ciclos hidrológicos en la región, y las muertes causadas a diferentes especies de aves que atraviesan la región.

Ya sea para construir o repotenciar una planta es necesario realizar la evaluación del proyecto y sus respectivos estudios complementarios, por ejemplo, para la construcción de una planta en el estudio económico es necesario contemplar el entorno social; tanto los beneficios como los costos sociales que la instalación causará, también es necesario considerar otras variables, por ejemplo, la aceptación de las instalaciones por parte de la comunidad del lugar. (Meixueiro & Pérez, 2015)

## I.4 CAMBIO CLIMÁTICO

Con respecto a la emisión de contaminantes actualmente nos encontramos en un momento decisivo en el que aún se puede evitar el aumento de 2°C de temperatura media mundial para el año 2030; tema que fue motivo de la COP 21 celebrada en París a finales del año 2015.

Para lograr este objetivo es necesario reducir las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en 55 giga-toneladas, las cuales fueron proyectadas siguiendo el modelo de crecimiento actual, lo que implica una mayor utilización de otras fuentes de energía primaria como pueden ser la energía solar, eólica, geotérmica y nuclear; entre otras. (Naciones Unidas, 2015)

En México, con la reciente aprobación de las leyes de industria eléctrica y transición energética en el país, ya se cuenta con una parte del marco regulatorio que permitirá la construcción y repotenciación de plantas de generación de energía eléctrica que utilizan fuentes limpias para ello. (H. Congreso de la Unión, 2014) (H. Congreso de la Unión, 2015)

El gobierno de nuestro país ha asumido voluntariamente la meta de reducir sus emisiones de GEI en 30% para el 2020 respecto a la línea base tendencial de las emisiones, sujeto al apoyo internacional tanto financiero como tecnológico, por lo que se necesita de una estrategia que lleve a lograr esta meta, siendo necesario superar barreras de implementación de diversa índole y magnitud, lo que es posible con la voluntad y cooperación de todas las partes.

La motivación que el país tiene para contribuir a solucionar el cambio climático global es debido a los impactos que este ha generado en el territorio mexicano, así como la posibilidad de generar beneficios sociales, ambientales y hasta económicos. Con la estrategia nacional de desarrollo bajo en emisiones se busca contribuir al crecimiento sustentable y socialmente incluyente de la economía, reducir las emisiones de GEI, ayudar a conservar y administrar racionalmente el capital natural de México y algunos otros objetivos que requieren de acciones coordinadas entre el gobierno, sector privado, sociedad, y el sector académico y se ha determinado que la estrategia gira entorno a tres ejes temáticos mostrados en la Figura 5. (SEMARNAT, 2012)

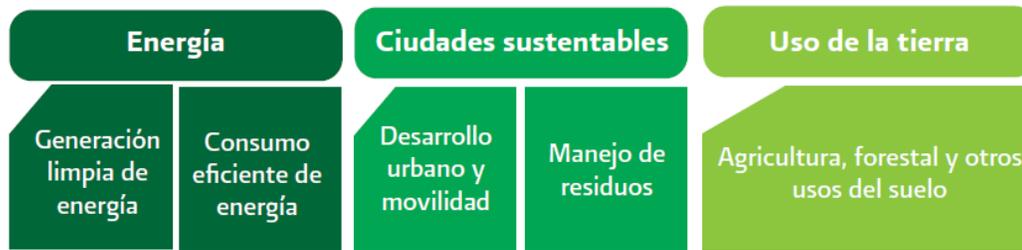


Figura 5 "Ejes temáticos para la estrategia"

Fuente: SEMARNAT

Para 2024 México se comprometió a lograr un mínimo de 35% de la generación de eléctrica a partir de tecnologías limpias y 20% de reducción en el consumo energético, aunque para ello también existen algunas barreras, como por ejemplo la importancia que la agenda política le ha asignado está por debajo de las preocupaciones por la seguridad energética, el costo de producción de la energía no consideran las externalidades ambientales ni los impactos a la salud de la población, lo que es una desventaja para la prioridad y la evaluación de proyectos de energía limpia. (SEMARNAT, 2012)

Todo lo anterior lleva al desarrollo sustentable, que es la creación de bienes y servicios utilizando procesos y sistemas que consideren criterios de evaluación económica, social y ambiental, lo que puede ser ejemplificado en el triángulo de las 3P's por su significado en inglés (Planet, People, Profit) como se muestra en la Figura 6. (Poux, Cognet, & Gourdon, 2015)

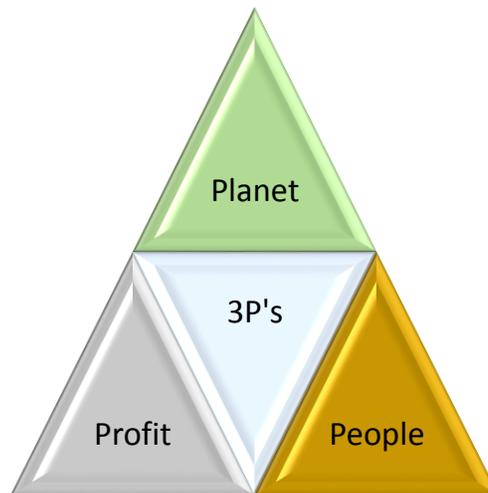


Figura 6 "Triángulo de las 3P's"

Fuente: Adaptado de (Poux, Cognet, & Gourdon, 2015)

Otra definición de desarrollo sustentable es: “Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” que generalmente descansa en los tres criterios o P’s mencionadas anteriormente (Becker, 2014)

## I.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando se está realizando la evaluación de un proyecto energético se toman en cuenta los aspectos sociales y económicos, pero en el sentido de cómo se verán impactados o beneficiados si se lleva a cabo el proyecto. (Fontaine, 2008)

Una vez formulado el proyecto se elabora un modelo financiero del mismo, proyectándolo durante cierto horizonte de análisis para determinar si el proyecto generará ganancias, su magnitud y el tiempo en que la inversión retorna. Para esto se realiza un análisis de riesgo que involucra riesgos de mercado, tecnológicos, de costos e inversión y de rentabilidad sin tomar en cuenta los efectos que el entorno económico y social tendrán sobre el proyecto.

Por lo anterior, es relevante analizar el impacto que tienen los factores sociales y políticos en los proyectos energéticos incorporando una herramienta que transforme la información cualitativa en cuantitativa para que pueda utilizarse en la valoración del proyecto. De esta manera los proyectos energéticos que se desarrollen a futuro serán evaluados y realizados de una manera más consciente para con el entorno sociopolítico.

## I.6 OBJETIVOS

Contribuir a fortalecer la metodología de evaluación de proyectos energéticos para hacer que se consideren aspectos sociopolíticos dentro de la evaluación financiera mediante el uso de lógica difusa.

Desarrollar una función difusa que pueda transformar la información cualitativa que se genera cuando se evalúa un proyecto energético, en información cuantitativa que pueda ser utilizada para modificar la rentabilidad del proyecto en cuestión y así determinar el grado de importancia que esta información tiene en el mismo.

Concientizar a los inversionistas públicos y privados acerca de que una mala ejecución del proyecto, y un panorama sociopolítico desfavorable o poco analizado se traducen en un aumento para el riesgo del proyecto y que también pueden ser el detonante de cambio entre un proyecto rentable y no rentable.

La hipótesis a probar es que, con la utilización de lógica difusa, para incluir numéricamente la información cualitativa en la evaluación de proyectos energéticos, se deben obtener resultados más cercanos a la realidad que al no utilizarla y evaluar la información de manera subjetiva.

Finalmente, se compara una evaluación de un proyecto energético realizada de manera tradicional contra una evaluación del proyecto alimentada con la lógica difusa en una gráfica de resiliencia para ver cuál de ellas proporciona una mayor defensa para afrontar los cambios en el mercado.

---

## II. MARCO TEÓRICO

---

### II.1 LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS ENERGÉTICOS

#### II.1.1 El concepto de un proyecto

De manera general un proyecto es la búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema, donde se pueden utilizar diferentes recursos tecnológicos, económicos y humanos, generalmente tiende a resolver una necesidad humana como pueden ser de vivienda, salud, educación, transporte, etc. (Baca Urbina, 2010)

Un proyecto también puede ser definido como una idea que cuente con objetivos claros, los cuales puedan materializarse en algo concreto, pudiendo o no estar concatenado con otros proyectos que comparten la misma finalidad.

Cuando esta idea a futuro va creciendo se comienzan a agregar aspectos como suministros, ubicación, materiales e inversión, se espera un bien o servicio que se pueda comercializar para obtener ganancias a partir de la inversión previamente realizada, la idea se convierte en un proyecto de inversión. (Aguirre, 2014)

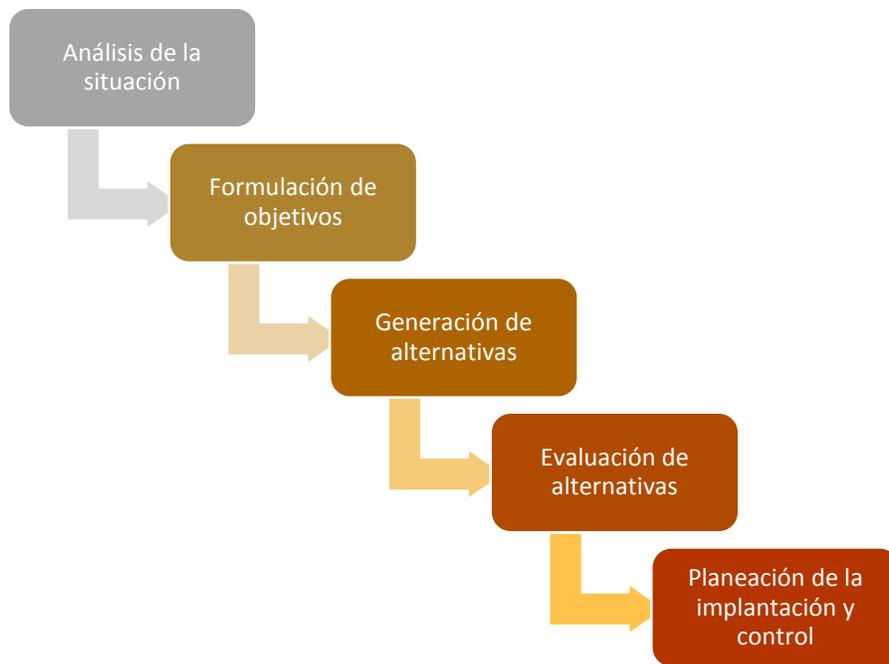
Como la idea a evaluar puede ser de diferentes dimensiones, como se verá en II.1.2, así se puede definir a la evaluación de proyectos como toda actividad encaminada a tomar una decisión de inversión sobre un proyecto.

El objetivo de la evaluación de un proyecto es conocer la rentabilidad del mismo y para ello se requiere recopilar, crear y analizar sistemáticamente la información para determinar las ventajas y desventajas del proyecto por medio de operaciones matemáticas que permiten obtener diferentes coeficientes de evaluación para decidir si se asignan o no los recursos necesarios para la realización del proyecto.

Existen diferentes criterios de evaluación para un mismo proyecto, de manera que si un proyecto es evaluado por dos grupos es casi seguro que sus resultados no sean iguales ya que en cada uno intervienen diferentes opiniones, prioridades, datos y juicios de valor; lo que hace necesario que las premisas sean traducidas a valores numéricos. (Baca Urbina, 2010)

#### *II.1.1.1 Planeación comprensiva*

La evaluación de proyectos sigue la metodología de la planeación comprensiva, el cual contempla las siguientes actividades básicas: el análisis de la situación para definir los problemas por atender, la formulación de los objetivos del plan, la identificación del conjunto de alternativas posibles, el análisis de las ventajas y desventajas de cada opción para definir la más conveniente, y el desarrollo de la alternativa preferida para su implantación como se muestra en la Figura 7. (Fuentes Zenón, 1995)



*Figura 7 “Metodología de la planeación comprensiva”*

*Fuente: (Fuentes Zenón, 1995)*

Esta metodología permite entender toda la problemática, por lo que requiere una gran cantidad de información donde no hay espacio para vaguedades. La planeación comprensiva también puede llamarse sinóptica o racional, debido a su proceder lineal hasta la estructuración total del plan y porque da por hecho que no se puede ser racional acerca de un problema sin comprenderlo a plenitud respectivamente. (Fuentes Zenón, 1995)

### II.1.2 Estructura de la evaluación de proyectos energéticos

La evaluación de proyectos posee una metodología que se puede adaptar a cualquier proyecto energético, generalmente clasificados en: (Aguirre, 2014)

- Creación de un nuevo negocio o planta
- Elaboración de una nueva sección en una planta ya existente
- Ampliación de la capacidad instalada o creación de sucursales
- Sustitución de maquinaria por obsolescencia o capacidad insuficiente

Para lo que utiliza diferentes técnicas de análisis con el fin de recopilar la mayor cantidad de información posible para tomar la decisión acerca de la inversión como lo explica Baca Urbina (2010). La estructura general de la metodología se muestra en la Figura 8.

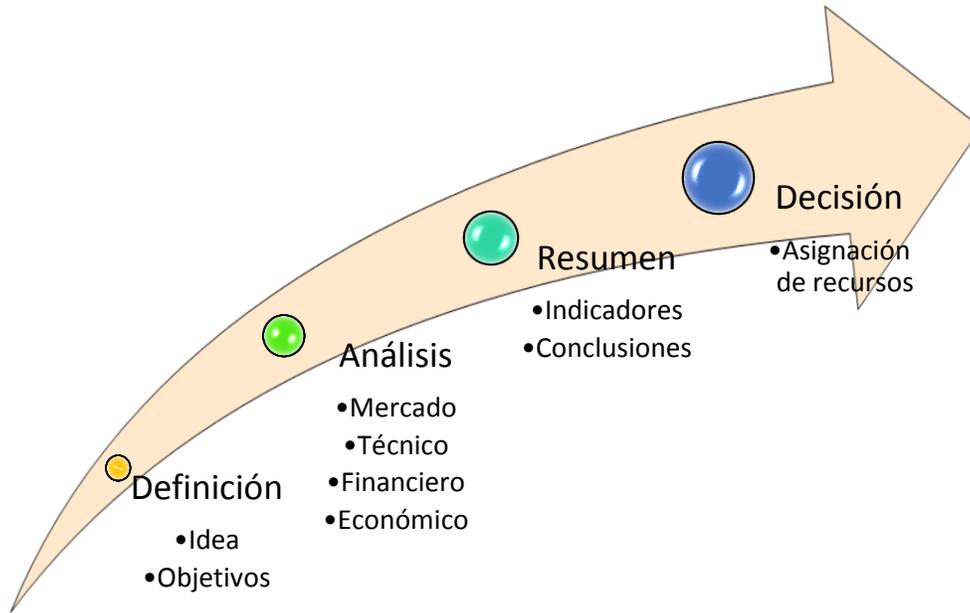


Figura 8 “Estructura de la evaluación de proyectos” (Elaboración propia con base en Baca Urbina, 2010)

La evaluación de proyectos energéticos puede hacerse en tres diferentes niveles de profundidad que se elaboran desde opiniones y sentido común hasta análisis bien detallados de los diferentes estudios que requiere la evaluación. (Córdoba, 2015) Con la finalidad de que la evaluación sea más comprensible, puede dividirse como se muestra en la Figura 9.

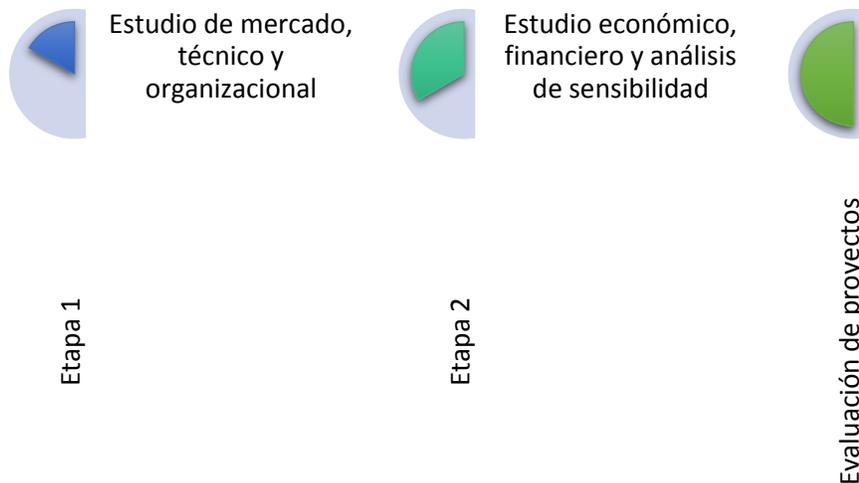


Figura 9 “Etapas de la evaluación de proyectos” (Elaboración propia con base en Córdoba, 2015)

En la primera etapa se determina la viabilidad del proyecto y al finalizarla es posible modificar algunos aspectos del mismo con el fin de hacerlo más atractivo o en caso de que no sea viable modificarlo para que sí lo sea; en la segunda etapa se integra la información económica y se analiza qué variables pueden influir para la realización del mismo, lo que finalmente ayuda a decidir si llevar a cabo o no el proyecto. (Aguirre, 2014)

#### II.1.2.1 Introducción

Incluye la descripción breve del proyecto, contiene la justificación, el mercado al que va enfocado y los diferentes beneficios que se obtendrán a partir de él.

Los objetivos y limitaciones del proyecto deben encontrarse en esta sección, así como sugerencias para diferentes aspectos, como la localización, sistema de producción, tecnología a incorporar y monto máximo de inversión, entre otros. (Baca Urbina, 2010)

#### II.1.2.2 Estudio de Mercado

Este estudio es la base para los siguientes, ya que al finalizarlo podría concluirse que no existe un mercado, la oferta es muy grande o el precio del energético en las condiciones actuales es demasiado bajo como para generar ganancias al ser nuevos en su comercialización; o de manera contraria, puede arrojar información demasiado optimista, concluyendo que es necesario un proyecto más grande, y por ende mayor inversión inicial; es por estas razones que se debe hacer un correcto dimensionamiento del mercado para no dirigirlo a un mercado incorrecto. (Baca Urbina, 2010) La estructura general de los análisis que componen al estudio de mercado se muestra en la Figura 10.

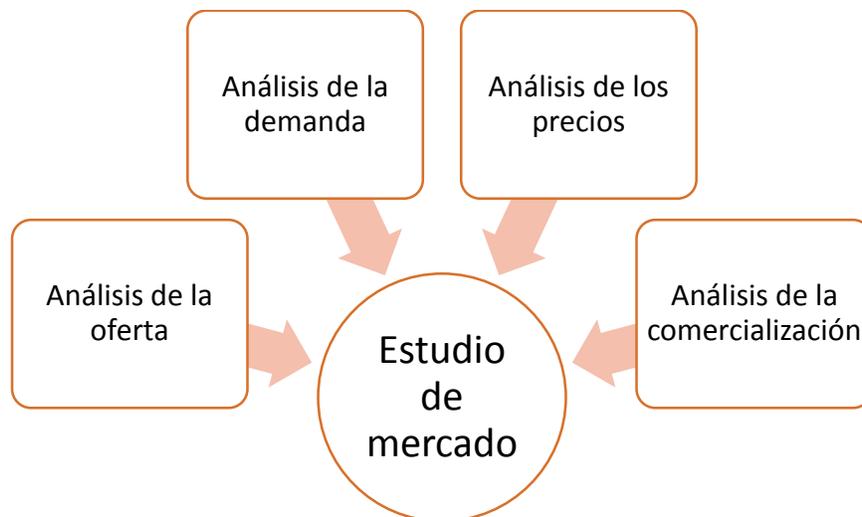


Figura 10 "Componentes del estudio de mercado"

Fuente: Adaptado de (Baca Urbina, 2010)

Los objetivos del estudio son:

- Comprobar la existencia de una necesidad insatisfecha en el mercado o la posibilidad de brindar un mejor suministro energético que los existentes.
- Determinar la demanda de energía que puede adquirir la comunidad.
- Determinar el precio al que el cliente está dispuesto a pagar y que el vendedor está dispuesto a obtener la energía.
- Identificar posibles riesgos en el mercado energético.

El primer paso es definir todas las especificaciones necesarias para su correcta identificación y también las requeridas por la ley para después poder clasificarlo por su naturaleza, uso, tipo de consumo o cualquier otra clasificación existente. (Aguirre, 2014)

Una vez definido el producto energético es necesario realizar un análisis de la demanda para conocer la cantidad de productos que el mercado requiere, determinar las variables que afectan dicha cantidad y determinar la existencia de un mercado insatisfecho que busque el producto en cuestión. Debe tomar en cuenta diferentes factores como el precio, nivel de servicio, mercado meta, oferta actual y otros, por lo que se necesita obtener información de diversas fuentes. (Córdoba, 2015)

Existen diferentes perspectivas para determinar el tipo de mercado al que se pretende entrar; las principales son la geográfica y la económica. (Aguirre, 2014)

Se puede determinar la demanda por medio del Consumo Nacional Aparente (CNA), que se define como la cantidad de un producto que el mercado nacional requiere (Baca Urbina, 2010) y se calcula de la siguiente manera:

$$Demanda = CNA = Producción nacional + importaciones - exportaciones$$

La demanda se puede clasificar por: (Córdoba, 2015)

- Oportunidad (Satisfecha o insatisfecha)
- Necesidad (Bienes necesarios o de gusto)
- Temporalidad (Continua, cíclica o estacional)
- Destino (Bienes finales o intermedios)

La oferta es la cantidad un bien o servicio que los productores (oferentes) están dispuestos a entregar al mercado a un precio determinado. Los tipos de oferta son: (Córdoba, 2015)

- Monopólica. - Una sola empresa controla el mercado.
- Oligopólica. - Algunas empresas dominan el mercado.
- Libre mercado. - Una gran variedad de empresas pelean por el mercado.

