



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS - PLANEACIÓN

CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS PARA LA PLANEACIÓN ENERGÉTICA:  
UN ENFOQUE DE SISTEMAS

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. ROSALBA SOLÍS SORIANO

TUTOR PRINCIPAL  
DR. SUÁREZ ROCHA JAVIER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNAM

Ciudad Universitaria CD. MX, octubre 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR. JOSÉ ANTONIO RIVERA COLMENERO

Secretario: M.I. ARTURO FUENTES ZENÓN

1<sup>er</sup>. Vocal: DR. JAVIER SUÁREZ ROCHA

2<sup>do</sup>. Vocal: DR. RICARDO TORRES MENDOZA

3<sup>er</sup>. Vocal: DR. OLIVERIO CRUZ MEJÍA

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería.

**TUTOR DE TESIS:**

DR. JAVIER SUÁREZ ROCHA

---

**FIRMA**

Todos necesitamos alguien que nos cubra  
A veces un aplauso, a veces un juez  
Todos necesitamos luz en la penumbra  
Y un villano honrado en quien creer

# Per aspera ad astra

*Para María Cruz Rodríguez C.  
Fue un placer coincidir en esta vida.  
Te voy a extrañar De aquí al último día.*

A los Solís Rodríguez por creer en mí, aunque nunca dicen nada, hacen mucho.  
A Rosalba Soriano, gracias guardián espacial.  
A Domee por su ayuda (coautoría) para armar y hacer entendible lo que pasaba por mi cabeza.  
Margaret, gracias por ayudarme a traducir mis enredos al hablar y escribir.

No one can say what happens between the person you were and the person you become.  
No one can map that lonely blue section of hell.  
There are no maps of change.  
You come out the other side.  
Or you don't

... te conviertes en bruja  
cuando las circunstancias  
te obligan a hacer magia

“I must not fear.  
Fear is the mind-killer.  
Fear is the little-death that brings total obliteration.  
I will face my fear.  
I will permit it to pass over me and through me.  
And when it has gone past I will turn the inner eye  
to see its path.  
Where the fear has gone there will be nothing.  
Only I will remain.”

Por lo que un día fue  
y no volverá a ser.

Te perdono.  
Me costó años y lágrimas entenderte.  
Ojalá encuentres paz, ojalá estes bien.

RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	6
INTRODUCCIÓN .....	7

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....9

1.1 FORMULACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA. ....	11
1.1.1 EL TRILEMA ENERGÉTICO.....	12
1.1.2 PROYECCIONES INTERNACIONALES.....	18
1.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA POR RESOLVER. ....	21
1.2.1 DIAGNÓSTICO DE LA WEC.....	22
1.2.2 ESCALA ECONÓMICA. ....	29
1.2.3 LEGISLACIÓN SOBRE MITIGACIÓN CLIMÁTICA EN MÉXICO: PUNTOS CLAVE. ....	29
1.3 LA PROPUESTA DE SOLUCIÓN. ....	32
1.4 SUPUESTOS. ....	32
1.5 OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS. ....	32
1.5.1 OBJETIVO GENERAL. ....	32
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS. ....	33
1.6 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO. ....	33
1.7 REFERENCIAS. ....	34

## MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO.....35

2.1 ENFOQUE DE SISTEMAS. ....	35
2.1.1 PENSAMIENTO DE SISTEMAS DUROS Y SUAVES. ....	40
2.1.2 SISTEMAS DUROS.....	40
2.1.3 SISTEMAS SUAVES. ....	41
2.2 PLANEACIÓN COMO UN PROCESO BÁSICO DE CONDUCCIÓN.....	48
2.2.1 LA ETAPA DE DIAGNÓSTICO.....	49
2.3 EL CONCEPTO DE ESCENARIO Y SU CONSTRUCCIÓN. ....	50
2.3.1 MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS.....	53
2.3.2 METODOLOGÍAS DE CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS. ....	59
2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	64
2.5 REFERENCIAS.....	65