El precio es la cantidad monetaria a la que los oferentes están dispuestos a vender y los demandantes están dispuestos a pagar por el servicio energético; se ve influenciado por diferentes factores tales como: (Aguirre, 2014)

- Mercado meta
- Oferta y demanda
- Proceso productivo
- Costo total de producción

Los datos necesarios para determinar la oferta, demanda y el precio se pueden obtener por medio de una investigación estadística y de campo, la que arroja resultados cualitativos y cuantitativos que además ayudan a conocer las preferencias de los consumidores. Si no existen estadísticas entonces la investigación de campo será la única manera de obtener los datos. (Baca Urbina, 2010)

#### *Investigación estadística*

Se utiliza la información que exista sobre proyectos similares que haya sido previamente recopilada por el gobierno, libros, investigaciones, o la misma empresa; sus ventajas principales son que la información es de fácil acceso, tienen costos de búsqueda muy bajos, pueden ayudar a reformular el proyecto y en caso de arrojar resultados negativos el decisor puede optar por abandonar el proyecto y no continuar gastando recursos en éste. (Baca Urbina, 2010)

#### *Investigación de campo*

Principalmente se agrupa en tres tipos: (Baca Urbina, 2010)

- Observación. - Observar el comportamiento de los clientes
- Experimentación. – Cambiar una o más variables del producto energético para tratar de establecer una relación entre ese cambio y los cambios en el consumo del producto.
- Conversación. - Conversar con el usuario para determinar lo que le gustaría consumir y cuáles son los problemas que identifica en los productos actuales

Cuando ya se cuenta con los datos provenientes de una o ambas investigaciones anteriores es necesario realizar una proyección de la misma para estimar la situación a futuro del producto; lo cual incluye a la oferta, demanda y precio del mismo. (Baca Urbina, 2010)

#### *Pronósticos*

El siguiente paso del estudio de mercado es tratar de anticipar lo que es probable que suceda en el futuro basándose en la información obtenida en el presente, tanto para la oferta, demanda y el precio (Baca Urbina, 2010); por lo que se utilizan tres métodos principalmente:

- Subjetivo
- Causal
- Series de tiempo

Principalmente existen cuatro tipos de tendencias en la elaboración de pronósticos de un energético:

- Lineal. – Cuando existe una variación muy pequeña y el modelo de la demanda puede representarse con una línea recta.
- Estacional. – Cuando la demanda varía debido a que el comportamiento de los clientes cambia por periodos específicos.
- Cíclica. – Cuando la variación de la demanda es debido a situaciones económicas.
- Irregular. – Cuando cualquier causa puede alterar la demanda.

Cualquiera que sea la tendencia el objetivo es pronosticar su comportamiento futuro utilizando diferentes métodos cuantitativos como:

Pronóstico del último valor. – Para él se utilizan los datos del periodo inmediato anterior como datos del pronóstico para el siguiente periodo.

$$\text{Pronóstico} = \text{Periodo anterior}$$

Pronóstico por promedios. – Se debe usar el promedio de todos los datos de periodos anteriores a la fecha como pronóstico para el siguiente periodo.

$$\text{Pronóstico} = \text{Promedio de todos los datos hasta la fecha}$$

Pronóstico por promedio móvil. -Es un método intermedio entre el método del último valor y el método de promedios ya que utiliza solo los datos de los periodos más recientes para proyectarlos al siguiente periodo.

$$\text{Pronóstico} = \text{Promedio de los últimos "n" periodos hasta la fecha}$$

Pronóstico por suavización exponencial. – Proporciona una versión refinada del método por promedio móvil debido a que también considera solo los datos de los periodos más recientes y porque no considera que los datos de cada periodo tengan el mismo peso para realizar el pronóstico, si no que asigna el mayor peso a los datos del último periodo y lo disminuye progresivamente para los periodos previos.

$$\text{Pronóstico} = \alpha (\text{último valor}) + (1-\alpha)(\text{último pronóstico})$$

Pronóstico por suavización exponencial con tendencia. – Ajusta la suavización exponencial al considerar también cualquier tendencia ascendente o descendente en los datos.

$$\text{Pronóstico} = \alpha (\text{último valor}) + (1-\alpha)(\text{último pronóstico}) + \text{tendencia estimada}$$

Al transcurrir el tiempo se pueden hacer análisis adicionales para ver cuál de ellos es el que tiene los errores de pronóstico más pequeños. Después de determinar el error de pronóstico en cada periodo por cualquiera de los métodos la precisión del método se determina por medio del promedio de los errores de pronóstico, mejor conocido como desviación absoluta media o MAD por sus siglas en inglés.

$$MAD = \frac{\text{Suma de errores de pronóstico}}{\text{Número de pronósticos}}$$

Otra medida para evaluar la precisión de un pronóstico es el promedio de los cuadrados de los errores o error cuadrático promedio, abreviado como MSE, también por sus siglas en inglés.

$$MSE = \frac{\text{Suma de los cuadrados de los errores de pronóstico}}{\text{Número de pronósticos}}$$

La ventaja de utilizar ambas medidas es el poseer información adicional sobre la consistencia de un método de pronóstico. (Hillier & Hillier, 2008)

También es en esta parte de la evaluación de proyectos donde se desarrolla el logotipo y slogan de la empresa o producto en caso de ser necesario, así como la estrategia de comercialización que permitirá llegar al segmento de clientes elegido. (Baca Urbina, 2010)

### II.1.2.3 Estudio Técnico

La elaboración del estudio técnico es un proceso iterativo, existe un orden en el cual se utilizan diferentes herramientas y métodos para su elaboración, pero esto no quiere decir que al seguir el orden predeterminado se obtendrán resultados favorables al primer intento, si no que al avanzar poco a poco en la elaboración del estudio técnico será necesario hacer algunas modificaciones a las determinaciones que ya se habían hecho. (Baca Urbina, 2010)

En este punto de la evaluación de proyectos ya se debe tener las respuestas para las siguientes preguntas:

- ¿Qué producir?
- ¿Para quién?
- ¿Cuánto?

El siguiente paso es determinar la manera en que se va a trabajar para obtener ese producto, lo que es el objetivo principal del estudio técnico junto con los siguientes (Aguirre, 2014):

- Verificar la posibilidad técnica de la producción del energético.
- Determinar el tamaño y localización del equipo y las instalaciones, así como la ingeniería del proyecto que mejor se acomode a los análisis previos.

El orden en que se realizan las diferentes fases que conforman el estudio técnico (Baca Urbina, 2010) es el que se muestra en la Figura 11.

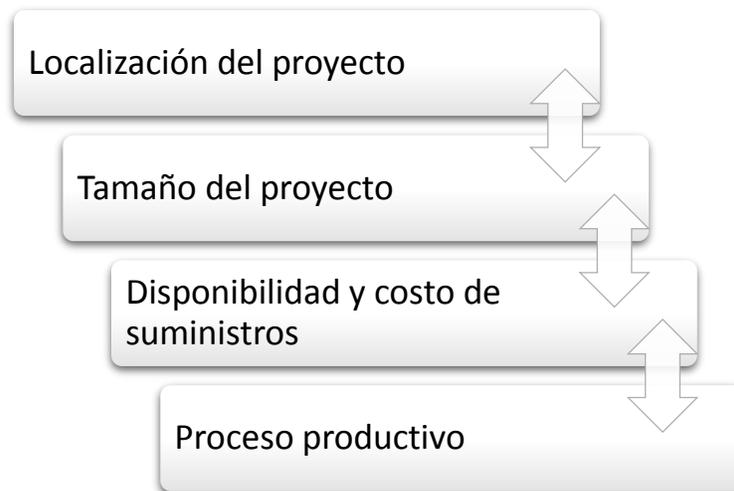


Figura 11 "Fases del estudio técnico" (Elaboración propia con base en Baca Urbina, 2010)

Al ser un proceso iterativo cada una de las fases del estudio técnico puede retroalimentar a las demás para finalmente encontrar una alternativa viable. (Baca Urbina, 2010)

#### Localización del proyecto

Se realiza para encontrar la ubicación más ventajosa para el proyecto, la que debe cubrir las exigencias y requerimientos del mismo y también minimizar los costos a lo largo de su vida útil.

Es necesario tener bien definidos los criterios y requisitos para ubicar el proyecto de manera que se puedan evaluar diferentes alternativas y seleccionar aquella que brinde más ventajas para las características específicas del proyecto. (Aguirre, 2014)

La localización del proyecto energético debe realizarse a dos escalas: (Córdoba, 2015)

- Macrolocalización. – Ubicación geográfica.
- Microlocalización. – Ubicación exacta.

El análisis de la localización puede realizarse por medio de diferentes métodos como:

- Valoración subjetiva
- Factores ponderados
- Centro de gravedad
- Optimización

El que se utilice debe considerar la cercanía que esa ubicación tendrá con respecto a los proveedores y clientes, disponibilidad de personal capacitado y equipo, condiciones sociales y ambientales entre otros aspectos, ya que todos ellos influyen en los costos y ganancias del proyecto. (Aguirre, 2014)

#### *Tamaño del proyecto*

El tamaño depende principalmente del mercado meta y tamaño de la producción del energético. Algunos de los aspectos a considerar para determinar el tamaño del proyecto son: (Aguirre, 2014)

- Tamaño del mercado
- Mano de obra
- Suministros
- Tecnología
- Financiamiento
- Organización

#### *Ingeniería del proyecto*

En esta sección se determina todo lo concerniente a la instalación y funcionamiento del proyecto, el tipo de energético a producir y el grado de complejidad o automatización que requiere, así como la distribución de los equipos dentro de la planta.

Se debe hacer el diagrama de proceso para cada producto o servicio que se vaya a realizar y sea función del proyecto, partiendo desde el nivel básico o caja negra (Figura 12) hasta el diagrama de flujo de proceso y diagrama funcional o de responsabilidades; estos diagramas también se realizan para identificar cada proceso productivo y así analizar diferentes posibilidades de realizar el mismo y después elegir la que mejor se acomode al proyecto, tomando en cuenta el nivel tecnológico requerido y el presupuesto disponible. (Córdoba, 2015)



Figura 12 "Diagrama de caja negra" (Elaboración propia con base en Córdoba, 2015)

Una vez identificados los procesos y equipos es necesario organizarlos de manera física tomando en cuenta los espacios requeridos por el personal en cada área de trabajo, movimiento de materiales y traslado de personal, almacenamiento y todas las actividades y servicios requeridos por el proyecto. (Córdoba, 2015)

Los principales tipos de distribución de planta son: (Córdoba, 2015)

- Por producto
- Por proceso
- Fija

El proceso productivo es el conjunto de operaciones necesarias para transformar la materia prima en productos terminados mediante el uso de tecnología, materiales y mano de obra. Un proceso de producción se puede clasificar por el flujo productivo o el tipo de producto a manufacturar. (Aguirre, 2014)

Actualmente se ha vuelto necesario considerar factores éticos, filantrópicos y ambientales en la evaluación de proyectos, ya que la idea de los proyectos orientados al desarrollo y la tecnología va de la mano con la responsabilidad social y sustentabilidad, por lo que son otras variables más a considerar dentro del estudio técnico. (Córdoba, 2015)

Cuando se están determinando todos los aspectos necesarios del estudio técnico que estén sujetos a un presupuesto predeterminado se hace evidente la necesidad de creatividad, buen juicio e innovación; las cuales son competencias superiores que no se aprenden en la universidad, sino que se adquieren con la práctica y la experiencia; al surgir nuevas ideas siempre se debe preguntar ¿Por qué no? Para luego atreverse a ponerlo en práctica y descubrir si la idea es mejor a la que ya se tenía, surgiendo así la ingeniería. (Baca Urbina, 2010)

#### *II.1.2.4 Estudio Organizacional*

El estudio organizacional se realiza con el fin de identificar todas y cada una de las áreas que formarán parte de la empresa, así como la estructura funcional de la misma, la definición sobre las funciones de cada uno de los puestos, los perfiles de las personas requeridas y el marco legal del proyecto. (Baca Urbina, 2010)

#### *Organización administrativa*

La organización administrativa define las líneas de autoridad y responsabilidad por medio de un organigrama que puede ser de diferentes formas y características como horizontal, vertical, de bloques, circular, entre otras; la finalidad es que responda a las necesidades de la organización. (Aguirre, 2014)

Se pueden construir dos organigramas, uno para identificar los puestos y jerarquías de la empresa (Figura 13) y otro donde se muestre el perfil requerido para cada uno de estos puestos (Figura 14)

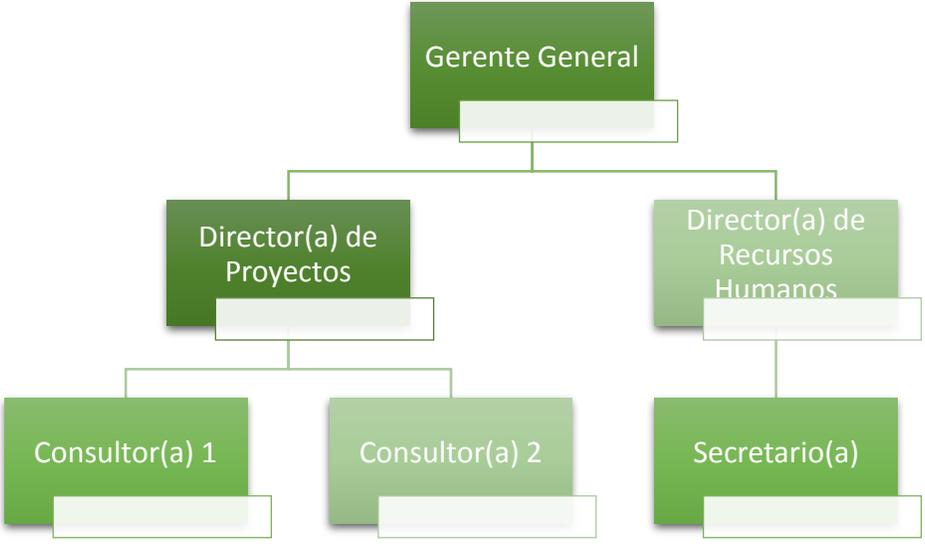


Figura 13 “Organigrama jerárquico” (Elaboración propia con base en Aguirre, 2014)

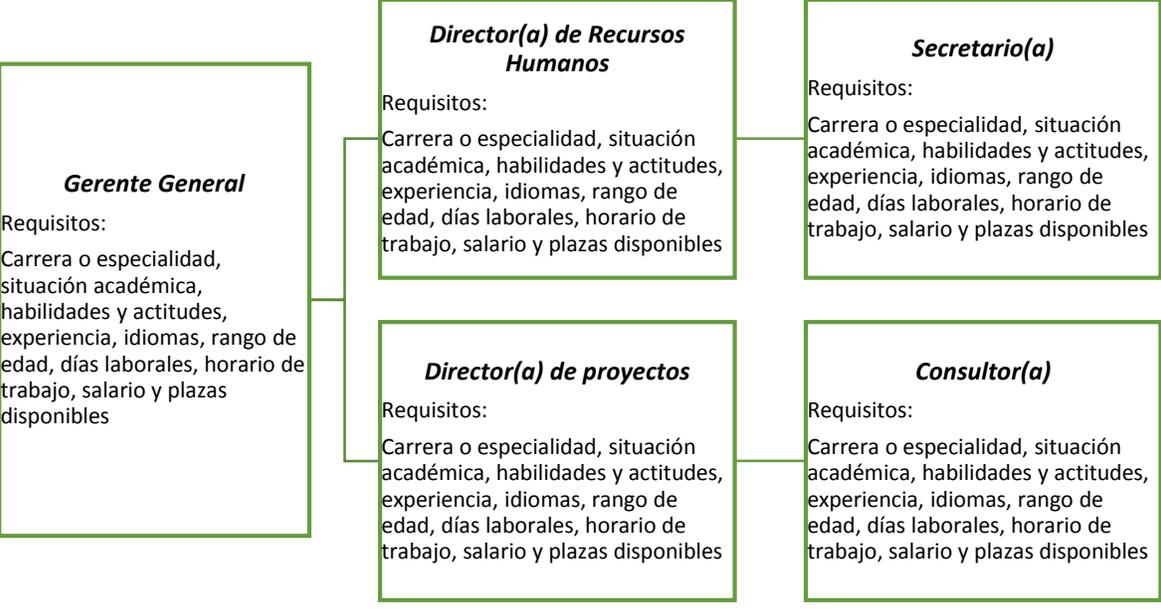


Figura 14 “Organigrama de perfiles” (Elaboración propia con base en Aguirre, 2014)

### *Marco Legal*

El marco legal del proyecto comprende las actividades de constitución legal, trámites gubernamentales y registro de patentes principalmente, aunque también debe revisarse la normatividad, reglamentación, ecología y aranceles que puedan afectar la viabilidad técnica del proyecto.

Para la constitución legal existen dos maneras de hacerlo: (Córdoba, 2015)

- Negocios de un solo propietario
- Sociedades de diferentes tipos

Aquí finaliza la primera etapa de la evaluación de proyectos, y al concluir que existe un mercado con clientes potenciales y no hay impedimentos tecnológicos ni legales se puede continuar a la segunda etapa. (Aguirre, 2014)

#### *II.1.2.5 Estudio Económico*

Es en esta parte de la evaluación donde se ordena toda la información monetaria que se ha recopilado en los estudios anteriores, lo que sienta la base para realizar la evaluación económica, para lo que tiene dos objetivos:

- Integrar toda la información monetaria para arrancar el proyecto
- Evaluar la rentabilidad del mismo

Para esto se debe conocer si el capital a utilizar será propio o ajeno; y en caso de ser ajeno, que tipo de crédito será. (Aguirre, 2014)

Inicia determinando la inversión inicial y el costo total del proyecto utilizando la información monetaria de los estudios anteriores, estimando los ingresos y egresos para el periodo de vida útil del proyecto para después determinar el punto de equilibrio del proyecto. (Córdoba, 2015)

#### *Punto de equilibrio*

Es el nivel de producción en que los ingresos son iguales a la suma de los costos fijos y variables.

El punto de equilibrio no es una manera para evaluar la rentabilidad del proyecto dado que no considera la inversión inicial y es inflexible en el tiempo. Se utiliza para calcular el volumen mínimo de producción que se requiere para evitar tener pérdidas (Baca Urbina, 2010) como lo muestra la Figura 15.

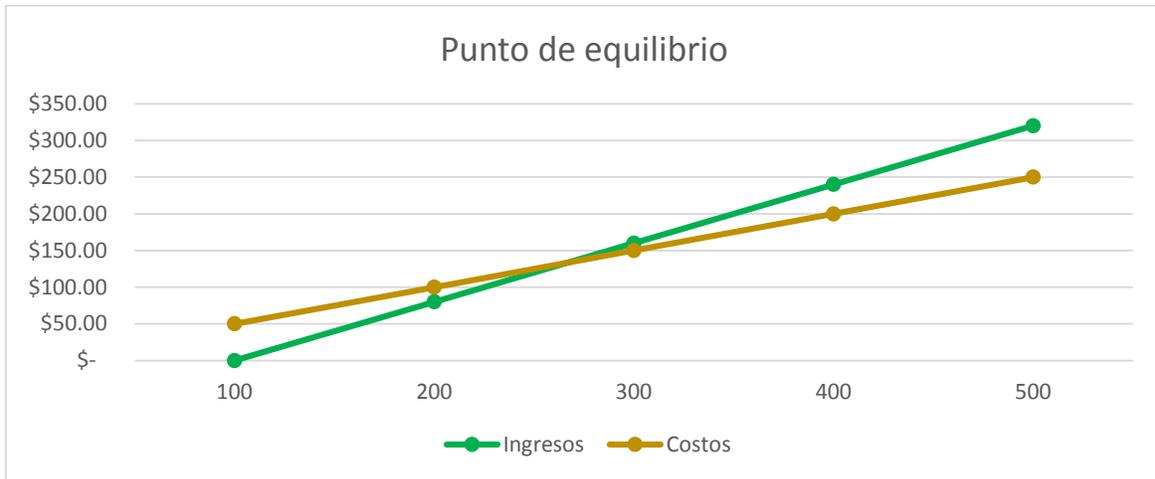


Figura 15 "Punto de equilibrio" (Elaboración propia con base en Baca Urbina, 2010)

Más allá de este punto, todo lo que se produzca y logre venderse serán ganancias. (Baca Urbina, 2010)

#### Estados financieros

Una vez que se conoce el punto de equilibrio, se cuenta ahora con toda la siguiente información: (Córdoba, 2015)

- Costos de producción (Determinados en el estudio técnico)
  - Activos fijos. - Terrenos, obras, equipamiento.
  - Activos intangibles. - Gastos de organización, patentes.
  - Capital de trabajo. - Recursos necesarios para la operación.
- Costos de operación
  - Fijos. - Independientes de la producción como mano de obra, mantenimiento y energía eléctrica.
  - Variables. - En función de la producción como materia prima y transporte externo.
- Gastos generales de administración y venta
  - Administración. - Sueldos de personal administrativo, papelería, renta, representación.
  - Venta. - Sueldos de personal de ventas, transporte, promociones, publicidad.
- Depreciación. - Valor que pierde un activo fijo.
- Amortización. - Cargo anual para recuperar la inversión en activos intangibles.

Que se verá reflejada en los siguientes tres documentos financieros: (Córdoba, 2015)

- Estado de Resultados
- Balance General; y
- Flujo de Efectivo (Tabla 1)

Tabla 1 "Estructura general del Flujo de Efectivo" (Elaboración propia con base en Córdoba 2015)

<b>Flujo de Efectivo</b>	
<b>Ingresos por ventas</b>	+
<b>Costos de producción</b>	-
<b>Gastos generales de administración y venta</b>	-
<b>Depreciación</b>	-
<b>Utilidad antes de impuestos</b>	=
<b>Impuestos y participación de los trabajadores en las utilidades</b>	-
<b>Utilidad después de impuestos</b>	=
<b>Depreciación</b>	+
<b>Inversiones</b>	-
<b>Cambios en el capital de trabajo</b>	+/-
<b>Valor de rescate</b>	+
<b>Flujo de efectivo libre</b>	=

El análisis se enfoca en la estructura del flujo de efectivo ya que es la que se utiliza más adelante para realizar la evaluación financiera, las otras dos están fuera del alcance del presente trabajo.

#### *Financiamiento*

En el estudio económico debe decidirse si el proyecto se realiza con dinero propio o por medio de un financiamiento lo que se determina con el análisis del costo de capital para elegir la opción más conveniente; es decir, la fuente de recursos más accesible y económica para operar. (Baca Urbina, 2010)

Algunas fuentes de financiamiento son:

- Emisión de acciones y capital de riesgo
- Mercados financieros
- Bancos y fideicomisos
- Fabricantes y proveedores

#### *II.1.2.6 Evaluación Financiera y Económica*

Existen dos maneras de evaluar un proyecto, por medio de una evaluación financiera y por medio de una evaluación económica; la diferencia es que en la evaluación financiera el proyecto es el origen de un flujo de fondos que ocurren a lo largo de un periodo u horizonte

de evaluación donde el objetivo es determinar si esos flujos son suficientes para recuperar la inversión y generar ganancias; mientras que en la evaluación económica un proyecto es la fuente de costos y beneficios que ocurren a lo largo de un periodo u horizonte de tiempo.

La evaluación financiera también se conoce como evaluación privada y en ésta se considera la riqueza como el único interés del inversionista y es por eso que el proyecto se ve como un flujo de fondos.

En cambio, en la evaluación económica o social se consideran los efectos que dicho proyecto brindará sobre la comunidad, considerando solo el efecto de lo que sucedería en un escenario donde se lleva a cabo el proyecto contra el escenario donde no se lleva a cabo el proyecto. (Fontaine, 2008)

### *Métodos de Evaluación Financiera*

Es en esta parte de la evaluación donde se presentan diferentes criterios de evaluación financiera a partir del flujo de caja con la finalidad de obtener indicadores que proporcionen una base para la toma de decisiones. (Aguirre, 2014)

De los estudios anteriores se ha determinado el flujo de fondos, pero es necesario tomar en cuenta algunas consideraciones con respecto a los mismos: (Miranda, 2012)

- Horizonte del proyecto
- Presupuesto de inversiones
- Presupuestos de costos e ingresos de operación
- Riesgo

Los métodos financieros para evaluar un proyecto se dividen en:

- Cuando no consideran el valor del dinero en el tiempo
  - Método del periodo de recuperación. - Determina el tiempo que tarda una inversión en generar los fondos suficientes para recuperar dicha inversión.
  - Método de rendimiento contable promedio. - Determina las utilidades promedio del proyecto a lo largo de su periodo de vida con respecto al valor promedio de inversión.
- Cuando consideran el valor del dinero en el tiempo
  - Valor Presente Neto (VPN). - Es el equivalente en dinero de hoy de todos los ingresos y egresos presentes y futuros del proyecto. Los criterios de decisión tomando como instrumento el VPN se muestran en la Tabla 2.

*Tabla 2 “Criterios de decisión utilizando el VPN” (Elaboración propia con base en Aguirre, 2014)*

<b>Fórmula</b>	$-I_0 + \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{(1+r)^i}$
<b>VPN &gt; 0</b>	Aceptar

<b><math>VPN = 0</math></b>	Indiferente
<b><math>VPN &lt; 0</math></b>	Rechazar

Donde:

$I_0$ = Inversión inicial

$F_i$ = Flujo de efectivo del periodo  $i$

$r$ = Costo de capital del inversionista

$i$ = Periodo

- Tasa Interna de Retorno (TIR). - Es el resumen de los méritos del proyecto en una sola cifra; si se utiliza este valor como tasa de interés dará como resultado un  $VPN=0$ . Los criterios de decisión tomando como instrumento la TIR se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3 “Criterios de decisión utilizando la TIR” (Elaboración propia con base en Aguirre, 2014)

<b>Proyecto</b>	<b>Inversión</b>	<b>Financiamiento</b>
<b><math>TIR &gt; T_{Desc}</math></b>	Aceptar	Rechazar
<b><math>TIR &lt; T_{Desc}</math></b>	Rechazar	Aceptar

### *Métodos de Evaluación Económica*

Los métodos de evaluación económica y social más utilizados son:

- Método de las distorsiones. - Establece los efectos que los impuestos, subsidios, externalidades y otros factores producen sobre los precios de mercado, cuantificando las diferencias existentes entre los precios de mercado y los costos de oportunidad. Considera cada proyecto en un marco de equilibrio parcial y determina los precios relevantes para el proyecto considerando que su magnitud puede producir cambios marginales. (Miranda, 2012)
- Método de los objetivos múltiples de política económica. - Supone la utilización eficiente de los recursos con fines de política económica, dicha eficiencia gira entorno a diferentes parámetros nacionales como la tasa social de descuento, la distribución del ingreso y las necesidades preferentes (p. Ej. educación, salud pública, seguridad) de modo que los diferentes fines de política económica deban tomarse en cuenta para formular y evaluar proyectos. Este método considera la importancia de los costos y beneficios con respecto al tiempo en que ocurren, utilizando un factor de ponderación (tasa social de descuento) que requiere de juicios de valor que reflejen las preferencias de la comunidad, y debido a esto las ponderaciones representan grandes dificultades

prácticas. Complementa el concepto de eficiencia con el de crecimiento. (Miranda, 2012)

- **Análisis Costo-beneficio.** – Permite identificar, cuantificar y valorar los costos y beneficios directos e indirectos generados por un proyecto durante su periodo de evaluación, incluyendo externalidades y efectos intangibles que surjan debido al proyecto a fin de determinar su impacto en la sociedad por lo que permite identificar de manera objetiva a los proyectos que contribuyan al uso eficiente de los recursos públicos. Se utiliza siempre y cuando los beneficios puedan ser cuantificables y valorables. (Baca Urbina, 2010) El criterio de decisión tomando como instrumento la razón costo-beneficio es que, si dicha razón es mayor que la unidad debe hacerse la inversión, y mientras mayor sea esta razón, el proyecto es más atractivo para el inversionista. (Fontaine, 2008)

De acuerdo con el Centro de Estudios para la Preparación y Evaluación Socioeconómica de Proyectos (CEPEP, 2015) para elaborar una evaluación socioeconómica es necesario seguir los siguientes pasos:

1. Definir la problemática detectada en la situación actual.
2. Definir la situación sin proyecto mediante medidas que mitiguen la problemática detectada a fin de no atribuir beneficios que corresponden al proyecto.
3. Mostrar cómo el proyecto es capaz de mitigar o solucionar la problemática durante el horizonte de evaluación.
4. Comparar la situación con y sin proyecto, reflejando los costos y beneficios atribuibles al proyecto.

Los lineamientos que requiere una evaluación de este tipo se encuentran en la “Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: análisis costo-beneficio”

Cabe resaltar que para este tipo de evaluación se utiliza una tasa social de descuento con valor de 10% para fomentar la inversión pública en México a partir del 13 de enero de 2014. (SHCP, 2014)

#### *II.1.2.7 Análisis de Sensibilidad*

Una vez realizada la evaluación financiera se miden los cambios que se generan en la TIR al modificar ciertas variables del proyecto como los costos totales, ingresos, volumen de producción/ventas y tasa de descuento principalmente, con lo que se puede determinar qué tan sensible es el proyecto a los cambios en esas variables. (Baca Urbina, 2010)

#### *II.1.2.8 Análisis de Riesgo*

Los seres humanos somos capaces de diseñar nuestro futuro estructurando diferentes escenarios inciertos y utilizándolos como herramientas para anticipar las consecuencias de los diferentes cursos de acción posibles y luego seleccionar aquellas actividades que puedan llevar hacia la meta o futuro deseado.

El análisis de riesgos debe responder las siguientes tres preguntas:

- ¿Qué puede suceder?

- ¿Qué tan probable es que esto pase?
- ¿Si sucede, cuáles son las consecuencias?

Siendo importante notar que para cualquier posible respuesta a estas tres preguntas siempre existirá incertidumbre, que puede ser vista por ejemplo desde la perspectiva “ACU”, donde “A” son los eventos, “C” las consecuencias y “U” la incertidumbre asociada.

No es posible incluir todos los eventos posibles en un análisis de riesgo, por lo que se categorizan como eventos iniciadores y de esta forma se permite que un evento iniciador puede ser causa de diferentes amenazas, lo que se conoce como la partición del espacio del escenario de riesgo.

La vulnerabilidad se define como la incertidumbre dada un evento específico, pero se tiene la capacidad de reducir esta vulnerabilidad adaptando los sistemas humanos, sociales y ambientales con actividades proactivas y reactivas; finalmente al reducir la vulnerabilidad se reduce el riesgo.

El riesgo tiene diferentes y muy variadas definiciones, pero todas ellas coinciden en tres aspectos:

- Distinguen la diferencia entre realidad y posibilidad.
- De manera explícita o implícita suponen que los diferentes futuros inciertos pueden afectar el valor o la percepción del valor que se le otorga al futuro deseado.
- Es definido en relación con un futuro deseado.

Estos tres aspectos indican que el riesgo es una representación de las posibles desviaciones negativas de cualquier variable en un conjunto de ellas; es decir, la incertidumbre de lo que puede pasar y cuáles podrían ser las consecuencias. En caso de que las consecuencias sean más favorables que el escenario deseado, entonces ese escenario se convierte en la nueva meta para luego definir los escenarios de riesgo nuevamente. (Becker, 2014).

Los riesgos que principalmente se analizan en la evaluación de proyectos son:

1. Riesgo de mercado. - Relacionado a errores en la demanda potencial insatisfecha o cuando la penetración en el mercado es más difícil de lo planeado.
2. Riesgo tecnológico. – El que surge debido a la falta de optimización tecnológica del proyecto, ya sea que exista tecnología o equipos subutilizados o un flujo incorrecto que ocasione cuellos de botella a lo largo de un proceso.
3. Riesgo de costos e inversión. – Cuando lo proyectado no se acerca a la realidad, sino que se requieren sumas mayores, lo que puede incrementar el precio de venta o disminuir las ganancias.
4. Riesgo de rentabilidad. – Es consecuencia del riesgo anterior por que altera la rentabilidad económica, volviéndola menor de lo esperado.

En todos los casos el factor humano es de importancia crucial ya que estos errores pudieron deberse a un mal cálculo en el momento de realizar la evaluación. También, cada uno de estos riesgos puede ser sistemático o no sistemático; el riesgo sistemático es aquel que afecta a diferentes activos, proyectos o compañías del mercado y el no sistemático o diversificable es aquel que solo afecta a un activo, proyecto o compañía en particular. (Baca Urbina, 2010)

La sensibilidad de un proyecto con respecto al mercado se mide por medio del coeficiente beta ( $\beta$ ) y la manera en que se interpreta se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4 "Interpretación del factor Beta" (Elaboración propia)

Beta	Interpretación
$\beta > 1$	Mayor sensibilidad a los cambios del mercado
$\beta = 1$	Mantiene el mismo rendimiento del mercado
$\beta < 1$	Menor sensibilidad a los cambios del mercado

Este coeficiente beta es utilizado en el modelo CAPM (*Capital Asset Pricing Model*) que es uno de los principales métodos para determinar la tasa de rentabilidad esperada en un proyecto ( $R$ ), considerando la tasa libre de riesgo ( $R_F$ ) y el rendimiento de mercado ( $R_M$ ) además del coeficiente beta. La manera de calcular la rentabilidad esperada con este modelo es la siguiente:

$$R = R_F + \beta(R_M - R_F)$$

Donde la diferencia entre el rendimiento de mercado y la tasa libre de riesgo es el rendimiento adicional que el mercado en su conjunto exige por tomar el riesgo del mercado y se denomina "prima por riesgo de mercado"

En el modelo del CAPM el coeficiente beta multiplica a la prima por riesgo de mercado, el cual es un riesgo que el proyecto debe considerar, pero hay otros tipos de riesgo que existen y también pueden considerarse en el denominado "modelo de factores" donde la rentabilidad esperada de un proyecto está dada por:

$$R = R_F + \beta_1 F_1 + \beta_2 F_2 + \dots + \beta_k F_k + \varepsilon$$

Donde las fuentes sistemáticas de riesgo, denominadas "F" son los factores que repercuten en la rentabilidad esperada y cada uno de ellos tiene un coeficiente beta particular, por último, se suma el riesgo no sistemático denominado " $\varepsilon$ ". En la práctica se utiliza un modelo de factor único sin considerar el riesgo no sistemático, conocido como modelo del CAPM. (Ross, Westerfield, & Jaffe, 2012)

Existe otro modelo llamado WACC (*Weighted Average Cost of Capital*) que se utiliza para calcular la tasa de descuento cuando el capital destinado al proyecto a evaluar posee una combinación entre capital propio y deuda, el WACC es el promedio del costo de la deuda y del capital propio de la firma teniendo en cuenta la estructura de capital de la misma y haciendo el ajuste de acuerdo con la tasa vigente y se calcula como sigue (KPMG, 2004):

$$WACC = R_S \left( \frac{E}{E + D} \right) + R_D \left( \frac{D}{E + D} \right) (1 - T)$$

Donde:

$R_S$ = Tasa de rendimiento del capital propio -Puede ser calculada por medio del CAPM-

$R_D$ = Tasa de interés de la deuda

$E$ = Monto de Capital Propio

$D$ = Monto de la Deuda

$T$ = Tasa de impuestos

La metodología general de evaluación de proyectos contiene otras herramientas que facilitan la identificación del producto, servicio y actividades principales de la empresa como son el diagrama de fuerzas de Porter, cadena de valor, niveles de servicio, perfiles de servicio, entre otros. También existen diferentes estructuras para la organización de una empresa, además de las mencionadas en este trabajo. Esta información puede consultarse en la bibliografía correspondiente.

Para cumplir el objetivo de este trabajo se utiliza la metodología conocida como lógica difusa que se aborda a continuación.

## II.2 LÓGICA DIFUSA

Fue introducida en 1965 por Zadeh para analizar el estudio de predicados imprecisos. Al profundizar, muchas ideas de Zadeh se ha verificado que un objeto puede tener propiedades que se encuentren dentro de los extremos clásicos 0 y 1. (Nguyen & Walker, 2006)

### II.2.1 Fundamentos

En estos tiempos de gran avance tecnológico, el sueño de elaborar máquinas que imiten el razonamiento humano, que usualmente está basado en incertidumbre e información poco precisa, la lógica difusa ha atraído la atención de muchos científicos. La teoría y aplicación de conceptos difusos son fundamentales en las ciencias sociales debido a la imprecisión, vaguedad o borrosidad que se utiliza día con día en el lenguaje para comunicar información y sin embargo la lógica difusa permanece en el dominio de la ingeniería y ciencias aplicadas. (Nguyen & Walker, 2006)

Los elementos matemáticos que son la base de la lógica difusa han existido durante mucho tiempo y con el surgimiento de aplicaciones muy variadas se les ha dado un enfoque diferente. Fue hasta la aparición de aplicaciones prácticas cuando existió una razón importante para estudiar las bases matemáticas de esta teoría.

La lógica difusa es el estudio y administración computacional de la imprecisión e incertidumbre no aleatoria con la mayor precisión posible y tiene sus raíces en el lenguaje, específicamente en cómo un conjunto de palabras es utilizado dentro de un contexto determinado y en cierta combinación para que signifiquen algo. (Trillas & Eciolaza, 2015)

Las variables lingüísticas pueden clasificarse en los siguientes dos grupos:

- Tipo I.- Las que pueden representarse como operadores que actúan en un conjunto difuso: "muy", "más o menos", "mucho", "ligeramente", "altamente", "bastante", etc.
- Tipo II.- Las que requieren una descripción de cómo actúan en los componentes del conjunto difuso (operando): "esencialmente", "técnicamente", "estrictamente", "prácticamente", "virtualmente", etc...

Zadeh llegó a la definición de un subconjunto difuso, si se tiene por ejemplo un peso de 60 y otro de 65 kg, ambos son ligeros, pero en diferente grado porque 60 es más ligero que 65, lo que significa que la pertenencia en un conjunto difuso no debe encontrarse en los extremos 0 y 1, sino en la escala de 0 a 1. (Nguyen & Walker, 2006)

Por ejemplo: En la oración "Tania es ligera" no siempre es posible determinar si es verdadero o falso, si se sabe que el peso de Tania es  $f(x)$ , la compatibilidad de  $f(x)$  con "es ligera" es medible y de ahora en adelante se hace referencia a esta compatibilidad como el grado de pertenencia de  $f(x)$  con el conjunto difuso.

Aun en áreas donde los métodos estadísticos dominan, los conjuntos difusos pueden resultar útiles e incluso más eficientes.

### II.2.2 Conjuntos difusos

En la teoría de conjuntos clásica cada elemento puede pertenecer o no pertenecer a un conjunto; en los conjuntos difusos estos elementos tienen diferentes grados de pertenencia hacia un conjunto. Los elementos de un conjunto difuso son pares ordenados que indican el

valor del elemento y su grado de pertenencia. El grado de pertenencia es complementario, ya que mientras un elemento pertenezca a un conjunto pertenece menos al otro. Para un conjunto difuso de la forma:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) / x \in X\}$$

Se tiene que el elemento  $x$  pertenece al conjunto  $A$  con un grado de pertenencia  $\mu_A(x)$  (también llamado función de pertenencia de  $x$  en  $A$ ), que puede variar entre 0 y 1. La función de pertenencia transforma cada elemento de  $x$  a un valor de pertenencia (valor difuso), proporcionando el grado de pertenencia que cada valor o dato tiene en el universo del discurso

A continuación, se puede representar con variables, tratando con predicados “P” el nombre de una propiedad en un conjunto  $X = \{x, y, z, \dots\}$  y considerando el uso de “P” en las sentencias iniciales ‘ $x$  es P’ para toda  $x$  en  $X$  y aceptando que el significado de “P” es su uso en el lenguaje actual. Por ejemplo:

Continuando con el ejemplo anterior “Tania es ligera” (En este caso Tania =  $x$  y ligera = P) no siempre es posible determinar si es verdadero o falso, si se sabe que el peso de Tania es  $f(x)$ , la compatibilidad de  $f(x)$  con “es ligera” es medible. Depende de la interpretación que se tenga de “ligera”. Si la oración es “Tania pesa menos de 70 kg” y se conoce su peso, es posible responder sí o no a la proposición. Lo que puede ser formalizado si se considera el peso posible dentro del intervalo  $[0, \infty)$  con el subconjunto: (Trillas & Eciolaza, 2015)

$$A = \{x : x \in [0, \infty) : x < 70\}$$

Y luego determinar si su peso se encuentra en  $A$ . Pero “ligera” no puede ser definido como un subconjunto regular de  $[0, \infty)$ .

En cambio, se pueden definir rangos a las variables lingüísticas, en caso del peso pueden ser como sigue: ligero de 45 a 65 kilos, medio de 55 a 75 kilos y pesado de 65 a 85 kilos. Asociando estos términos con funciones de pertenencia triangulares, como en la Figura 16, se obtienen ahora conjuntos difusos.

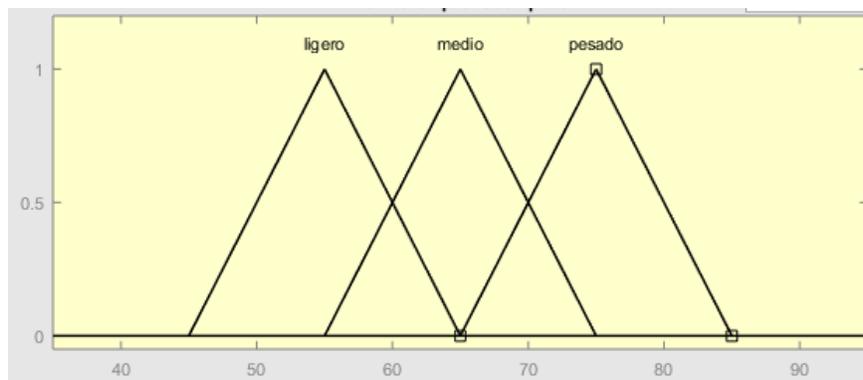


Figura 16 "Conjuntos difusos" (Elaboración propia)

Al acercarse a valores de 55, 65 y 75 el grado de pertenencia para los conjuntos “ligero”, “medio” y “pesado”, respectivamente, tienden a ser uno y al alejarse de estos valores el grado de pertenencia decrece hasta llegar a cero

Un conjunto difuso contiene las siguientes partes, que se ejemplifican en la Figura 17:

- Núcleo. - Este elemento de la función de pertenencia tiene una región donde el grado de pertenencia es total, es decir:

$$N = \{x / \mu_A(x) = 1\}$$

- Soporte. - Es la toda la región donde el grado de pertenencia es mayor a cero

$$S = \{x / 0 < \mu_A(x) \leq 1\}$$

- Límites. - Es la región donde el grado de pertenencia está entre cero y uno.

$$L = \{x / 0 < \mu_A(x) < 1\}$$

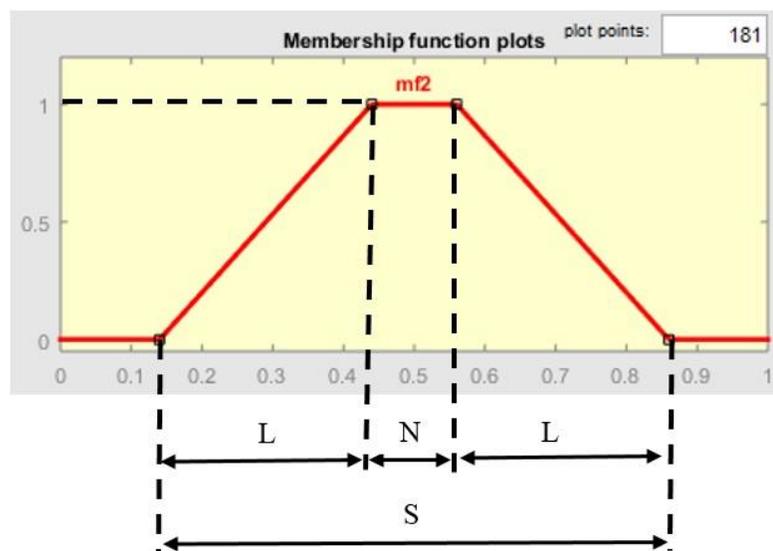


Figura 17 "Partes de un conjunto difuso" (Elaboración propia con base en Trillas & Eciolaza, 2015)

Los operadores básicos que se utilizan en lógica difusa, para poder trabajar con diferentes conjuntos difusos y las relaciones entre ellos se definen utilizando tablas de verdad y son los operadores “AND”, “OR” y “NOT”. En la Tabla 5 se ejemplifica como funciona cada uno de los operadores (Klir & Yuan, 1995):

Tabla 5 "Operadores en lógica difusa" (Elaboración propia con base en Klir & Yuan, 1995)

Conjunto 1	Conjunto 2	Operador AND	Operador OR	Operador NOT
A	B	$A \cap B$	$A \cup B$	$\bar{A}$
0	0	0	0	1
0	1	0	1	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0

### II.2.3 Control difuso

Los controladores difusos son capaces de utilizar la información obtenida a partir de variables lingüísticas y puede ser una alternativa a los modelos de control precisos. Cuando la información es difícil de expresar en términos precisos, resulta relativamente sencillo expresarla como una descripción lingüística imprecisa, la cual consiste en una serie de reglas de control que utilizan las proposiciones difusas, por ejemplo:

IF la temperatura es muy alta  
 AND la presión es ligeramente baja  
 THEN el cambio de calor debe ser ligeramente negativo

donde la temperatura y la presión son las variables monitoreadas del proceso y el cambio de calor es la acción que debe ejecutar el controlador; los términos "muy alta", "ligeramente baja" y "ligeramente negativo" pueden ser representados por conjuntos difusos.