## ESCENARIO DE INCORPORACIÓN DE ENERGÍAS LIMPIAS (ESCENARIOS EN MÉXICO). 68

3.1 SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL. ....	68
3.1.1 GENERACIÓN ELÉCTRICA EN MÉXICO. ....	71
3.1.2 CAPACIDAD INSTALADA. ....	75
3.1.3 REGIONES DEL SISTEMA ELÉCTRICO NACIONAL.....	76
3.1.4 REGIONES DE TRANSMISIÓN. ....	77
3.1.5 PROBLEMÁTICAS INHERENTES A LA GENERACIÓN ELÉCTRICA. ....	78
3.1.6 PROBLEMÁTICAS INHERENTES A LA PLANEACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	81
3.2 CONSTRUCCIÓN DE ESCENARIOS (SECTOR ENERGÉTICO).....	84
3.2.1 ENFOQUE TRADICIONAL: REEMPLAZO DE ENERGÍA. ....	84

3.2.2 ENFOQUE MODERNO: TRANSICIÓN MULTIDIMENSIONAL.....	86
3.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	88
3.4 REFERENCIAS.....	89
<u>ESCENARIOS DE APLICACIÓN.....</u>	<u>90</u>
4.1 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	90
4.1.1 METODOLOGÍA.....	94
4.2 APLICACIÓN DEL MODELO EN ESCENARIOS.....	96
4.2.1 SOFTWARE UTILIZADO.....	96
4.2.2 ESCENARIO 1.....	99
4.2.3 ESCENARIO 2.....	102
4.2.4 ESCENARIO 3.....	105
4.3 LIMITANTES ENCONTRADAS.....	108
3.2.1 LIMITANTES TEÓRICAS-TÉCNICAS.....	108
3.2.2 LIMITANTES INFORMÁTICAS.....	108
3.2.3 LIMITANTES GEOGRÁFICAS.....	109
3.2.4 INDICADORES DE ERROR.....	109
4.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO.....	110
<u>CONCLUSIONES.....</u>	<u>112</u>
5.1 CONCLUSIONES POR LA PARTE DE PLANEACIÓN.....	112
5.2 CONCLUSIONES POR PARTE DEL CASO DE APLICACIÓN Y NUEVOS MODELOS DE NEGOCIO.....	113
5.3 TRABAJOS FUTUROS.....	115
<u>ANEXO 1 SIMULACIÓN MONTECARLO.....</u>	<u>116</u>
REFERENCIAS ANEXO 1.....	117
<u>ANEXO 2 DATOS OBTENIDOS DEL PRODESEN.....</u>	<u>118</u>
A.1 DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR TIPO DE TECNOLOGÍA.....	119
A.2 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA POR TIPO DE GENERACIÓN (1).....	120
A.3 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA POR TIPO DE GENERACIÓN (2).....	121
<u>BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA.....</u>	<u>122</u>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama esquemático de un Sistema Eléctrico de Potencia .....	9
Figura 1.2 Logo World Energy Council .....	12
Figura 1.3 Representación del Trilema energético .....	13
Figura 1.4 El escenario de neutralidad de carbono para 2050.....	19
Figura 1.5 Ruta trazada por la Agencia Internacional de Energía para lograr la neutralidad de carbono a 2050. ....	20
Figura 1.6 Balance del Trilema de América del Norte .....	23
Figura 1.7 Desempeño de los países de América del Norte .....	23
Figura 1.8 Balance del Trilema en Latinoamérica y el Caribe (LAC) .....	27
Figura 1.9 Desempeño de los países de Latinoamérica y el Caribe .....	27
Figura 1.10 Posición de México en el índice en los últimos 10 años. ....	31
Figura 2.1 Ejemplo de los componentes de un sistema en el cuerpo humano .....	38
Figura 2.2 Orden jerárquico de los elementos de un sistema .....	39
Figura 2.3 Orden jerárquico según Gnoli y Kleineberg.....	39
Figura 2.4 Pensamiento de sistemas duros y suaves .....	42
Figura 2.5 Ubicación del sistema .....	43
Figura 2.6 Localización sectorial del sistema .....	43
Figura 2.7 Representación de los 7 estadios de la Metodología de Sistemas Suaves .....	47
Figura 2.8 Esquema general del diagnóstico de empresas .....	49
Figura 3.1 Esquema de los componentes de un Sistema Eléctrico de Potencia. ....	70
Figura 3.2 Principales plantas eléctricas.....	72
Figura 3.3 Regiones del Sistema Eléctrico Nacional .....	76
Figura 3.4 Capacidad de las interconexiones internacionales Sistema Eléctrico Nacional 2021 .....	78
Figura 3.5 Esquema de reemplazo de energía.....	85
Figura 3.6 Perspectiva multinivel en transiciones tecnológicas .....	87
Figura 4.1 Modelos convencionales de mercados eléctricos .....	91
Figura 4.2 Modelo propuesto para la planeación energética.....	92
Figura 4.3 Generación de energía en México por tipo de combustible.....	93
Figura 4.4 Esquemas de tecnología más usada por escenario .....	94
Figura 4.5 Previsión de datos generada por Excel.....	94
Figura 4.6 Previsión de datos por tipo de tecnología (panel).....	95
Figura 4.7 Previsión de datos por tipo de tecnología (barras).....	96