Un sistema de control difuso está integrado por cuatro módulos: reglas difusas, motor de inferencia difusa, módulo de fusificación y módulo de defusificación, como se muestra en la Figura 18 (Klir & Yuan, 1995):

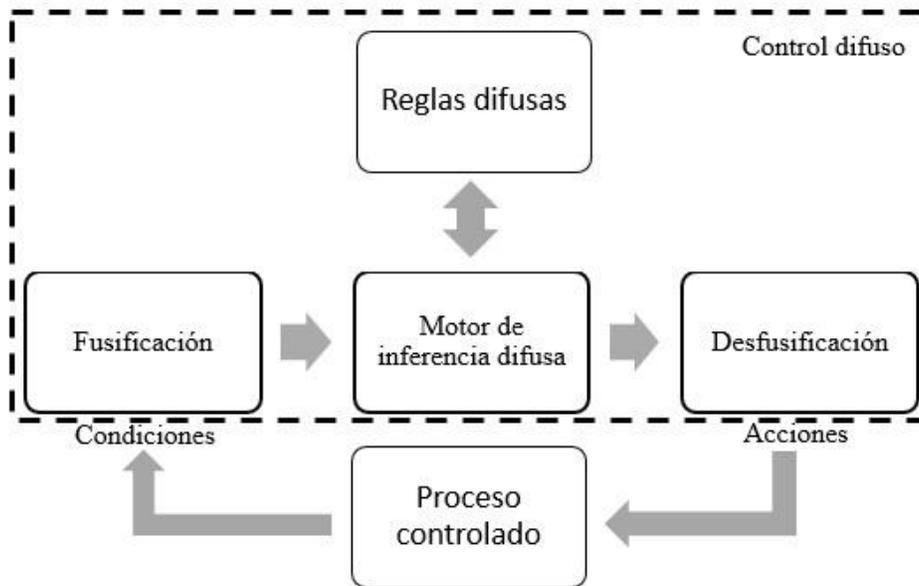


Figura 18 "Sistema de control difuso"

Fuente: Adaptado de (Klir & Yuan, 1995)

Primero se miden las variables que representan las condiciones relevantes del proceso a controlar, luego estas mediciones se transforman en conjuntos difusos para expresar la incertidumbre en la medición, lo que se llama “fusificación”. Seguido de esto, la información fusificada entra a un motor de inferencia difusa para evaluarla de acuerdo con las reglas difusas establecidas, como resultado se obtiene uno o varios conjuntos difusos definidos como posibles acciones. Finalmente, este conjunto o conjuntos son convertidos a valores claros (no difusos), a lo que se llama “desfusificación”. (Klir & Yuan, 1995)

Existen dos tipos de sistemas difusos; llamados “Mamdani” y “Sugeno”, cada uno con diferentes ventajas como se muestra en la Tabla 6:

Tabla 6 "Sistemas difusos y sus ventajas" Fuente: Adaptado de (Mathworks, 2017)

Sistema	Mamdani	Sugeno
<b>Ventajas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es intuitivo</li> <li>• Amplia aceptación</li> <li>• Funciona mejor con variables lingüísticas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bueno cuando se utilizan técnicas lineales</li> <li>• Funciona bien con técnicas de optimización y adaptativas</li> <li>• Funciona mejor con análisis matemático</li> </ul>

Para realizar la defusificación hay una gran variedad de métodos descritos en la literatura, pero los tres más utilizados son (Klir & Yuan, 1995):

- Método del centro de área, centro de gravedad o centroide.
- Método de bisección
- Método del medio máximo

En el presente trabajo se utiliza un sistema de tipo Mamdani, debido a que las ventajas que proporciona se acoplan mejor a los objetivos de este trabajo. Para defusificación se utiliza el método del centro de área, ya que al probar los tres anteriores, el método del medio máximo arrojó resultados con el rango más amplio de los tres, los métodos de bisección y de centroide mostraron resultados muy similares, pero al ser más comúnmente utilizado el método del centro de área, se optó por él, en el cual el valor defusificado “ $d_{CA}(C)$ ” se define como el valor dentro del rango de la variable “ $v$ ” para el que el área bajo la curva de la función de pertenencia “ $C$ ” es dividida en dos partes iguales. Este valor se calcula con la fórmula (Klir & Yuan, 1995):

$$d_{CA}(C) = \frac{\int_{-c}^c C(z)zdz}{\int_{-c}^c C(z)dz}$$

## II.3 RESILIENCIA

La resiliencia tiene su uso principal en la mecánica de materiales como una característica que tienen para deformarse elásticamente debido a la acción de una fuerza; es decir, se deforman cuando esta fuerza ejerce acción en el material y una vez que la fuerza se retira el material vuelve a su forma original. (Hibbeler, 2011)

### II.3.1 Etimología histórica

La palabra resiliencia, tiene una historia muy larga y diversa, algunos creen que se originó en 1973 con sistemas ecológicos pero lo cierto es que tiene una historia mucho más larga, su origen es del latín “resilire” que significa “rebotar”. Su etimología es desconocida, lo que podría indicar que puede ser parte del latín fundamental.

El término aparece en muchos documentos a lo largo de la historia y ha sido utilizado para dar a entender un salto, una contracción y hasta una elusión desde el año 35 A.C.; sin embargo, los usos más comunes son para describir un salto o rebote. Inició siendo utilizado en leyes y literatura, después continuó creciendo en la política y la ciencia.

Fue hasta los 1500’s que se tradujo al francés, quedando como “resiler” volviéndose muy popular a principios de 1600’s, pero para 1700’s dejó de utilizarse tan fervorosamente hasta mediados de 1800’s.

La primera definición conocida del término apareció en el libro “Glassographia” de Thomas Blount, quién le asignó doble significado; rebotar y regresar, definiendo la palabra “resilement”

Para la primera mitad del siglo diecinueve la palabra “resiliencia” fue utilizada por primera vez para expresar una emoción, significando la habilidad de recuperarse ante una adversidad, en sentido de fortaleza. Para 1858 el ingeniero William Rankine le dio el primer uso ampliamente conocido al emplearla en la mecánica para describir la fuerza y ductilidad en vigas de acero, de manera que, al aplicar una fuerza sobre la viga, ésta la resiste con fuerza (rigidez) y la absorbe con deformación (ductilidad). A la representación gráfica de esos resultados se le conoce como “Diagrama esfuerzo-deformación” y generalmente es como se muestra en la Figura 19.

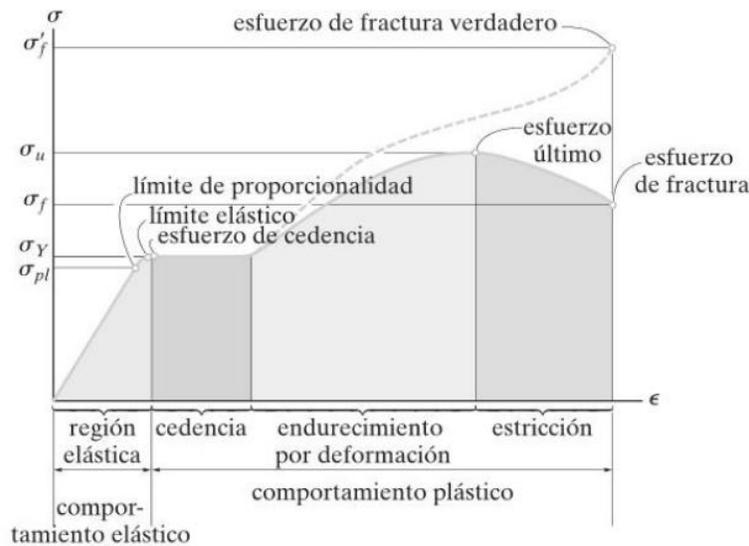


Figura 19 "Diagrama esfuerzo-deformación"

Fuente: (Hibbeler, 2011)

Para el año 1950 su uso se relacionó con la "Teoría General de Sistemas" (Von Bertalanffy, 1950) y en algunos aspectos de antropología para luego migrar hacia la ecología y después a las investigaciones sociales. (Alexander, 2013)

### II.3.2 Crecimiento en ciencias ecológicas y sociales

Desde 1973 la resiliencia comenzó a utilizarse en la ecología como la persistencia de los sistemas naturales a encarar los cambios y absorberlo, manteniendo las mismas relaciones entre la población o las variables de estado, pero para el año 2010 fue redefinida como la habilidad de un ecosistema para continuar adaptándose y no su capacidad de regresar a un equilibrio determinado.

Algunos ecologistas empezaron a utilizar la administración adaptativa en estudios de resiliencia, lo que ha llevado a que el concepto se extienda a la gobernabilidad adaptativa; es decir, a la gestión adaptativa como un proceso de solución de problemas. Finalmente, gracias al interés en la supervivencia de los sistemas ecológicos ha llegado a ser usado en trabajos socio-ecológicos.

Su primer acercamiento a las ciencias sociales fue cerca de los años 1940's en estudios sobre la esquizofrenia que fueron publicados hasta los años 1980's. En ellos se comparaban los niños con diferentes grados de vulnerabilidad psicológica a estímulos fuertes; lo que los investigadores estaban interesados en la resiliencia como parte del crecimiento y desarrollo psicológico del niño.

Para los 1970's se medía la robustez de la psicología del niño con la palabra "competencia" pero en 1980's la resiliencia resultó mejor para medir esa robustez, ya que los ecologistas habían fortalecido su definición. Para el 2000 la resiliencia ya se encontraba completamente dentro de la geografía y sociología humana en el sentido de las comunidades resilientes.

Conforme se avanzaba en la utilización del término llegó al cambio climático, siendo definida como la capacidad de adaptación que cada sociedad necesita en estos tiempos de alto riesgo y cambio climático. La evolución de la resiliencia se muestra en la Figura 20 donde aparecen las áreas principales que contribuyeron a su crecimiento.



*Figura 20 "Historia de la resiliencia"*

*Fuente: Adaptado de (Alexander, 2013)*

Tiene un futuro muy grande en diferentes áreas al ser un concepto multifacético que es adaptable a muchos contextos como se ha visto a lo largo de su historia y puede seguir acumulando diferentes significados conforme continúa creciendo, sin embargo, una buena definición de resiliencia es: (Alexander, 2013)

“La habilidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a peligros de resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos producidos por estos peligros de manera oportuna y eficiente, incluyendo la preservación y restauración de sus estructuras y funciones básicas” (UNISDR, 2009)

### II.3.3 La resiliencia en concreto

Es bastante complicado adaptarse a un entorno o mercado cambiante y volátil, pero, además; si este entorno se empeña en permanecer adverso, la capacidad de gestión ágil se hace fundamental. Es aquí donde la resiliencia se entiende como un proceso, una estrategia específica que se representa en una serie de acciones planificadas, para recuperarse de una crisis.

Las adversidades que se deben superar pueden adoptar muchas formas, como crisis económica, competitividad de nuevos proyectos, fusiones, privatizaciones y otras más que pueden o no ser provocadas por factores extrínsecos a la empresa

Otra manera de ver la resiliencia desde el punto de vista social es como la capacidad de un sistema humano-entorno para desarrollarse continuamente dentro de los límites del desarrollo humano e impacto ambiental. Las capacidades que se necesiten desarrollar para continuar hacia la trayectoria esperada dependen de las construcciones sociales, el conocimiento empírico del mundo y las preferencias de valor que se tengan. En otras palabras, proteger y mantener aquello a lo que se asigna valor, ahora y en el futuro.

Un método de entrada de información para adaptar los sistemas humano-entorno es reconociendo lo que es o podría ser una amenaza a corto plazo, monitoreando algunos indicadores o problemas potenciales para anticipar la amenaza, lo que es una acción proactiva en los sistemas que requieren adaptación. La parte reactiva es la valoración de la situación dados los eventos negativos ya ocurridos; ambas deben primero reconocer las posibles amenazas. Ahora, considerando que se puede aprender a partir de experiencias propias y ajenas, esta es otra habilidad que requiere la resiliencia para generar una entrada en el proceso de adaptación del sistema humano-entorno y también para retroalimentar las habilidades del sistema de anticipar, reconocer, adaptar y aprender. Las cuatro habilidades están estrechamente interrelacionadas unas con otras como se muestra en la Figura 21. (Becker, 2014)

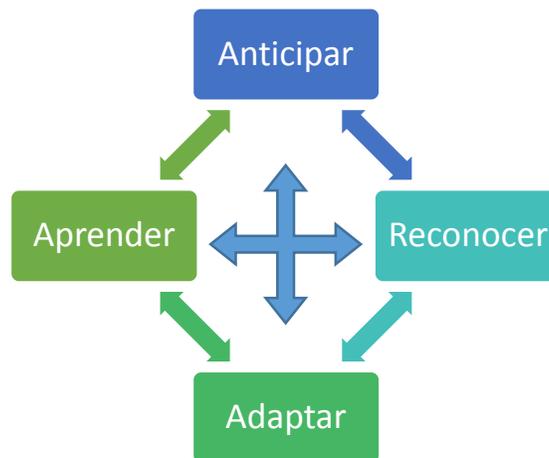


Figura 21 "Habilidades para la resiliencia"

Fuente: (Becker, 2014)

Estas habilidades pueden dividirse de acuerdo con el tipo de acción que representan, por ejemplo, si son meramente proactivas (anticipar), reactivas (aprender) o una mezcla de estas (reconocer y adaptar).

#### *Anticipar*

La habilidad de anticipar posibles desviaciones del sistema humano-entorno lejos del escenario proyectado es una actividad completamente proactiva al enfocarse en lo que aún no ha sucedido. Se puede anticipar a plazos largos y cortos, sin embargo, mientras mayor sea el plazo se vuelve más difícil el ver los eventos posibles a ocurrir. Puede parecer que hay dos tipos de realizar una anticipación, una basada en la experiencia y otra de manera analítica; lo cierto es que siempre es una mezcla de ambas.

El anticipar tiene ciertos límites como resultado de la predisposición al conocimiento experimental, a los límites del conocimiento analítico, a que siempre existen diferencias entre los escenarios anticipados y lo que en realidad sucede y a que el escenario anticipado también puede estar equivocado y alteraría el resto de las habilidades.

#### *Reconocer*

La habilidad de reconocer desviaciones actuales del sistema humano-entorno lejos del escenario proyectado posee una parte proactiva y otra reactiva. Proactivamente es monitorear los indicadores principales que puedan causar una desviación del sistema, los indicadores se seleccionan de acuerdo con la salida de las habilidades de anticipar o aprender. Reactivamente está el evaluar las consecuencias que esas desviaciones generan sobre nuestro escenario para así informar a la adaptación y que restaure el sistema hacia la dirección correcta.

#### *Adaptar*

Es la habilidad más compleja de las cuatro ya que puede ser definida también con una parte proactiva y una reactiva, pero con más de un componente en cada una de ellas. Proactivamente los componentes pueden ser prevenir, mitigar y preparar; mientras que reactivamente son responder y recuperarse.

Prevenir se refiere a reducir la probabilidad de que ocurra una desviación en el escenario planeado y se alimenta de la anticipación, monitoreo u aprendizaje; mitigar se refiere a reducir las consecuencias que las desviaciones puedan ocasionar desde antes que estas ocurran, reduciendo la vulnerabilidad del sistema ante eventos específicos; el último componente proactivo, es prepararse a responder y recuperarse de posibles desviaciones del sistema cuando estas ocurran aunque no solo es el prepararse ante eventos de alto riesgo, si no ante eventos un poco más generales. En resumen, se debe mitigar aquello para lo que no es posible prevenir por completo y se debe preparar para aquello que no es posible mitigar por completo.

El primer componente reactivo es responder, para lo que primero es necesario que ocurra un evento o desviación en el sistema, entonces se pueden evaluar las consecuencias de dichas desviaciones, finalmente está el recuperarse, que es reconstruir o restaurar el sistema de vuelta al escenario esperado.

#### *Aprender*

Es una habilidad completamente reactiva, se aprende de la experiencia, primero evaluando lo que sucedió en un evento para informar a las habilidades de anticipación, reconocimiento y adaptación para que actúen ante posibles eventos futuros

En resumen, la resiliencia es una propiedad emergente determinada por la habilidad del sistema humano-entorno para anticipar, reconocer, adaptar y aprender de las variaciones, cambios, disturbios y desastres que puedan causar algún daño a aquello que es valorado.

La resiliencia en las organizaciones es un atributo esencial para abordar la multitud de riesgos que implica cualquier cambio; por ejemplo, en la economía, el mercado o la política ya que cualquiera puede poner en peligro la salud y capacidad de adaptarse que tiene una empresa. (Clarke, 2013)

### III. DEFINICIÓN DEL MODELO

Como se vio en la sección II.1.2.6 actualmente no se considera cómo los aspectos políticos y sociales afectan a los proyectos energéticos antes y durante su vida útil, y aquí se plantea el funcionamiento del sistema que integrará estos aspectos.

#### III.1 CONTROL DIFUSO EN MATLAB

Se utilizó el software Matlab para analizar los datos utilizando lógica difusa con el apoyo de su aplicación (app) interna llamada “Fuzzy Logic Designer” que contiene cinco editores gráficos para diseñar y analizar el sistema:

- I. *Fuzzy Inference System Editor* (FIS Editor). – Es la pantalla principal que se muestra al abrir la aplicación y donde se puede cambiar la forma en que se realizan las operaciones lógicas AND y OR además de los métodos de implicación, agregación y defusificación (Figura 22).

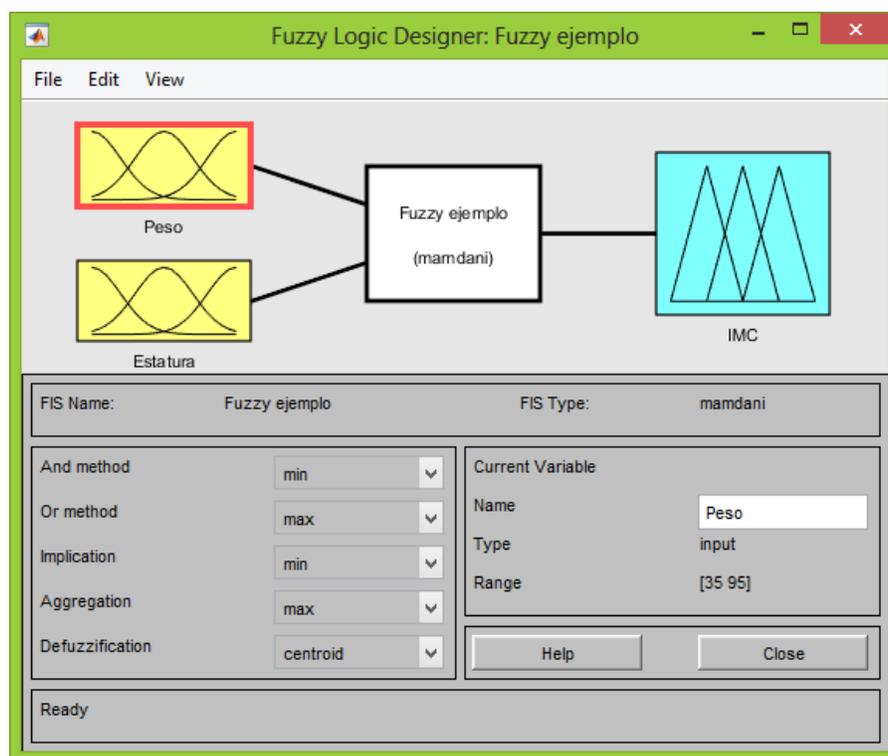


Figura 22 "FIS Editor" (Elaboración propia)

- II. *Membership Function Editor (MF Editor)*. – Aquí es donde se construyen las funciones de membresía, eligiendo su cantidad, tipo, rango y parámetros necesarios. (Figura 23)

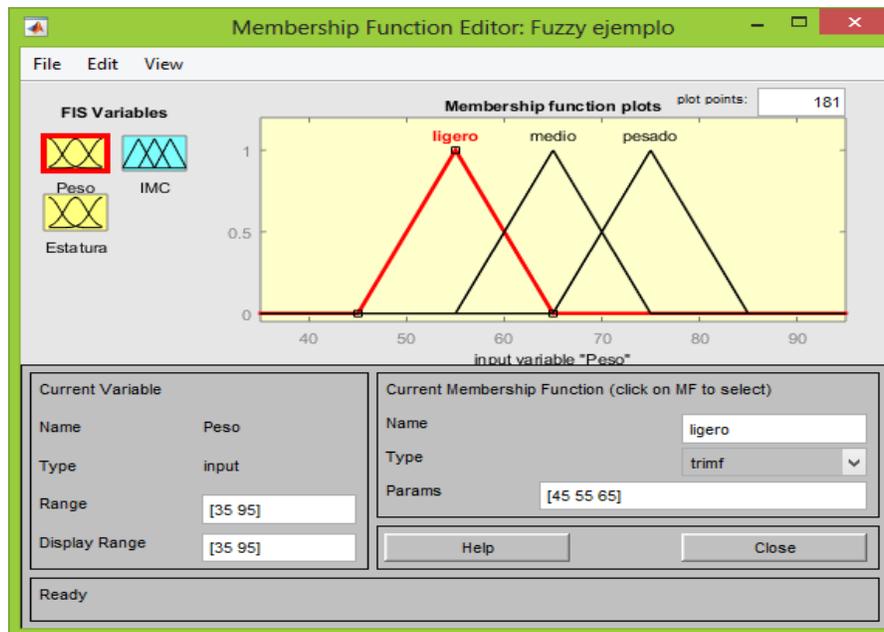


Figura 23 "MF Editor" (Elaboración propia)

- III. *Rule Editor*. – En esta pantalla se crean y editan las reglas lógicas utilizando los operadores AND, OR y NOT. (Figura 24)

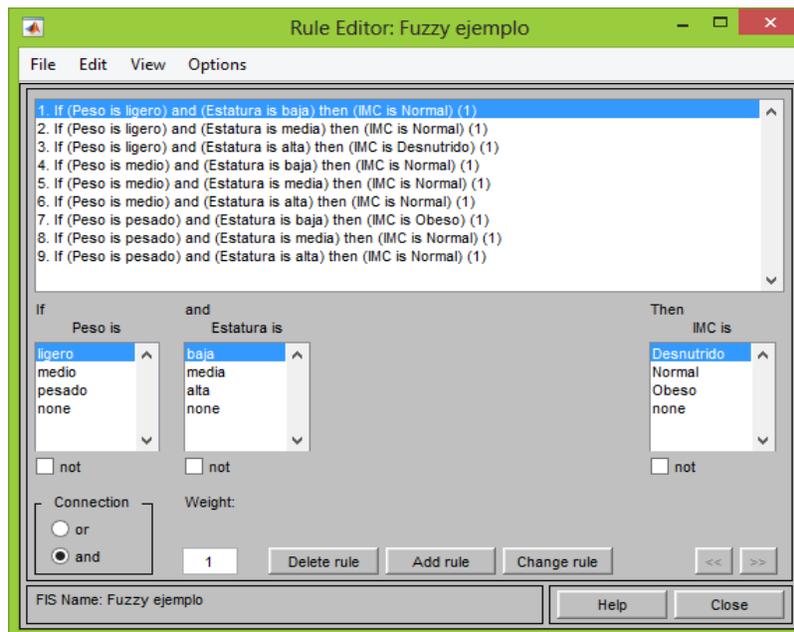


Figura 24 "Rule Editor" (Elaboración propia)

- IV. *Rule Viewer.* – Permite ver las reglas previamente creadas mientras interactúan con las funciones de membresía en una interfaz interactiva, lo que hace posible cambiar los datos de entrada y ver al mismo tiempo cómo estos cambios afectan la salida del sistema. (Figura 25)

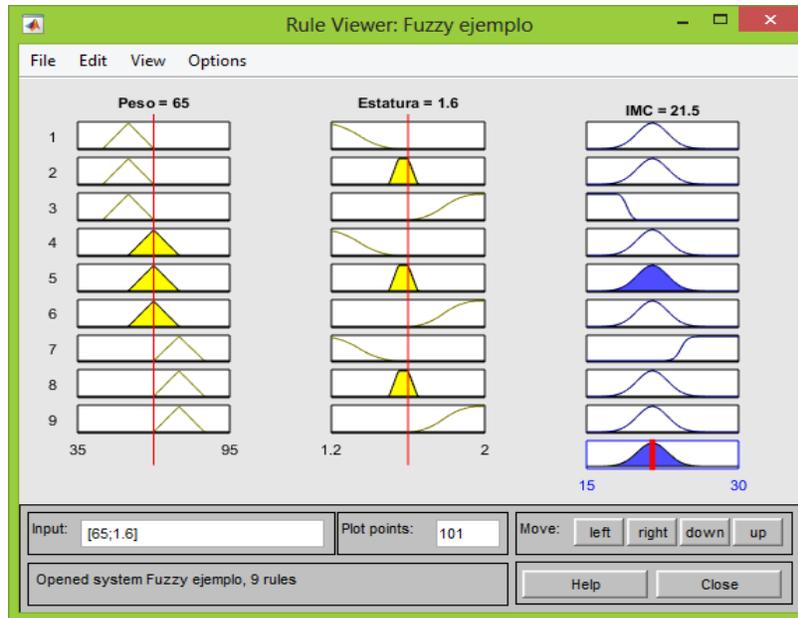


Figura 25 "Rule Viewer" (Elaboración propia)

- V. *Surface Viewer.* – Muestra gráficamente el comportamiento del sistema en 3D; es decir, con solo dos variables de entrada permite observar la salida del sistema. (Figura 26)

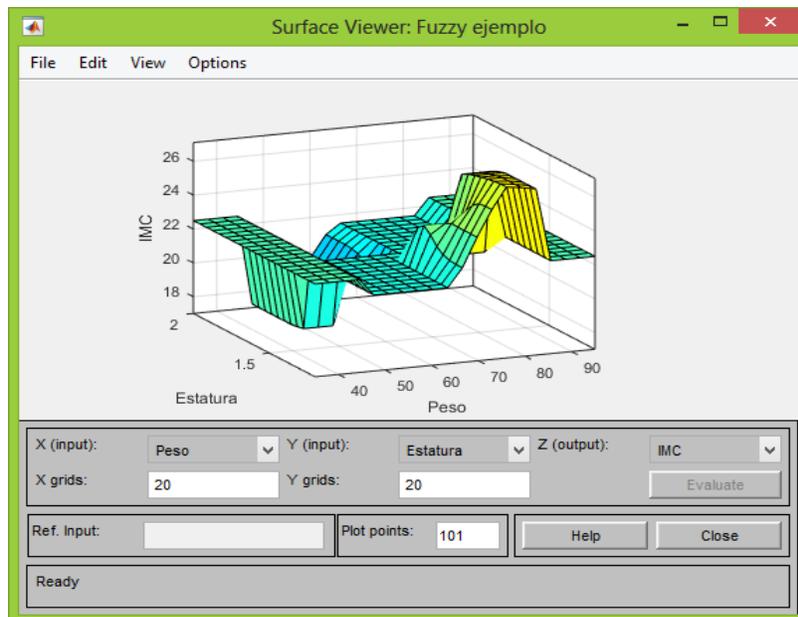


Figura 26 "Surface Viewer" (Elaboración propia)

Sustituyendo estos cinco editores gráficos en la Figura 18 se obtiene la vista real del sistema de control difuso en Matlab que se muestra en la Figura 27:



Figura 27 "Sistema de control difuso en Matlab" (Elaboración propia)

### III.2 COEFICIENTE DIFUSO GAMMA

En el modelo del CAPM, visto en la sección II.1.2.8, se utiliza el coeficiente beta que mide qué tan sensible es la rentabilidad de un proyecto con respecto al mercado, y en el modelo de factores se menciona que pueden incluirse diferentes factores económicos como la inflación y el PIB. Sin embargo, no considera qué tan sensible es a los aspectos políticos y sociales, por lo que es necesario agregar al modelo de factores la sensibilidad del proyecto ante eventos políticos y sociales, lo que denominaremos como “coeficiente gamma” ( $\gamma$ ).

El coeficiente difuso gamma captará la influencia de estos riesgos sociopolíticos para que puedan ser adicionados a los modelos de inversión de carácter privado y público; es decir, adicionar el coeficiente gamma al CAPM cuando se trate de un proyecto de inversión cuyos recursos sean totalmente del inversionista privado, al WACC cuando los recursos sean una combinación de capital propio y deuda; o adicionarlo a la tasa social de descuento o TSD (que tiene un valor de 10% para México como se menciona en la sección II.1.2.6) cuando se trate de un proyecto de inversión con recursos públicos.

Matemáticamente se obtiene la Ecuación 1 para cuando se trate de un proyecto de inversión privada, la Ecuación 2 cuando se trate de un proyecto de inversión pública y la Ecuación 3 cuando en una inversión privada los recursos son una combinación de capital propio y deuda.

$$CAPM = R_F + \beta(R_M - R_F) + \gamma$$

*Ecuación 1 “CAPM con riesgo sociopolítico”*

$$TSD_{sp} = TSD + \gamma$$

*Ecuación 2 “Tasa Social de Descuento con riesgo sociopolítico”*

$$WACC^* = (R_S + \gamma) \left( \frac{E}{E + D} \right) + (R_D + \gamma) \left( \frac{D}{E + D} \right) (1 - T)$$

*Ecuación 3 “WACC con riesgo sociopolítico”*

\*Cuando se calcula el WACC y la tasa de rendimiento de capital propio  $R_S$  fue calculada por medio del CAPM con riesgo sociopolítico no se debe sumar nuevamente el coeficiente gamma.

Donde:

- $\gamma$  =Tasa correspondiente al riesgo sociopolítico; y
- $TSD_{sp}$  =Tasa social de descuento considerando los riesgos sociopolíticos.

Para determinar el valor del coeficiente gamma se utilizaron las siguientes variables difusas como condiciones:

1. Población informada sobre el proyecto (PIP)
2. Aceptación pública del proyecto (AP)
3. Autorización comunal o del gobierno local para el proyecto (AC)
4. Conocimiento normativo de la población contra el proyecto (CN)
5. Violencia/Criminalización (V)
6. Intereses políticos (IP)
7. Momento en el sexenio (MS)

Usando estas variables en el controlador difuso se calculó el coeficiente gamma ( $\gamma$ ). Ahora para seleccionar los estados lingüísticos de cada variable se asumió que el rango de cada variable de entrada PIP, AP, ... IP, y MS es de [0, 1] y el rango del coeficiente gamma es [0, 5].

Se eligieron los siguientes tres estados lingüísticos para cada una de estas variables:

- Baja
- Media
- Alta

Solo en el caso de la variable MS se utilizaron los estados “Inicio, Medio y Final” respectivamente.

Debido a que se tienen 3 estados lingüísticos para cada variable, el número total de reglas de inferencia difusa no conflictivas entre ellas es  $3^7 = 343$ . Pero tomando en cuenta el principio de incompatibilidad, el cual dice que mientras un sistema se vuelve cada vez más complejo, nuestra habilidad para comprenderlo disminuye cada vez más, solo se necesita utilizar una pequeña fracción de estas reglas para obtener un resultado cuyo rendimiento sea bueno. (Klir & Yuan, 1995)

Se inició creando las 7 variables en el “FIS Editor” mostradas en la Figura 28.

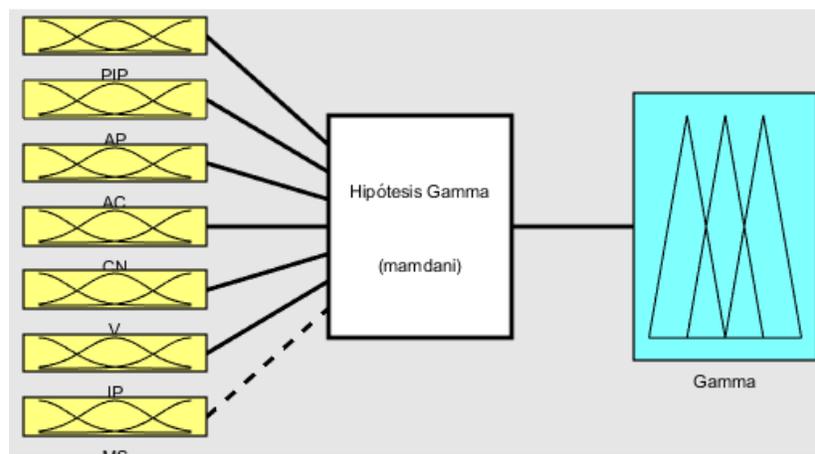


Figura 28 "Creación de variables" (Elaboración propia)

Para construir las funciones de pertenencia se utiliza una forma triangular para las siete variables de entrada y un rango de cero a uno para las mismas. (Figura 29)

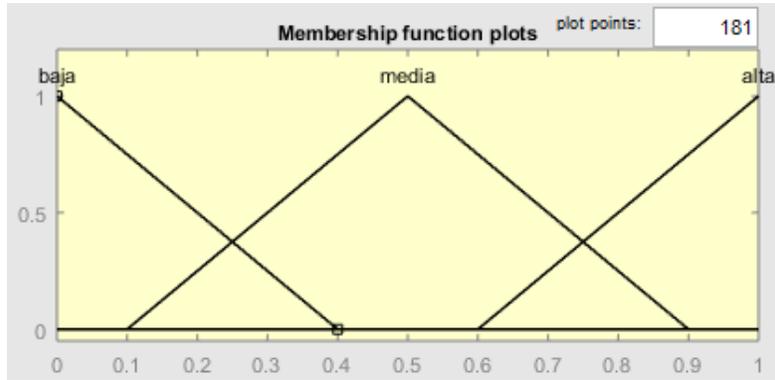


Figura 29 "Función de pertenencia en las variables de entrada" (Elaboración propia)

En el caso de la variable de salida que es el coeficiente gamma se utilizan las curvas "zmf", "gaussmf" y "smf" para "bajo", "medio" y "alto" respectivamente, de manera que si se desea ampliar el rango de visualización en Matlab no parezca que más a la izquierda el coeficiente deja de ser bajo, y más a la derecha también deja de ser alto. (Figura 30)

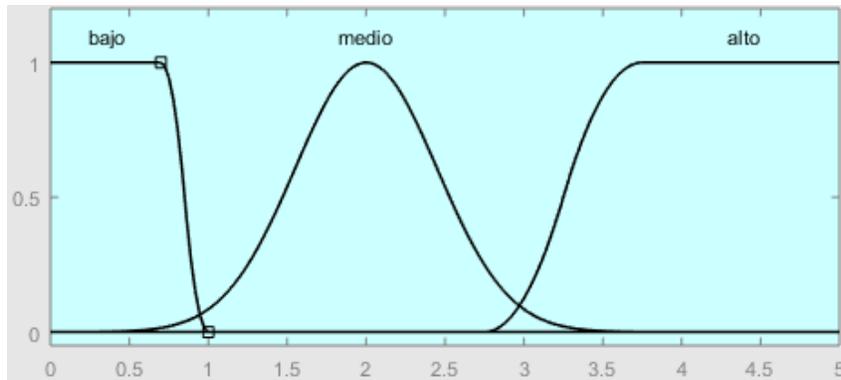


Figura 30 "Función de pertenencia para el coeficiente gamma" (Elaboración propia)

Lo siguiente es la construcción de las reglas, que denominaremos como simples o compuestas de acuerdo con la forma que tengan como se muestra en la Tabla 7:

Tabla 7 "Tipos de reglas" (Elaboración propia)

Reglas		
Tipo	Simple	Compuestas
	No contienen operadores lógicos	Contienen al menos un operador lógico
Ejemplo	Si "x" es "P" entonces "z" es P2	Si "x" es "P" AND "y" es "P1" entonces "z" es "P2"

Utilizando las siguientes 31 reglas (de las cuales 9 son reglas simples y 22 son reglas compuestas) construidas a partir de la información obtenida con la investigación bibliográfica y nuestra comprensión de la misma:

1. Si V es baja entonces Gamma es bajo
2. Si V es media entonces Gamma es medio
3. Si V es alta entonces Gamma es alto
4. Si IP es alta entonces Gamma es bajo
5. Si IP es media entonces Gamma es medio
6. Si IP es baja entonces Gamma es alto
7. Si CN es baja entonces Gamma es bajo
8. Si CN es medio entonces Gamma es medio
9. Si CN es alto entonces Gamma es alto
10. Si PIP es alta y AP es alta entonces Gamma es bajo
11. Si PIP es alta y AP es baja entonces Gamma es alto
12. Si PIP es baja y AP es baja y AC es alta entonces Gamma es medio
13. Si PIP es media y AP es media y AC es media entonces Gamma es medio
14. Si PIP es alta y AP es alta y AC es baja entonces Gamma es medio
15. Si PIP es alta y AP es alta y AC es alta entonces Gamma es bajo
16. Si PIP es baja y AP es baja y AC es baja entonces Gamma es alto
17. Si PIP es baja y AP es baja y AC es baja y CN es baja y V es baja entonces Gamma es bajo
18. Si PIP es media y AP es media y AC es media y CN es media y V es no baja entonces Gamma es medio
19. Si PIP es alta y AP es alta y AC es alta y CN es alta y V es no baja entonces Gamma es alto
20. Si PIP es baja y AC es baja entonces Gamma es alto
21. Si PIP es alta y AC es baja entonces Gamma es alto
22. Si PIP es alta y AC es alta entonces Gamma es bajo
23. Si PIP es baja y AC es alta entonces Gamma es medio
24. Si PIP es baja y AP es baja entonces Gamma es alto
25. Si AP es no alta y AC es alta entonces Gamma es medio
26. Si AP es baja o AC es baja entonces Gamma es alto
27. Si PIP es baja y AC es no baja entonces Gamma es alto
28. Si IP es alta y MS es inicio entonces Gamma es bajo
29. Si IP es alta y MS no es inicio entonces Gamma es medio
30. Si IP es baja y MS es final entonces Gamma es alto
31. Si IP es baja y MS es no final entonces Gamma es medio

Se obtuvieron las relaciones de comportamiento entre cada par de variables y gamma, representadas por superficies en tres dimensiones. A continuación, se listan algunas de ellas:

1. Población informada sobre el proyecto vs Aceptación pública del proyecto. (Figura 31). - La superficie creada por las variable PIP y AP tiene forma de “V”, con vértice en las coordenadas bidimensionales (1,1,1.3), lo cual indica que cuando la población está informada acerca del proyecto y a la vez lo acepta, el coeficiente gamma tiene un valor pequeño (de 1.3 aproximadamente), y conforme crecen la desinformación y la aceptación de la población el valor del coeficiente gamma aumenta hasta cerca de 3.3.

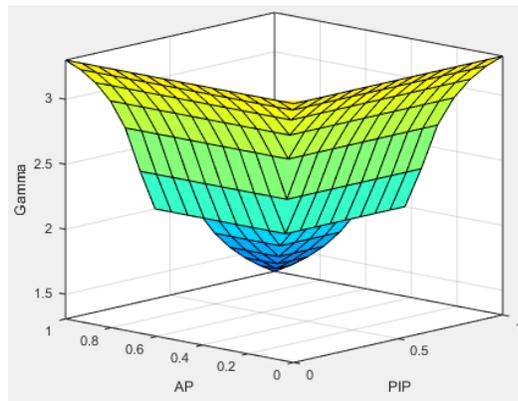


Figura 31 "PIP vs AP" (Elaboración propia)

2. Población informada sobre el proyecto vs Conocimiento normativo de la población contra el proyecto. (Figura 32).- Esta superficie creada por las variables PIP y CN parece una carretera de subida con una montaña en su costado, cuyo punto más bajo se encuentra en las coordenadas (1,0,1.3) cuando la población está informada sobre el proyecto y no conoce algún tipo de normas o convenios para detenerlo; crece hacia la derecha como una carretera de subida conforme la población conoce normas contra el proyecto y crece a la izquierda como una montaña mediana mientras aumenta la desinformación pero solo llega a su punto más alto cuando además de esta desinformación, la población conoce normas que puedan detener el proyecto.

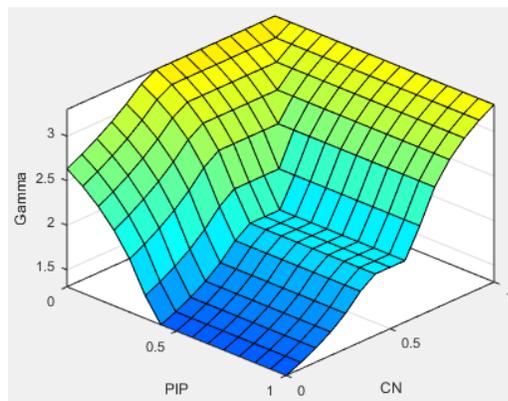


Figura 32 "PIP vs CN" (Elaboración propia)

3. Intereses políticos vs Población informada sobre el proyecto. (Figura 33).- La superficie formada por las variables IP y PIP también parece una carretera con una montaña al costado pero esta vez la carretera crece a la izquierda y además el punto más bajo se encuentra en las coordenadas (1,1,1.3), lo que quiere decir que cuando existen intereses políticos para la realización del proyecto y la población se encuentra informada sobre el mismo el coeficiente gamma tiene un valor bajo, que aumenta conforme disminuyen los intereses políticos y también conforme disminuye la información que la población posee sobre el proyecto.

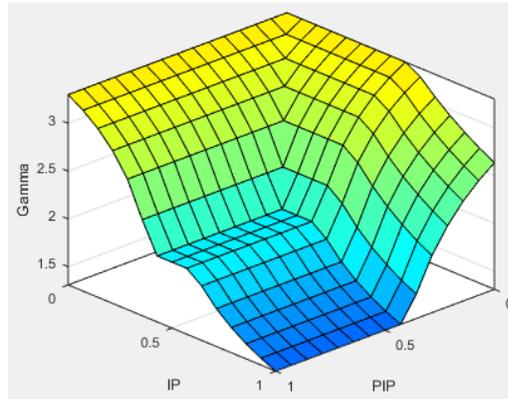


Figura 33 "IP vs PIP" (Elaboración propia)

4. Aceptación pública del proyecto vs Autorización comunal del proyecto. (Figura 34).  
- Una superficie que podría parecer la esquina de un cañón es la creada entre las variables AP y AC, cuyo punto más bajo se encuentra en las coordenadas (1,1,2), lo cual indica que, si el proyecto cuenta con la aceptación pública y además con la autorización comunal el coeficiente gamma descende rápidamente, pero mientras menores sean la aceptación pública y la autorización comunal, el coeficiente crece con la misma velocidad.

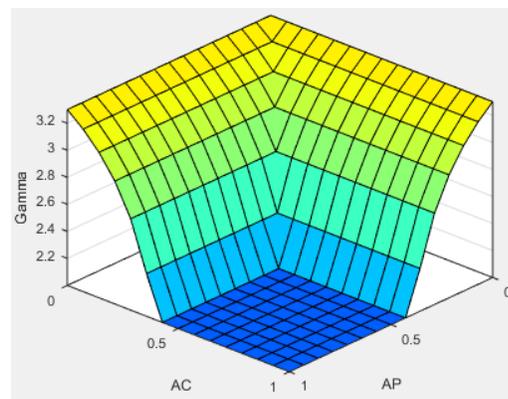


Figura 34 "AP vs AC" (Elaboración propia)

5. Aceptación pública del proyecto vs Conocimiento normativo de la población contra el proyecto. (Figura 35).- La superficie creada por las variables AP y CN vuelve a tomar la forma de una carretera que asciende hacia la derecha con una montaña a su costado, cuyo punto más bajo se encuentra en las coordenadas (1,0,1.3), lo que quiere decir que cuando el proyecto cuenta con aceptación pública y la población no tiene conocimiento normativo para detener el proyecto el coeficiente gamma es bajo, pero conforme la aceptación disminuye y el conocimiento normativo contra el proyecto aumenta, la carretera y la montaña ascienden a la derecha e izquierda respectivamente.

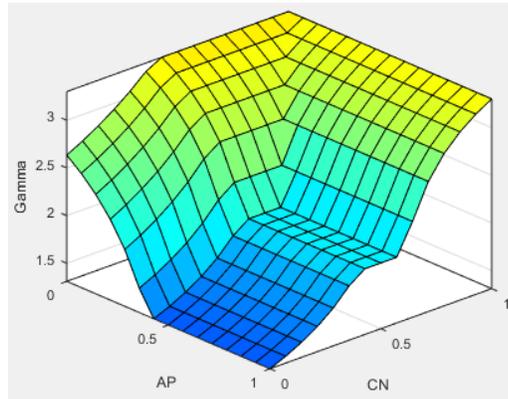


Figura 35 "AP vs CN" (Elaboración propia)

6. Aceptación pública del proyecto vs Intereses políticos. (Figura 36).- Nuevamente aparece la forma de una carretera con la montaña a su costado pero esta vez creada por las variables AP e IP, en este caso la carretera sube hacia la izquierda y el punto más bajo se encuentra en las coordenadas (1,1,1.3); es decir, que al existir intereses políticos para realizar el proyecto y al mismo tiempo ser aceptado públicamente el coeficiente gamma es bajo, pero aumenta conforme el interés político y la aceptación pública se vuelven menores.