Figura 4.8 Interfaz integrada de @RISK con Excel .....	98
Figura 4.9a Datos planteados en el Escenario 1 (panel).....	99
Figura 4.9b Datos planteados en el Escenario 1 (gráfica) .....	100
Figura 4.9c Ajuste de datos planteados en el Escenario 1 .....	101
Figura 4.10a Datos planteados en el Escenario 2 (panel) .....	102
Figura 4.10b Datos planteados en el Escenario 2 (gráfica).....	103
Figura 4.10c Ajuste de los datos planteados en el Escenario 2.....	104
Figura 4.11a Datos planteados en el Escenario 3 (panel) .....	105
Figura 4.11b Datos planteados en el Escenario 3 (gráfica).....	106
Figura 4.11c Ajuste de los datos planteados en el Escenario 3.....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Dimensiones, categorías e indicadores del trilema energético del World Energy Council .....	14
Tabla 2.1 Componentes del CATWOE.....	44
Tabla 2.2 Métodos cualitativos de investigación. ....	55
Tabla 2.3 Métodos cuantitativos más usados en ejercicios. ....	56
Tabla 2.4 Métodos mixtos más usados en ejercicios. ....	57
Tabla 2.5 Recolección y análisis de datos en cada método .....	58
Tabla 2.6 Recopilación de los métodos revisados .....	63
Tabla 3.1 Tipos de energías con combustibles fósiles.....	73
Tabla 3.2 Tipos de energías limpias.....	74
Tabla 3.3 Composición del parque de generación.....	75
Tabla 3.4 Niveles de tensión en el territorio mexicano .....	77
Tabla 3.5 Retos inherentes a la infraestructura y posibles soluciones.....	79
Tabla 3.6 Pasos de carácter metodológico .....	82
Tabla 3.7 Retos en la generación energética .....	83

## RESUMEN

La intención de este trabajo es construir escenarios para la planeación energética, así como analizar su probabilidad de ocurrencia aplicando el paradigma del enfoque de sistemas, el cual se utiliza junto con la Metodología de Sistemas Suaves con el fin de ponderar aspectos no siempre contemplados en la planeación energética usada en la actual y anteriores administraciones.

Se proponen tres marcos de tecnología predominante en las plantas de generación eléctrica, se revisa su ajuste estadístico y probabilidad de ocurrir en el sistema mexicano. El alcance de este trabajo no es solo determinar que combinación es la más ideal para el sistema, o bien las condiciones técnicas para lograr un funcionamiento óptimo, sino el de enmarcar como ha impactado en las puntuaciones que otorgan organismos internacionales y sus consecuencias dentro del país.

Finalmente, se plantean algunas áreas de oportunidad en caso de tomar en cuenta las consideraciones finales en el rubro de modelos de negocio como apertura o ampliación de las ya existentes.

**Palabras clave:** *Pensamiento de sistemas, planeación, modelado, simulación, escenarios.*

## ABSTRACT

The aim of this publication is to build scenarios for energy planning, as well as to analyze their happening probability by applying the systems approach paradigm, which is used together with the Soft Systems Methodology in order to assess aspects not always contemplated in the energy planning used in the current and previous administrations.