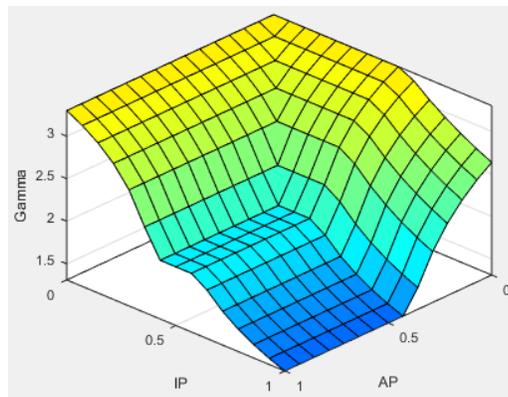


Figura 36 "AP vs IP" (Elaboración propia)

7. Autorización comunal del proyecto vs Conocimiento normativo de la población contra el proyecto. (Figura 37).- Esta superficie creada por las variables AC y CN también parece una carretera que sube a la derecha mientras es acompañada por una montaña en su costado; el punto más bajo se encuentra en las coordenadas (1,0,1.3) y quiere decir que el coeficiente gamma es bajo cuando existe autorización comunal para la realización del proyecto y a la vez la población no tiene conocimiento normativo en contra del proyecto; el coeficiente gamma crece conforme la autorización disminuye y también cuando el conocimiento normativo contra el proyecto aumenta.

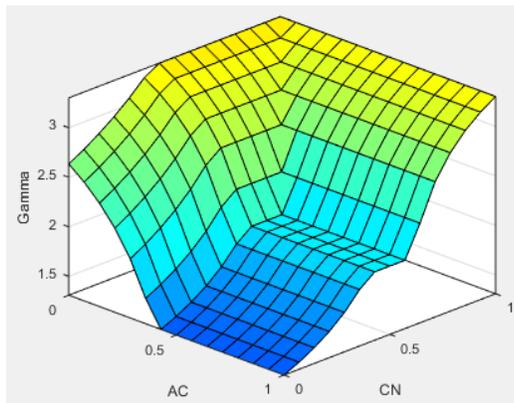


Figura 37 "AC vs CN" (Elaboración propia)

8. Aceptación comunal del proyecto vs Intereses políticos. (Figura 38). - La superficie creada por las variables AC e IP se comporta de la misma manera que la formada por las variables AP e IP (Figura 36) al compartir la forma de carretera ascendiendo a la izquierda con una montaña por el costado derecho, además de compartir el punto más bajo en las coordenadas (1,1,1.3).

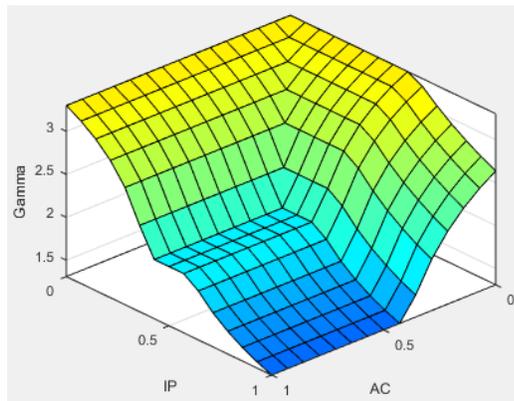


Figura 38 "AC vs IP" (Elaboración propia)

9. Conocimiento normativo de la población contra el proyecto vs Violencia/criminalización. (Figura 39).- La superficie que forman las variables CN y V parece adquirir la forma de una meseta rodeada por una gran cordillera, cuyo punto más bajo se encuentra en las coordenadas (0,0,1.3); la meseta se forma completamente en las coordenadas (0.5,.5,2) lo que significa que hasta ese punto el coeficiente gamma aumenta su valor conforme la violencia/criminalización y el conocimiento normativo de la población en contra del proyecto aumentan; después de ese punto la meseta comienza a desaparecer para dar origen una cordillera que crece hasta su punto máximo conforme las variables CN y V se aproximan a un valor de 1.

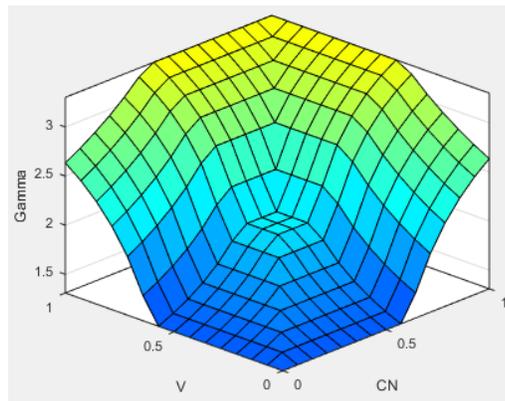


Figura 39 "CN vs V" (Elaboración propia)

10. Conocimiento normativo de la población contra el proyecto vs Intereses políticos. (Figura 40).- La forma es muy similar a la figura anterior pero esta vez la meseta tiene una orientación diferente, ya que ahora su punto más bajo se encuentra en las coordenadas (0,1,1.3); es decir, que al existir un bajo conocimiento normativo en contra del proyecto y un alto interés político para la realización del mismo, el riesgo es bajo, crecen poco a poco hasta el punto (0.5,0.5,2) donde se origina la cordillera, indicando un crecimiento más abrupto del coeficiente gamma.

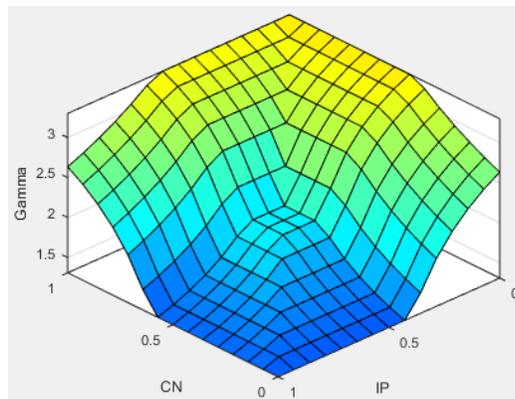


Figura 40 "CN vs IP" (Elaboración propia)

11. Violencia/criminalización vs Intereses políticos. (Figura 41).- Una figura casi idéntica a la anterior, en cuanto a la forma de meseta rodeada por una cordillera y también a la relación de los ejes, teniendo su punto más bajo en las coordenadas (0,1,1.3) pero esta vez indica que mientras menor sea la violencia y mayor el interés político por llevar a cabo el proyecto, el valor del coeficiente gamma permanece debajo de 1.5, pero conforme aumenta la violencia y se reduce el interés político, se forma lentamente una pequeña meseta que luego se transforma rápidamente en la cordillera.

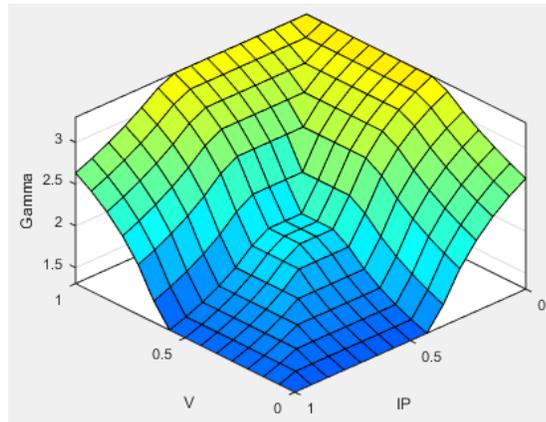


Figura 41 "V vs IP" (Elaboración propia)

12. Violencia/criminalización vs Momento en el sexenio. (Figura 42). - La figura que forman las variables V y MS parece adquirir la forma de una hoja de papel inclinada con un escalonamiento al medio, indicando que, sin importar mucho el momento en el sexenio, la violencia juega un papel significativo para determinar si el coeficiente gamma es alto o es bajo.

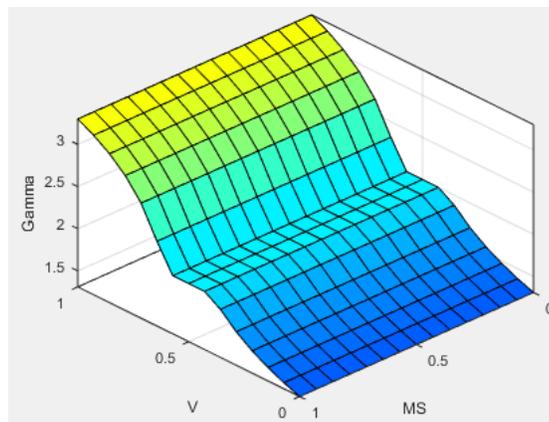


Figura 42 "V vs MS" (Elaboración propia)

13. Intereses políticos vs Momento en el sexenio. (Figura 43). - Es muy similar a la figura anterior, pero ésta muestra que el interés político tiene un papel más significativo que el momento en el sexenio ya que al existir un alto interés político, el coeficiente gamma es bajo y conforme este disminuye, el valor del coeficiente gamma crece de forma casi lineal.

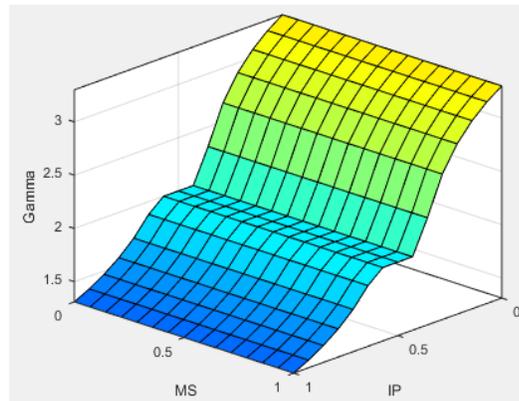


Figura 43 "IP vs MS" (Elaboración propia)

Las figuras fueron creadas tomando en cuenta el mismo nivel de importancia para cada variable; además, al representar solo dos de estas variables versus el coeficiente gamma, se toma en cuenta que el resto de las variables tiene un valor medio de 0.5 y es por eso que el coeficiente gamma no alcanza valores menores de 1.3 ni mayores de 3.3 aproximadamente. Sólo la combinación de todas las variables hace posible que el coeficiente gamma tenga un rango de valores más amplio. De manera muy general las variables se relacionan con el coeficiente Gamma como lo muestra la Tabla 8:

Tabla 8 "Relación general de las variables difusas con el coeficiente gamma" (Elaboración propia)

Variable	Relación con el Coeficiente Gamma
<b>PIP</b>	Inversamente Proporcional
<b>AP</b>	Inversamente Proporcional
<b>AC</b>	Inversamente Proporcional
<b>CN</b>	Directamente Proporcional
<b>V</b>	Directamente Proporcional
<b>IP</b>	Inversamente Proporcional
<b>MS</b>	Directamente Proporcional

### III.3 EL PROYECTO RESILIENTE

En la sección II.3.1 se vio la forma general del diagrama esfuerzo-deformación que muestra el comportamiento resiliente de un material; de manera análoga se construirá una gráfica para ver de manera objetiva qué tan resiliente es un proyecto ante los cambios en diferentes variables.

Gráficamente, la resiliencia de un proyecto se puede obtener por medio del análisis de sensibilidad, el cual se realiza cambiando algunas variables para ver cómo se ve afectado el VPN con dichos cambios; en este trabajo se utilizó para ver en qué momento el proyecto llega a su punto de fractura de manera análoga con la fractura de un material, pero en lugar de romperse, el proyecto deja de ser rentable.

En el diagrama esfuerzo-deformación el eje horizontal representa la deformación del material y el eje vertical el esfuerzo al que está siendo sometido; en nuestra gráfica de resiliencia el eje horizontal será el cambio en la variable analizada y el eje vertical el esfuerzo del proyecto; es decir, aquel que realiza el VPN con respecto a su base de análisis, para lo que se utiliza la Ecuación 4:

$$\sigma = \frac{VPN_B - |VPN_S|}{I_0}$$

*Ecuación 4 “Esfuerzo del proyecto”*

Donde:

VPN<sub>B</sub>= Valor presente neto base de análisis

VPN<sub>S</sub>= Valor presente neto sensibilizado con respecto a una variable

I<sub>0</sub>= Inversión inicial

La Figura 44 muestra la analogía de ambos diagramas más claramente.

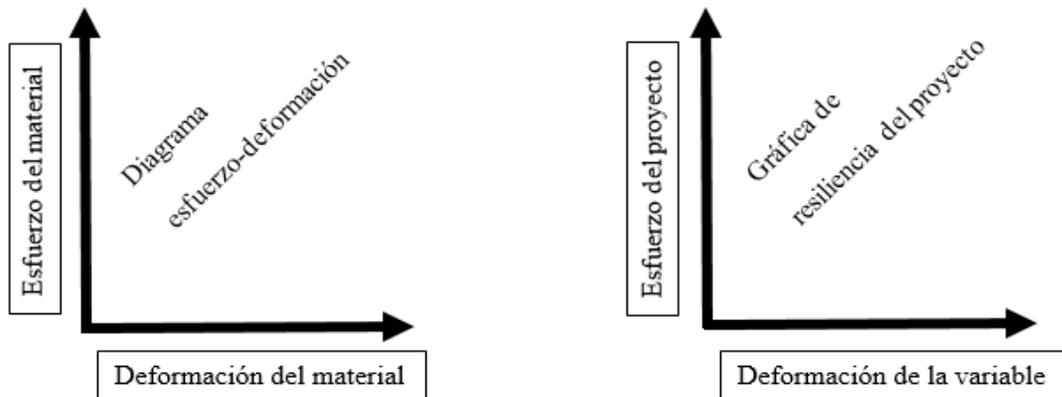


Figura 44 "Analogía del diagrama esfuerzo deformación y la gráfica de resiliencia del proyecto" (Elaboración propia)

También se utilizan las habilidades de la resiliencia vistas en la sección II.3.3 para subjetivamente crear una herramienta que permita determinar la resiliencia de un proyecto.

Recorriendo las cuatro habilidades y aplicándolas al sistema humano-entorno definido como el proyecto energético. Una manera de ver cada una de estas habilidades es la siguiente:

1. Anticipar los sucesos de índole política y social que puedan surgir para afectar la rentabilidad del proyecto.
2. Reconocer los cambios en ciertas variables que indiquen un posible cambio que tienda a afectar la rentabilidad del proyecto. Primero monitoreando esas variables o indicadores y después evaluando las posibles consecuencias que generarían.
3. Adaptar los enfoques de administración y coordinación del proyecto para evitar el corte de su vida útil antes del periodo previsto.
4. Aprender de los sucesos que han ocurrido para elaborar planes de acción que ayuden a mitigar futuros riesgos.

Cada una de estas habilidades se relaciona con la información disponible o el tiempo que se cuenta para llevarlas a cabo, lo que puede representarse en una matriz de intervención como la de la Figura 45.

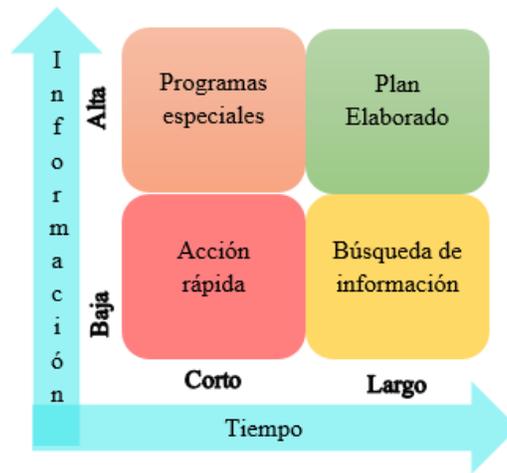


Figura 45 "Matriz de intervención resiliente" (Elaboración propia)

La idea es ubicar el proyecto dentro de la matriz y si no se encuentra en la zona óptima (color verde) para reaccionar ante posibles cambios que amenacen su rentabilidad, llegar a esa zona por medio del uso de las cuatro habilidades; las primeras dos (Anticipar y Reconocer) permiten tener mayor tiempo para actuar y las siguientes dos (Adaptar y Aprender) permiten tener mayor información, lo que en conjunto aumenta la resiliencia del proyecto ante las adversidades que puedan surgir.

Por ejemplo; si no se pudo anticipar una amenaza, pero sí fue reconocida, la intervención a realizar dependerá de la disponibilidad de una o dos habilidades que puedan brindar información, en caso de que solo sea adaptar es una acción rápida, pero si además es aprender, será un programa especial que permita anticipar la siguiente amenaza ganando tiempo para buscar información y así poder llegar a hacer un plan elaborado.

---

## IV. ANÁLISIS DE UN PARQUE EÓLICO EN JUCHITÁN CON EL MODELO PROPUESTO

---

Se analizó un parque eólico que se planeaba construir en Juchitán cuya inversión inicial era de 14 mil 454 millones (En el año 2012) de pesos para instalar un total de 132 aerogeneradores de 3 Megawatts (MW) cada uno, que en total producirían 396 MW ocupando para ello un espacio de 5.332 hectáreas (ha). (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016) (Rojas, 2013), (Isaias, 2015), (Manzo D. , 2016), (Business News Americas, s.f.) y (Redacción/Sin Embargo, 2015)

Hasta octubre de 2016 la inversión ha aumentado a 15 mil millones de pesos aproximadamente debido a la manera en que los ejecutores del proyecto actuaron con los lugareños, causando una resistencia de ellos hacia él, lo que finalmente ocasionó su retraso y esto se ve reflejado en un aumento en los costos del proyecto. (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016)

Solo se conoce la inversión inicial y la capacidad que tendría el parque eólico, así que se utilizó la Tabla 9 para desglosar dicha inversión:

*Tabla 9 "Distribución de costos en parques eólicos"*

*Fuente: (International Renewable Energy Agency, 2013)*

<b>Concepto</b>	<b>Porcentaje del costo</b>
<b>Turbinas eólicas</b>	64 - 84
<b>Conexión a la red</b>	9 - 14
<b>Construcción</b>	4 - 10
<b>Otros costos</b>	4 - 10

Se tomó un valor medio para cada uno; es decir 7% de otros costos, 7% en costos de construcción, 12.5% para conexión a la red (todos valores medios de acuerdo con la Tabla 9) y el restante 73.5% para las turbinas eólicas.

También se necesitan otros datos como son el periodo de construcción y evaluación, costos fijos y variables de operación y mantenimiento, seguros, transmisión de energía y porcentajes aplicables en las obligaciones fiscales. Los valores tomados se muestran en la Tabla 10:

Tabla 10 "Valores supuestos para el modelo financiero" (Elaboración propia)

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>
<b>Periodo de construcción</b>	2 años
<b>Periodo de evaluación</b>	20 años
<b>Costos fijos y variables de operación y mantenimiento</b>	0.008 dólar/kwh*
<b>Costos de seguros</b>	1%
<b>Costo de transmisión de energía</b>	0.8 \$/kwh
<b>Tasa de PTU</b>	10%
<b>Tasa de ISR</b>	30%
<b>Factor de carga (valor medio)</b>	0.30*

\* Datos de CFE e IRENA.

(Comisión Federal de Electricidad, 2014) (International Renewable Energy Agency, 2013)

Se compararon datos de IRENA y CFE para determinar los costos de operación y mantenimiento; el primero menciona un costo de 0.01 para los costos fijos y variables en Estados Unidos, y el segundo menciona un costo de 8 dólares por Megawatt (MW); se utilizó el segundo valor por tratarse del costo que reportan para nuestro país, además de que ambos son muy similares. En el caso del factor de carga se optó tomar una media entre los valores que mencionan IRENA de 25% y CFE que va de 35-40%, resultando en un factor de carga de 32% para hacer más modesta la evaluación.

Se supuso que el costo del seguro anual es de 1% del correspondiente a "otros costos" que se fijó en la Tabla 9; es decir, si otros costos es un 7% de la inversión inicial, el seguro anual costará 1% de ese monto. El horizonte de evaluación proyectado será de 20 años de operación más dos años previos en que se lleva a cabo la construcción, invirtiendo un 40% de la inversión durante el primer año y el 60% restante durante el segundo año.

Se calculará la tasa de descuento con el modelo del WACC, utilizando el CAPM para determinar la tasa de rendimiento del capital propio; por lo que se necesita la tasa libre de riesgo ( $R_f$ ) que es tomada con el rendimiento promedio de los Certificados de la Tesorería (CETES), el rendimiento de mercado ( $R_M$ ) calculado a partir del promedio del rendimiento de la bolsa medido por el índice de precios y cotizaciones al cierre (IPC) quitando el efecto de la inflación, ambos promedios se realizaron para el periodo comprendido de diciembre de 2002 a 2012. (Banco de México, 2017) Finalmente, la Beta de mercado que se utiliza es la calculada por Aswath Damodaran para el sector de energía renovable, que es igual a 0.43. (Damodaran, 2017)

El porcentaje de deuda y de capital propio del proyecto, lo tomaremos como 50-50. La tasa de impuestos corresponde al 30% de acuerdo con el Artículo 9 de la Ley del Impuesto Sobre

la Renta (H. Congreso de la Unión, 2016), y la tasa de interés de la deuda será de 5% en términos nominales, debiendo quitar el efecto de la tasa de inflación (3.87% promedio de 2012, 2013 y 2014) sobre la misma. (Banco de México, 2017)

Con estas consideraciones se puede elaborar un modelo financiero del proyecto en Excel siguiendo la estructura del flujo de efectivo, vista en la sección II.1.2.5 como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11 "Flujos de efectivo durante el horizonte de evaluación" (Elaboración propia)

Concepto	Construcción		Operación				
	Año 1	Año 2	Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	...	Periodo 20
Uso de la Capacidad			32%	32%	32%	...	32%
Energía producida (kWh)			1102464000	1102464000	1102464000	...	1102464000
Precio de Venta (\$/KWh)			3.3369	3.3369	3.3369	...	3.3369
<b>INGRESOS POR VENTAS*</b>			\$3,678,790	\$3,678,790	\$3,678,790	...	\$3,678,790
Operación y mantenimiento*			\$114,656	\$114,656	\$114,656	...	\$114,656
Seguros*			\$10,118	\$10,118	\$10,118	...	\$10,118
Transmisión de energía*			\$881,971	\$881,971	\$881,971	...	\$881,971
Gastos de administración*			\$9,624	\$9,624	\$9,624	...	\$9,624
<b>Total Costos*</b>			\$1,016,369	\$1,016,369	\$1,016,369	...	\$1,016,369
<b>UTILIDAD DE OPERACIÓN*</b>			<b>\$2,662,420</b>	<b>\$2,662,420</b>	<b>\$2,662,420</b>	...	<b>\$2,662,420</b>
Depreciación de Maquinaria y equipo*			\$4,249,476			...	
Depreciación de Construcciones*			\$56,371	\$56,371	\$56,371	...	\$56,371
<b>Total Depreciación*</b>			\$4,305,847	\$56,371	\$56,371	...	\$56,371
<b>UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS*</b>			<b>-\$1,643,426</b>	<b>\$2,606,050</b>	<b>\$2,606,050</b>	...	<b>\$2,606,050</b>
ISR *				\$288,787	\$703,633	...	\$703,633
PTU*				\$260,605	\$260,605	...	\$260,605
<b>UTILIDAD DESP. DE IMPUESTOS*</b>			<b>-\$1,643,426</b>	<b>\$2,056,658</b>	<b>\$1,641,811</b>	...	<b>\$1,641,811</b>
Depreciación*			\$4,305,847	\$56,371	\$56,371	...	\$56,371
Inversiones *	\$5,781,600	\$8,672,400				...	
Cambios en Capital de trabajo*		-\$613,131				...	\$613,131
<b>Flujo de efectivo*</b>	<b>-\$5,781,600</b>	<b>-\$9,285,531</b>	<b>\$2,662,420</b>	<b>\$2,113,028</b>	<b>\$1,698,182</b>	...	<b>\$2,311,313</b>

\* Las cantidades fueron redondeadas a miles de pesos.

Los datos del periodo 3 se repiten hasta el periodo 19 y varían solo un poco en el periodo 20 debido al cambio en el capital de trabajo. El resumen de esta evaluación se muestra en la Tabla 12 .

Tabla 12 “Resumen del flujo de efectivo” (Elaboración propia)

<b>Concepto</b>	<b>Valor Acumulado</b>
<b>Energía producida (kWh)</b>	22,049,280,000
<b>Ingresos por ventas</b>	\$73,575,795,850.86
<b>Costos de Operación y mantenimiento fijo + variable</b>	\$2,293,125,120.00
<b>Seguros</b>	\$202,356,000.00
<b>Costos de transmisión de energía</b>	\$17,639,424,000.00
<b>Gastos de administración</b>	\$192,481,900.00
<b>Total en costos</b>	\$20,327,387,020.00
<b>UTILIDAD DE OPERACIÓN</b>	<b>\$53,248,408,830.86</b>
<b>Depreciación de Maquinaria y equipo</b>	\$4,249,476,000.00
<b>Depreciación de Construcciones</b>	\$1,127,412,000.00
<b>Acumulado en depreciación</b>	\$5,376,888,000.00
<b>UTILIDAD ANTES IMPUESTOS</b>	<b>\$47,871,520,830.86</b>
<b>ISR</b>	\$12,954,189,334.82
<b>PTU</b>	\$4,951,494,698.93
<b>UTILIDAD DESP. DE IMPUESTOS</b>	<b>\$29,965,836,797.10</b>
<b>Depreciación</b>	\$5,376,888,000.00
<b>Inversiones</b>	\$14,454,000,000.00
<b>Cambios en Capital de trabajo</b>	\$613,131,632.09

A continuación, se calculó el VPN para el proyecto apalancado en 50%, la TIR y la tasa de descuento con el modelo del WACC. Como ejercicio se calculó también el VPN para el proyecto en caso de que se realizara sin financiamiento; estos datos se muestran en la Tabla 13:

Tabla 13 “VPN, TIR y Tasa de descuento” (Elaboración propia)

<b>Instrumento</b>	<b>Valor</b>
<b>VPN – Apalancado 50%</b>	\$4,501,746,699
<b>TIR</b>	10.11%
<b>WACC</b>	5.08%
<b>VPN – Desapalancado</b>	\$668,997,257
<b>CAPM</b>	9.39%

Los dos métodos (VPN y TIR) indican que el proyecto es atractivo y por ende se recomienda invertir en el mismo, destacando que si el inversionista decide utilizar un apalancamiento del 50% el VPN es más de diez veces mayor que si decide no apalancarse.

Este modelo financiero realizado lo llamaremos escenario 1 (E1) y a partir de éste se desarrollaron dos escenarios más en los que se adicionó el Coeficiente Gamma a los modelos del CAPM y del WACC.

En el escenario 2 (E2) se simula un riesgo sociopolítico bajo, para esto se modificó cada una de las 7 variables a manera de simular un escenario muy favorable al proyecto; es decir, un escenario en el que:

- La población está completamente informada acerca del proyecto.
- Hay aceptación del proyecto por parte de la población.
- Hay aceptación del proyecto por la forma de gobierno del lugar.
- La población no requirió de asistir a asesoría legal para informarse acerca de las acciones a llevar a cabo para evitar el proyecto.
- Los encargados de llevar a cabo el proyecto no lo hicieron de manera violenta ni recurrieron a la criminalización de los pobladores.
- Existe un interés político para que se lleve a cabo el proyecto; y
- El sexenio está en el inicio, por lo que se aprueban los proyectos para acreditar el trabajo de los políticos.

Las condiciones anteriores dan como resultado un valor de gamma igual a 0.415 ( $\gamma = 0.415$ ) como se muestra en la Figura 46.

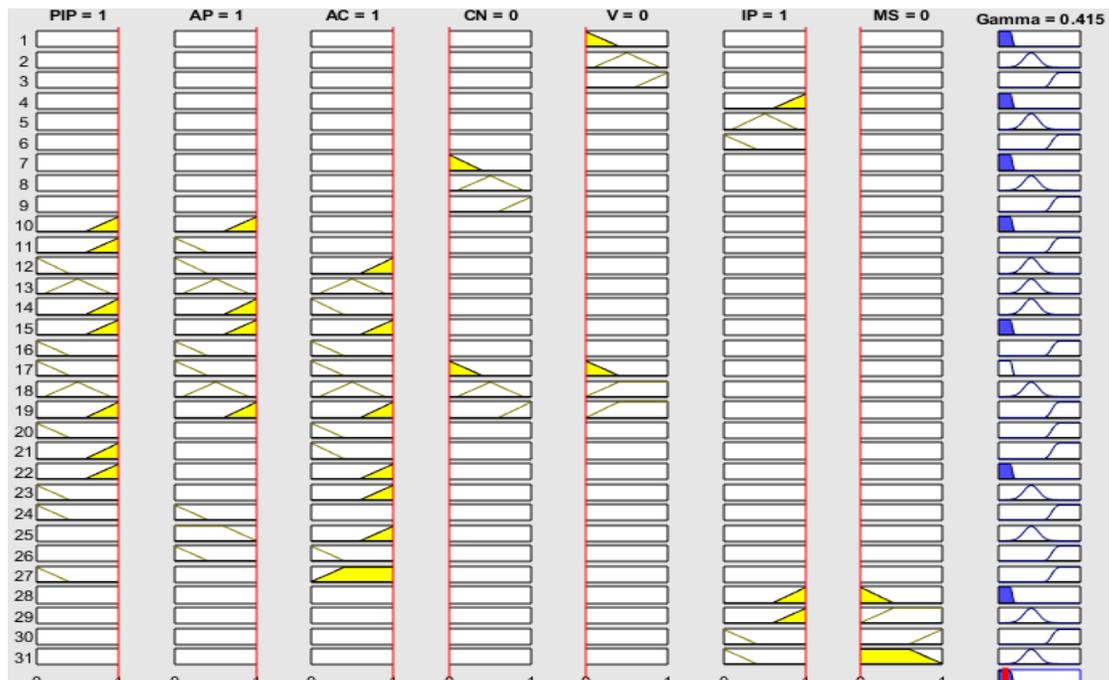


Figura 46 “Escenario 2: Riesgo sociopolítico bajo” (Elaboración propia)

En el escenario 3 (E3) se simuló un riesgo sociopolítico alto, esta vez cambiando las variables para simular un escenario lo más desfavorable posible para el proyecto; es decir, un escenario en el que:

- La población está completamente informada acerca del proyecto.
- No hay aceptación del proyecto por parte de la población.
- No hay aceptación del proyecto por la forma de gobierno del lugar.
- La población requirió de asistir a asesoría legal para informarse acerca de las acciones a llevar a cabo para evitar el proyecto.
- Los encargados de llevar a cabo el proyecto lo hicieron de manera violenta y/o recurrieron a la criminalización de los pobladores.
- No existe un interés político para que se lleve a cabo el proyecto; y
- El sexenio está a punto de terminar, por lo que se aprueban solo proyectos de ejecución rápida para seguir acreditando al gobierno que termina.

Las condiciones anteriores dan como resultado un valor de gamma igual a 4.13 ( $\gamma = 4.13$ ) como se muestra en la Figura 47.

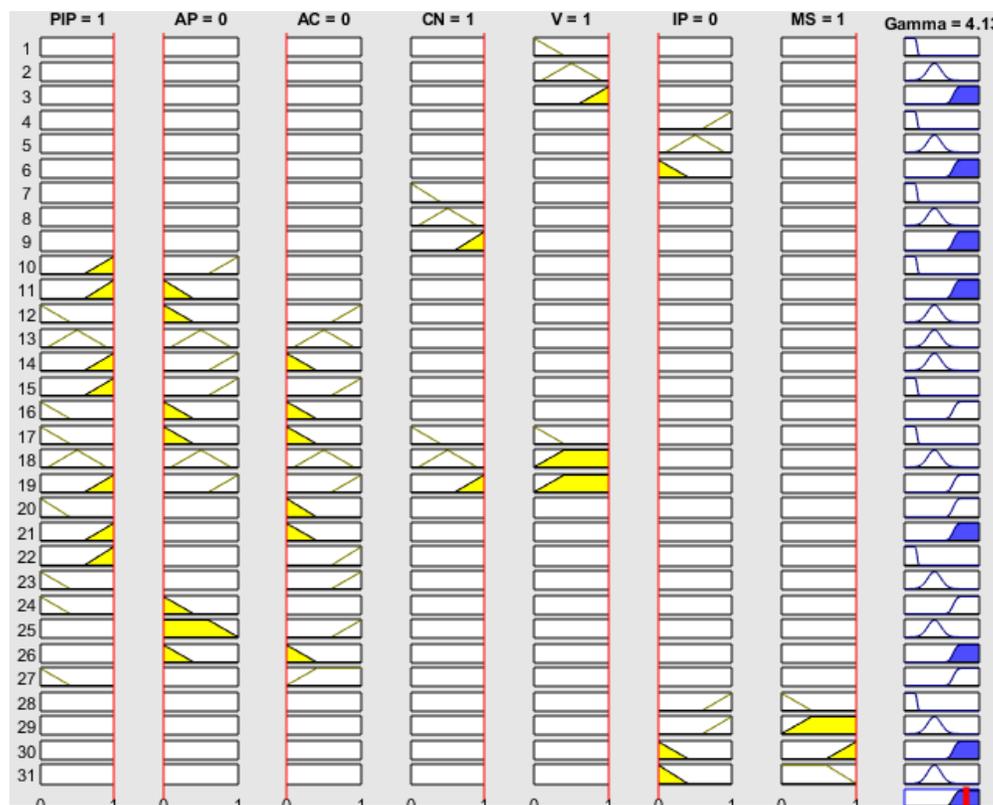


Figura 47 “Escenario 3: Riesgo sociopolítico alto” (Elaboración propia)

Los valores del coeficiente gamma obtenidos en estos dos escenarios fueron utilizados en el libro de Excel previamente creado para realizar el análisis financiero del escenario 1 (E1) y entonces modificar el CAPM y WACC, resultando en la Ecuación 1 y Ecuación 3 vistas en la sección III.2 como se muestra en la Figura 48.

Escenario		Hipótesis CAPM								
Modelo	=	(R <sub>f</sub> )	+	[b	x	(R <sub>m</sub> -R <sub>f</sub> )	+	Gamma		
E2	=	1.95%	+	0.43	x	17.31%	+	0.41%		
E3	=	1.95%	+	0.43	x	17.31%	+	4.13%		
CAPM + γ E2		=	9.80%							
CAPM + γ E3		=	13.52%							
Escenario		Hipótesis WACC								
Modelo	=	[(R <sub>s</sub> +γ)	*	E/(E+D)]	+	[(R <sub>d</sub> +γ)	*	D/(E+D)	*	(1-T)]
E2	=	9.80%	*	25%	+	1.50%	*	75%	*	70%
E3	=	13.52%	*	25%	+	5.22%	*	75%	*	70%
WACC + γ E2		=	3.24%							
WACC + γ E3		=	6.12%							

Figura 48 “Modelos CAPM y WACC con riesgo sociopolítico en Excel” (Elaboración propia)

El resultado de estos cambios reflejado en el VPN, el WACC y el CAPM se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14 “Resultados de los Escenarios E2 y E3” (Elaboración propia)

Instrumento	Valor E2	Valor E3
VPN – Apalancado 50%	\$4,010,662,058	\$489,408,049
TIR	10.11%	10.11%
WACC	5.43%	8.59%
VPN – Desapalancado	\$279,176,639	-\$2,378,525,458
CAPM	9.80	13.52

En el escenario E2 se obtiene un VPN > 0, una TIR > WACC y también TIR > CAPM, indicando que es recomendable invertir en la realización del proyecto, sea éste apalancado o no, lo que significa que cuando el riesgo sociopolítico es bajo el proyecto es atractivo para el inversionista.

Sin embargo, cuando el riesgo sociopolítico es alto, es decir; en el escenario E3, se obtiene un VPN > 0 y TIR > WACC, lo que significa que el proyecto aún es rentable pero puede valer menos de la mitad de lo esperado que cuando el riesgo sociopolítico es bajo mientras sea apalancado; pero este mismo escenario de riesgo para un proyecto desapalancado brinda un VPN < 0 y una TIR < CAPM, lo que indica que puede ser una inversión de alto riesgo y representar enormes pérdidas para el inversionista; es decir, que no es recomendable invertir en el mismo.

Finalmente se realizó el análisis de sensibilidad sobre dos variables cuantitativas del proyecto apalancado, que fueron:

- I. Precio de venta de la energía eléctrica
- II. Inversión inicial

Para determinar hasta dónde es capaz el proyecto de soportar una disminución en el precio de venta y hasta dónde es posible aumentar la inversión inicial.

El análisis de sensibilidad ante el cambio en el precio de venta de la energía eléctrica se muestra en la Tabla 15, cuyos datos están en miles de pesos.

Tabla 15 "Sensibilidad del VPN ante el cambio en el precio de venta de energía" (Elaboración propia)

Variaciones	Tarifa ponderada	VPN apalancado E1	VPN apalancado E2	VPN apalancado E3	TIR
0%	3.3369	\$4,501,746	\$4,010,662	\$489,408,049	10.11%
-2%	3.2702	\$4,039,058	\$3,562,934	\$151,364,371	9.75%
-4%	3.2034	\$3,575,535	\$3,114,398	-\$187,288,952	9.38%
-6%	3.1367	\$3,112,705	\$2,666,534	-\$525,435,310	9.00%
-8%	3.0699	\$2,649,182	\$2,217,998		8.62%
-10%	3.0032	\$2,186,353	\$1,770,134		8.24%
-12%	2.9365	\$1,723,524	\$1,322,270		7.85%
-14%	2.8697	\$1,259,199	\$872,892		7.45%
-16%	2.8030	\$794,621	\$423,189		7.04%
-18%	2.7363	\$330,044	-\$26,512		6.63%
-20%	2.6695	-\$135,229	-\$476,888		6.20%
-22%	2.6028	-\$599,807			5.78%

En el análisis de sensibilidad ante el cambio en el precio de venta de la energía se ve que los escenarios E2 y E3 son más sensibles que E1; sobre todo el escenario E3 que deja de ser rentable ante una variación aproximada del 3% a la baja en el precio de venta de la energía, como lo muestra la Figura 49.

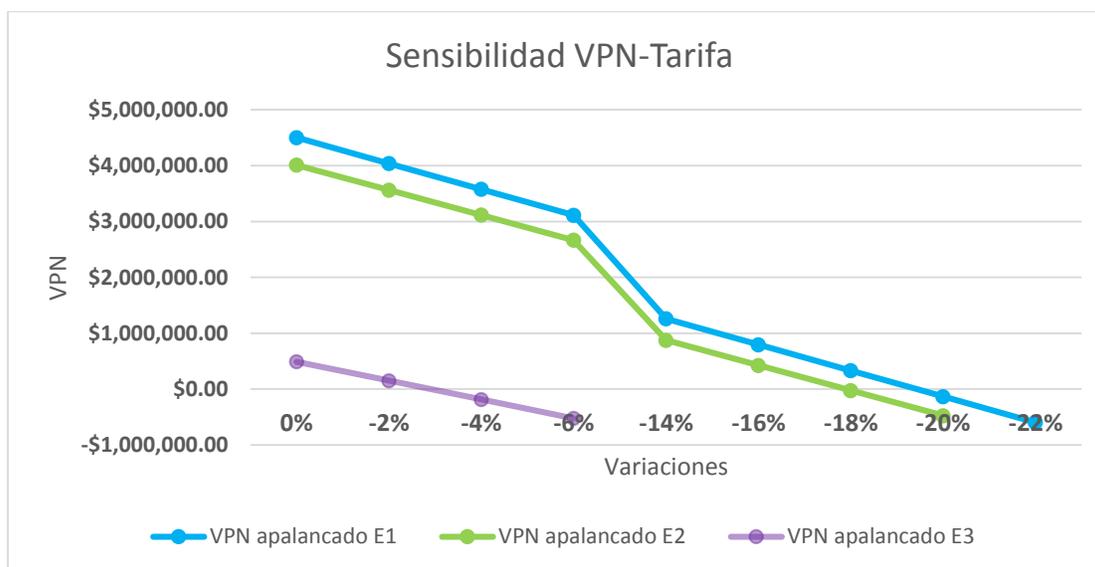


Figura 49 "Sensibilidad VPN-Tarifa" (Elaboración propia)

El análisis de sensibilidad ante el cambio en la inversión inicial se muestra en la Tabla 17; también con montos en miles de pesos.

Tabla 16 "Sensibilidad del VPN ante el cambio en la inversión inicial" (Elaboración propia)

Variaciones	Monto total de inversiones	VPN apalancado E1	VPN apalancado E2	VPN apalancado E3	TIR
0%	\$14,454,000	\$4,501,746	\$4,010,662	\$489,408	10.11%
2%	\$14,743,080	\$4,258,397	\$3,768,348	\$256,248	9.86%
4%	\$15,032,160	\$4,015,048	\$3,526,035	\$23,088	9.61%
6%	\$15,321,240	\$3,771,699	\$3,283,722	-\$210,070	9.37%
8%	\$15,610,320	\$3,528,350	\$3,041,409	-\$443,230	9.13%
28%	\$18,501,120	\$1,091,715	\$614,973		7.09%
30%	\$18,790,200	\$847,324	\$371,564		6.91%
32%	\$19,079,280	\$602,933	\$128,156		6.73%
34%	\$19,368,360	\$358,541	-\$115,252		6.56%
36%	\$19,657,440	\$114,150	-\$358,660		6.39%
38%	\$19,946,520	-\$130,240			6.23%
40%	\$20,235,600	-\$374,631			6.07%

En el análisis de sensibilidad ante el cambio en la inversión inicial se ve que los escenarios E2 y E3 también son más sensibles que E1; sobre todo el escenario E3 que deja de ser rentable ante una variación aproximada del 4% en el alza de la inversión inicial, como lo muestra la Figura 50.

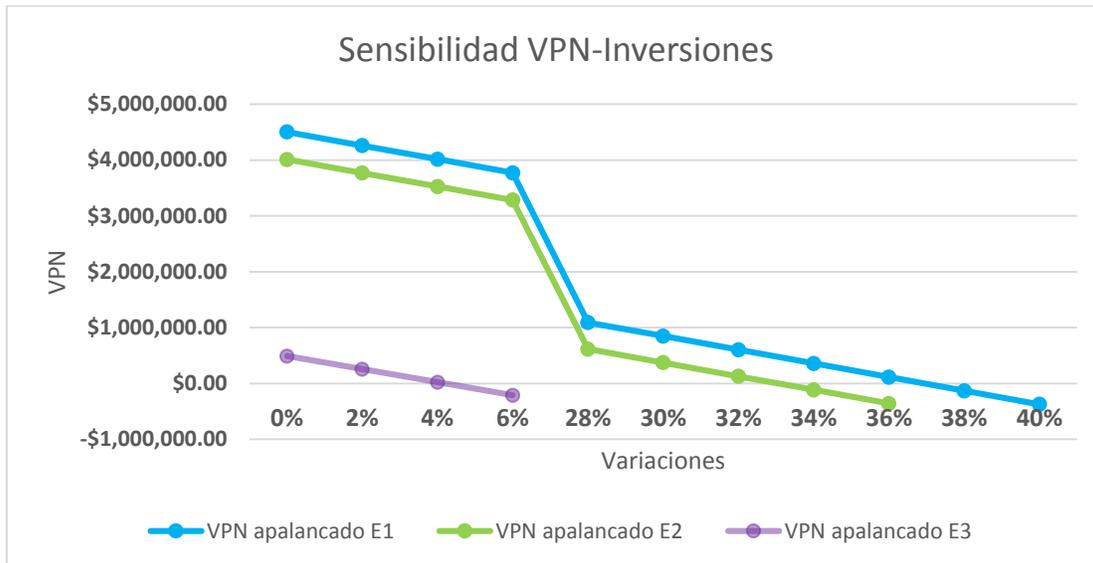


Figura 50 "Sensibilidad VPN-Inversiones" (Elaboración propia)

Ahora, integrando el concepto de resiliencia para el análisis de sensibilidad ante el cambio en la tarifa utilizando la Ecuación 4 definida en la sección III.3 se obtiene la Tabla 17.

Tabla 17 "Resiliencia del VPN ante el cambio en el precio de venta de la energía" (Elaboración propia)

Deformación	Tarifa ponderada	Resiliencia E1	Resiliencia E2	Resiliencia E3
0%	3.3369	0	0	0
-2%	3.2702	0.103	0.209	0.966
-4%	3.2034	0.206	0.308	0.958
-6%	3.1367	0.309	0.408	0.883
-14%	2.8697	0.720	0.806	
-16%	2.8030	0.823	0.906	
-18%	2.7363	0.927	0.994	
-20%	2.6695	0.970	0.894	
-22%	2.6028	0.867		

La Figura 51 muestra la curva de resiliencia ante el cambio en el precio de venta de la energía de los escenarios E1, E2 y E3, donde se muestra que el escenario E3 es menos resiliente que los otros dos; es decir, el proyecto deja de ser rentable al alcanzar un esfuerzo de su VPN igual a 1 ante un menor cambio en el precio de venta de la energía (2-3%) comparado con los otros escenarios.

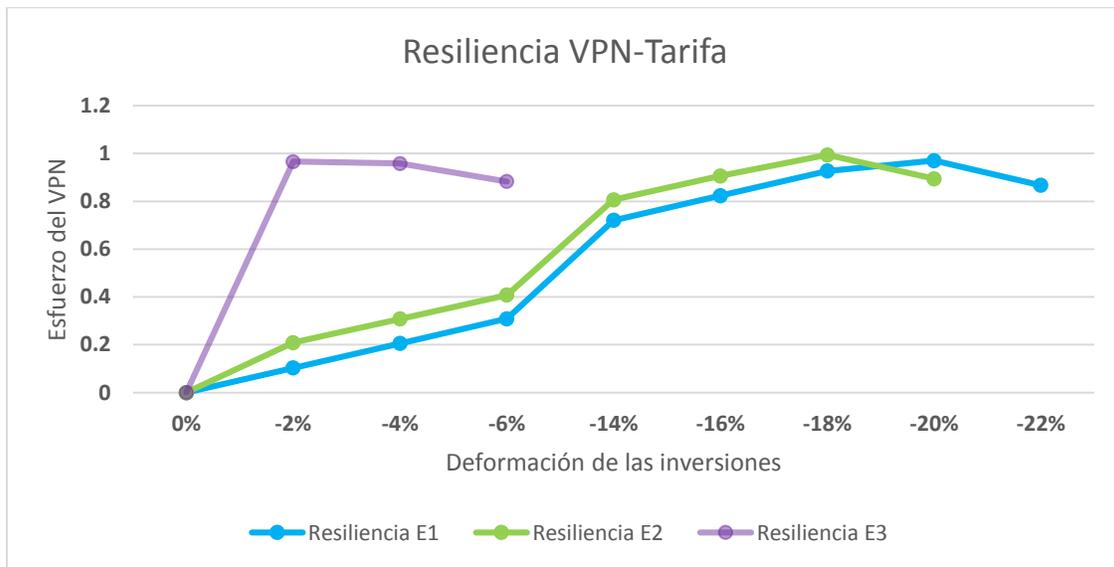


Figura 51 "Resiliencia ante el cambio en el precio de venta de la energía" (Elaboración propia)

Para el análisis de sensibilidad ante el cambio la inversión inicial, la resiliencia se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18 "Resiliencia de VPN ante el cambio en la inversión inicial" (Elaboración propia)

Deformación	Monto total de inversiones	Resiliencia E1	Resiliencia E2	Resiliencia E3
0%	\$14,454,000,000	0	0	0
2%	\$14,743,080,000	0.054	0.163	0.943
4%	\$15,032,160,000	0.108	0.217	0.995
6%	\$15,321,240,000	0.162	0.271	0.953
28%	\$18,501,120,000	0.757	0.863	
30%	\$18,790,200,000	0.812	0.917	
32%	\$19,079,280,000	0.866	0.972	
34%	\$19,368,360,000	0.920	0.974	
36%	\$19,657,440,000	0.975	0.920	
38%	\$19,946,520,000	0.971		
40%	\$20,235,600,000	0.917		

El proyecto del escenario 1 aparentemente es el menos sensible ante los cambios que en los escenarios 2 y 3; y esto se debe a que al adicionar los riesgos sociopolíticos en un modelo que antes no los consideraba naturalmente se requerirá que el proyecto tenga mayores rendimientos para ser igual de atractivo; es decir, un proyecto con los mismos rendimientos, pero tasa más alta se vuelve menos atractivo.

La Figura 52 muestra la curva de resiliencia ante el cambio en la inversión del proyecto para los escenarios E1, E2 y E3 donde se observa que el escenario E3 nuevamente vuelve a ser menos resiliente que los otros dos.

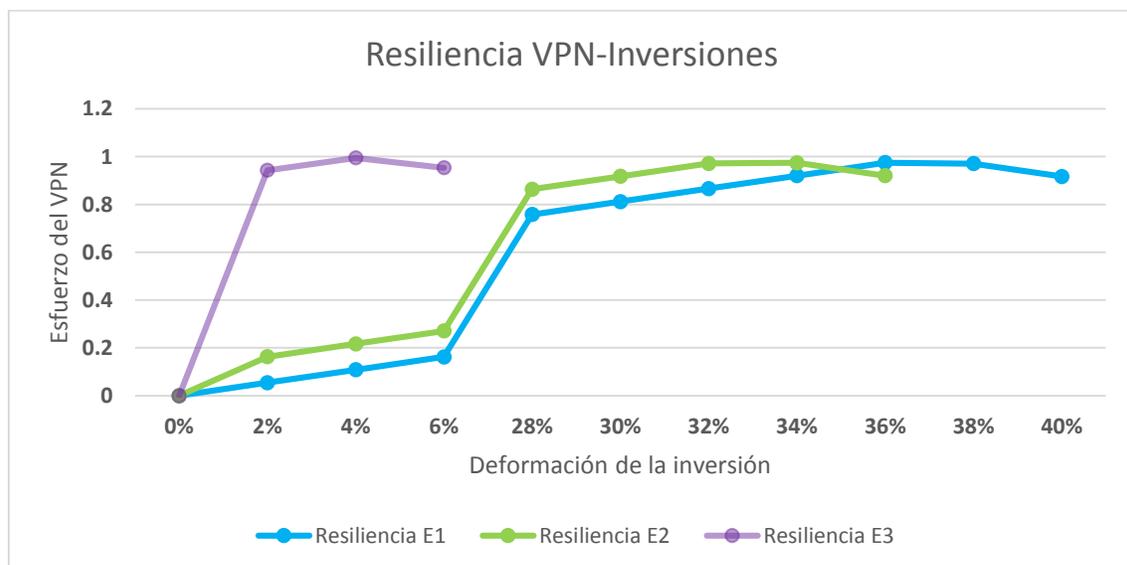


Figura 52 "Resiliencia ante el cambio en las inversiones del proyecto" (Elaboración propia)

Ambas figuras de resiliencia son muy similares a las vistas en la sección II.3.1 y también se pueden explicar análogamente a la curva esfuerzo-deformación; se retoma la curva “Resiliencia E2” de la Figura 52 para ello.

En la zona 0-2% de deformación se tiene una línea recta, que representa la zona elástica del proyecto; es decir, que ya comenzó a disminuir al VPN del mismo pero aún es rentable, de 4-28% es la zona plástica en donde muy difícilmente el proyecto se pueda rescatar y vuelva a ser rentable; el 32% representa el esfuerzo de ruptura del proyecto, es el punto más alto de la curva y significa que en ese momento el VPN es igual a cero y no se están generando pérdidas ni ganancias; pasando este punto el proyecto empieza a generar pérdidas, cayendo la resiliencia en las deformaciones de 34 y 36% ; es decir que a partir de una deformación del 32% en la inversión se obtiene un VPN con valor negativo y la pérdida se vuelve cada vez mayor al seguir aumentando la deformación en la inversión, de manera que no tiene sentido continuar graficando dado que el proyecto no se recuperará.

---

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

La evaluación de proyectos es una herramienta muy importante para decidir si un proyecto es o no viable desde la perspectiva financiera, ayudando a tomar la decisión sobre invertir o no.

Durante esta investigación, el enfoque se orientó hacia los proyectos energéticos debido a la importancia que tienen para México y también a nivel mundial. Al profundizar en la investigación se encontró que la información cualitativa de índole sociopolítica repercute de manera importante en los proyectos energéticos hasta el grado de volverlos nada atractivos para los inversionistas o peor aún, en alguna etapa de la ejecución provocaron que el proyecto dejase de ser rentable.

Para cuantificar cómo repercute esa información cualitativa en los proyectos energéticos se creó un sistema de control difuso que nos brindó un resultado cuantitativo a partir de información cualitativa.

La combinación de las metodologías de evaluación de proyectos y lógica difusa fue fundamental, debido a que dentro de la evaluación de proyectos energéticos existe mucha información de índole cualitativa y la lógica difusa permite utilizarla de manera sencilla y con buenos resultados. Evitamos que la metodología se volviera demasiado complicada para que pueda utilizarse en cualquier proyecto energético, optando por seguir el ejemplo del VPN y la TIR, que son indicadores hechos para ayudar a determinar si debe realizarse una inversión.

El sistema funciona a partir de las mediciones que se tengan de algunos factores sociopolíticos para poder brindar una tasa de riesgo sociopolítico particular para cada proyecto. Finalmente se puede usar ese valor dentro del modelo financiero, sin importar si es un proyectos de inversión pública o privada.

Para obtener esta tasa de riesgo sociopolítica llamada coeficiente gamma, se utilizaron las siguientes variables:

1. Población informada sobre el proyecto
2. Aceptación pública del proyecto
3. Autorización comunal del proyecto
4. Conocimiento normativo de la población contra el proyecto
5. Violencia/Criminalización
6. Intereses políticos
7. Momento en el sexenio

Con las que se crearon 31 reglas difusas a partir de los resultados de la investigación y el conocimiento adquirido con ella durante el tiempo disponible. Luego de crear las reglas se analizó un caso de estudio y simular un escenario con riesgo sociopolítico bajo más otro con un alto riesgo para después hacer la comparación de los resultados obtenidos en tres escenarios:

1. Sin utilizar el sistema difuso
2. Utilizando el sistema difuso y simulando un riesgo sociopolítico bajo
3. Utilizando el sistema difuso y simulando un riesgo sociopolítico alto

El concepto de resiliencia fue adaptado al tema realizando algunas analogías entre su uso para la mecánica de materiales y nuestro uso dentro del análisis de sensibilidad financiero.

Como resultado de la comparación se pudo ver que al dimensionar un riesgo sociopolítico bajo ( $\gamma=0.415$ ) el VPN en el modelo financiero cambia de 4,501 a 4,010 millones de pesos, pero si se dimensiona un riesgo alto, ( $\gamma=4.13$ ) el cambio es de 4,501 a 489 millones de pesos; lo que convierte al proyecto en una inversión con alto riesgo, elevando las posibilidades de resultar no viable. (Tabla 19)

Tabla 19 “Resultados financieros” (Elaboración propia)

Instrumento	Valor E1	Valor E2	Valor E3
VPN – Apalancado 50%	\$4,501,746,699	\$4,010,662,058	\$489,408,049
TIR	10.11%	10.11%	10.11%
WACC	5.08%	5.43%	8.59%
VPN – Desapalancado	\$668,997,257	\$279,176,639	-\$2,378,525,458
CAPM	9.39%	9.80	13.52
$\gamma$	No se utilizó	0.415	4.13

También se observa el cambio en la sensibilidad y resiliencia del proyecto energético ya que al no considerar los riesgos sociopolíticos parece ser más resiliente ante el cambio en la tarifa (soporta cerca de 8% de variación) que cuando al evaluarse el mismo proyecto si se consideran estos riesgos (soportando solo una variación del 5%).

**Lo cual significa que al utilizar el sistema difuso para considerar los riesgos sociopolíticos la evaluación se vuelve más previsor, pudiendo ayudar a evitar pérdidas monetarias y actuar a tiempo en caso de que ocurra algún suceso que pueda afectar la rentabilidad del proyecto.**

Las herramientas de este tipo son necesarias para la cuantificación de riesgos sociopolíticos y sus consecuencias financieras en los proyectos energéticos ya que como en este caso se pudo prever que el proyecto sería casi 500 millones de pesos menos rentable.

Se recomienda continuar con la línea de investigación, ya que se ha encontrado suficiente trabajo a futuro, como cambiar el peso de cada una de las variables, agregar más variables y estudiar sus relaciones, considerar los diferentes niveles de importancia que puedan tener. Sobre todo, eliminar la limitación actual del sistema al depender de los conocimientos del entorno que tenga el evaluador de riesgos en todo momento, haciéndolo capaz de aprender por sí mismo

---

## VI. REFERENCIAS

---

(s.f.).

Aguirre, J. (2014). *Fundamentos para la formulación y evaluación de proyectos*. México: Grupo Vanchri.

Alexander, D. E. (27 de Julio de 2013). Resilience and disaster risk reduction: an etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 13-2707-2013*, 1-10.

Baca Urbina, G. (2010). *Evaluación de proyectos*. México: McGraw Hill.

Banco de México. (7 de Abril de 2017). *Indicadores Diarios de la Bolsa Mexicana de Valores*. Recuperado el 9 de Abril de 2017, de Sistema de Información Energética: <http://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?accion=consultarCuadro&idCuadro=CF103>

Banco de México. (Marzo de 2017). *Inflación*. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de Banxico: <http://www.banxico.org.mx/portal-inflacion/inflacion.html>

Banco de México. (Marzo de 2017). *Mercado de Valores*. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de Banxico: <http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-valores/>

Banco Interamericano de Desarrollo. (31 de Octubre de 2016). *ME-L1107: Energía Eólica del Sur (EES)*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de Banco Interamericano de Desarrollo: <http://www.iadb.org/es/proyectos/project-information-page,1303.html?id=ME-L1107>

Banco Interamericano de Desarrollo. (31 de Marzo de 2017). *ME-L1107 : Energia Eolica del Sur (EES)*. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de BID: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=36416890>

Becker, P. (2014). *Sustainability science*. Oxford, UK: Elsevier.

Business News Americas. (s.f.). *Energía Eólica del Sur S.A.P.I. de C.V.* Obtenido de BNamericas: <http://www.bnamericas.com/company-profile/es/energia-eolica-del-sur-sapi-de-cv-energia-eolica-del-sur>

Castillo Jara, E. (1 de Junio de 2013). *Conflicto social y energía eólica*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2016, de Mexico Social: <http://mexicosocial.org/index.php/secciones/especial/item/278-conflicto-social-y-energia-eolica.html>

CEPEP. (31 de Marzo de 2015). *Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: Análisis costo-*

*beneficio*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de cepep:  
[http://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Guia\\_General\\_FINAL.pdf](http://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/documentos/Guia_General_FINAL.pdf)

- Clarke, D. (2013). *Resiliencia: Guía práctica para reemprender el vuelo en las organizaciones*. España: FC Editorial.
- Comisión Federal de Electricidad. (2014). *COPAR*. Subdirección de Programación. México, DF.: CFE.
- Córdoba, M. (2015). *Formulación y evaluación de proyectos*. Bogotá, Colombia: ECOE Ediciones.
- Damodaran, A. (Enero de 2017). *Betas by sector*. Recuperado el 11 de Abril de 2017, de Damodaran online: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- Devore, J. (2008). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. México: Cengage Learning.
- Díaz Álvarez, R. C. (3 de Noviembre de 2011). *Experiencia operativa de un parque eólico en México*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2016, de Asociación Mexicana de Energía Eólica: [http://www.amdee.org/Eventos/Simposio\\_CFE\\_3-11-2011/Conferencia7.pdf](http://www.amdee.org/Eventos/Simposio_CFE_3-11-2011/Conferencia7.pdf)
- Fontaine, E. R. (2008). *Evaluación Social de Proyectos*. Naucalpan de Juárez, Estado de México, México: Pearson Educación.
- Fuentes Zenón, A. (1995). *Un sistema de metodologías de planeación*. México: Departamento de sistemas: Facultad de Ingeniería UNAM.
- Gobierno de la república. (2013). *Reforma energética: resumen ejecutivo*. México: SEGOB.
- H. Congreso de la Unión. (11 de Agosto de 2014). *Ley de la Industria Eléctrica*. Recuperado el 10 de Marzo de 2016, de Diario Oficial de la Federación: [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5355986&fecha=11/08/2014)
- H. Congreso de la Unión. (24 de Diciembre de 2015). *Ley de Transición Energética*. Recuperado el 11 de Marzo de 2016, de Diario Oficial de la Federación: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421295&fecha=24/12/2015)
- H. Congreso de la Unión. (26 de Octubre de 2016). *Ley del Impuesto Sobre la Renta*. Recuperado el 30 de Abril de 2017, de Diputados.gob.mx: [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR\\_301116.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR_301116.pdf)
- Hernández R., F. C. (2014). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

- Hibbeler, R. (2011). *Mecánica de materiales* (Octava edición ed.). Naucalpan de Juárez, Estado de México, México: Pearson Educación.
- Hillier, F., & Hillier, M. (2008). *Métodos cuantitativos para administración*. México: McGraw Hill.
- International Renewable Energy Agency. (2013). *Renewable Power Generation Costs in 2012: An Overview*. Alemania: IRENA. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de [http://costing.irena.org/media/2769/Overview\\_Renewable-Power-Generation-Costs-in-2012.pdf](http://costing.irena.org/media/2769/Overview_Renewable-Power-Generation-Costs-in-2012.pdf)
- Isaias. (18 de Diciembre de 2015). Diario Marca la Historia de Oaxaca. *Suspenden proyecto de construcción de parque eólico en la región del Istmo*. Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México. Recuperado el 5 de Noviembre de 2016, de <http://www.diariomarca.com.mx/2015/12/suspenden-proyecto-de-construccion-de-parque-eolico-en-la-region-del-istmo/>
- Klir, G. J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*. Upper Saddle River, New Jersey, USA: Prentice Hall.
- KPMG. (Marzo de 2004). The Weighted Average Cost of Capital for Gas Distribution. Perth, WA, Australia. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de <https://www.erawa.com.au/cproot/3470/2/AAI%20Schedule%201%20-%20Final%20Report%20-%20KPMG.pdf>
- Lee, S. (s.f.). Weighted Average Cost of Capital. Hong Kong, Wanchai, China. Recuperado el 10 de Abril de 2017, de <http://www.hkiaat.org/images/uploads/articles/Weighted.pdf>
- Manzo, C. (28 de Septiembre de 2015). *Eólicas oaxaqueñas: ecocidio y conflicto socioambiental*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016, de La Jornada: <http://www.jornada.unam.mx/2015/09/28/eco-f.html>
- Manzo, D. (27 de Abril de 2016). La Jornada. *Retiran financiamiento a parque eólico en Juchitán*. Juchitán, Oaxaca, México. Recuperado el 5 de Noviembre de 2016, de <http://www.jornada.unam.mx/2016/04/27/estados/030n1est>
- Mathworks. (9 de Marzo de 2017). *Comparison of Sugeno and Mamdani Systems*. Recuperado el 18 de Marzo de 2017, de Mathworks Documentation: <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/comparison-of-sugeno-and-mamdani-systems.html>
- Meixueiro, J., & Pérez, M. (2015). *Guía general para la presentación de estudios de evaluación socioeconómica de programas y proyectos de inversión: Análisis costo-beneficio*. México: Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos.

- Minería Chilena. (2 de Enero de 2015). *Países que han ratificado Convenio 169 enfrentan problemas con proyectos de inversión*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2016, de Minería Chilena Información Confiable y Oportuna:  
<http://www.mch.cl/2015/01/02/paises-que-han-ratificado-c169-enfrentan-problemas-con-proyectos-de-inversion/>
- Miranda, J. (2012). *Gestión de proyectos: identificación, formulación, evaluación financiera y económica, social y ambiental*. Bogotá, Colombia: MM Editores.
- Naciones Unidas. (12 de Diciembre de 2015). *Aprobación de un protocolo, otro instrumento jurídico o una conclusión acordada con fuerza legal en el marco de la Convención que sea aplicable a todas las Partes*. Recuperado el 6 de Marzo de 2016, de UN Climate Change Newsroom:  
<http://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf>
- Nguyen, H., & Walker, E. (2006). *A first course in fuzzy logic*. Boca Raton, FL, USA: Chapman & Hall.
- Organización Internacional del Trabajo. (1989). *Convenio 169 sobre pueblos indígenas y tribales en países independientes*. México: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Peña Nieto, E. (20 de Diciembre de 2013). *Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en Materia de Energía*. Recuperado el 4 de Marzo de 2016, de Diario Oficial de la Federación:  
[http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5327463&fecha=20/12/2013](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5327463&fecha=20/12/2013)
- Poux, M., Cognet, P., & Gourdon, C. (2015). *Green Process Engineering: From concepts to industrial applications*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.
- Redacción/Sin Embargo. (16 de Diciembre de 2015). Juez ordena suspender parque eólico en Juchitán, Oaxaca; es un logro de pueblos indígenas: ONGs. Ciudad de México, Ciudad de México, México. Recuperado el 11 de Noviembre de 2016, de  
<http://www.sinembargo.mx/16-12-2015/1578990>
- Rojas, R. (18 de Febrero de 2013). No instalará Mareña Renovables parque eólico en Dionisio del Mar. *La Jornada*. San Dionisio del Mar, Oaxaca, México. Recuperado el 5 de Noviembre de 2016, de  
<http://www.jornada.unam.mx/2013/02/18/sociedad/039n1soc>
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. F. (2012). *Finanzas Corporativas* (Novena ed.). México, DF, México: Mc Graw Hill.

- SEMARNAT. (Noviembre de 2012). *Bases para una estrategia de desarrollo bajo en emisiones en México*. México: Gobierno Federal. Obtenido de Gobierno Federal: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/113423/2012\\_Bases\\_para\\_una\\_estrategiaBcarbono.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/113423/2012_Bases_para_una_estrategiaBcarbono.pdf)
- SENER. (30 de Diciembre de 2016). *Prospectiva del sector eléctrico 2016-2030*. Obtenido de Gobierno de la República: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177626/Prospectiva\\_del\\_Sector\\_Electrico\\_2016-2030.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177626/Prospectiva_del_Sector_Electrico_2016-2030.pdf)
- SHCP. (13 de Enero de 2014). *Oficio Tasa Social de Descuento*. Recuperado el 22 de Octubre de 2016, de SHCP: [http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/23409/oficio\\_tasa\\_social\\_de\\_descuento.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/23409/oficio_tasa_social_de_descuento.pdf)
- Sistema de Información Energética. (31 de Julio de 2015). *Balance Nacional de Energía: Indicadores económicos y energéticos*. (SENER, Editor) Recuperado el 16 de Agosto de 2016, de SIE: <http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&subAction=applyOptions>
- Trillas, E., & Eciolaza, L. (2015). *Fuzzy logic, studies in fuzziness and soft computing, an introductory course for engineering students* (Vol. 320). Ginebra, Suiza: Springer.
- Walpole, R., Myers, R., & Myers S. (1999). *Probabilidad y estadística para ingenieros*. México: Prentice Hall.