Three predominant technology frameworks for power generation plants are proposed, and the statistical adjustment and probability of occurrence in the Mexican system is reviewed. The scope of this work is not to establish which combination is the best one for the system, or the technical conditions to achieve an optimal operation, but to frame how it has impacted the scores given by international agencies and its consequences within the country.

Finally, some areas of opportunity are raised in the case of taking into account the final considerations in business models such as launching or the expansion of existing ones.

**Key words:** *Systems thinking, planning, modeling, simulation, scenarios.*

## INTRODUCCIÓN

El enfoque sistémico es un paradigma de resolución de problemas a partir de un conjunto de reglas de alto nivel, de las cuales pueden derivarse otras metodologías; considera los atributos y características de todo el conjunto para resolver o administrar un problema.

Este enfoque es fundamental para los sistemas, el pensamiento sistémico, la metodología de sistemas y la ingeniería de sistemas, además de permitir: gestionar, encapsular y anticipar comportamientos complejos; así como prever, diseñar y administrar sucesos emergentes.

Una gran parte del desarrollo tecnológico actual ha sido posible gracias a la compactación y apropiación de formas de generación y almacenamiento de energía. Desde esta perspectiva el sector energético ha experimentado diversos cambios a lo largo de su historia, actualmente pasa por un proceso de reformas que hacen que su planeación a largo plazo sea compleja y meticulosa. Además, se suma la tendencia de dejar los combustibles fósiles y reemplazarlos por fuentes renovables y energía nuclear para mitigar las emisiones asociadas y con esto disminuir la contaminación y el calentamiento global.

Existen muchos paradigmas y metodologías que pueden adaptarse o modificarse, pero que no pueden configurar correctamente las características del arquetipo energético mexicano, así como las relaciones entre los participantes del sistema (operador del mercado, propietario de la red de transmisión, un operador del sistema, productores independientes, entre otros).

En la actualidad en la planeación energética se está lidiando con retos sin precedentes: la descarbonización, la seguridad energética, la intermitencia de las redes eléctricas, la regionalización de los sistemas, generación con mínimos contaminantes atmosféricos, entre otros; que ponen de manifiesto la inexistencia de un modelo de planeación energética que pueda dar respuesta cabal a las características del modelo energético mexicano, así como a los elementos que intervienen en él.

Por ello en este trabajo se propone abordar el problema de la planeación energética conjugando la metodología del enfoque de sistemas y la creación de escenarios como una propuesta para lograr una mejor ejecución de acciones para frenar el deterioro ambiental.

En el **Capítulo 1 El Problema de Investigación**, se revisó en que consiste el Trilema energético propuesto por la WEC (World Energy Council), las posiciones que ha ocupado México en el índice de este organismo, así como el panorama que afecta la planeación energética en el hemisferio norte del continente americano

Con el fin de brindar más información y no crear un sesgo, se retoman las condiciones y datos de los países que componen la zona denominada Latinoamérica y el Caribe.

A partir de esta revisión se identificaron las acciones que propiciaron que la calificación de México otorgada por organismos internacionales (WEC, FMI) sufriera cambios: ascendiera y descendiera en los registros afectando la percepción del sector energético a los participantes, incluyendo posibles/futuros inversionistas.

**Capítulo 2 Marco Teórico y Conceptual**, establece las bases teóricas del paradigma del enfoque de sistemas y de la metodología de sistemas suaves. Comienza con una revisión del surgimiento y desarrollo de este

sector, sus aciertos y los autores que aportaron conocimiento para que este campo formalizara su metodología. Se revisa también la parte de la creación de escenarios para una planeación estratégica, su origen y desarrollo, algunas escuelas y propuestas de metodologías y puntos importantes para desarrollar.

**Capítulo 3 Escenario de Incorporación de Energías Limpias (escenarios en México)**, retrata como se compone el Sistema Eléctrico Nacional, las regiones que lo conforman, los tipos de generación con los que cuenta el país y porcentaje de participación. Particularmente se trata la información desde la perspectiva de Ingeniería de Sistemas. Se identifican los participantes, se resaltan sus relaciones, así como corrientes de pensamiento relacionadas con el avance tecnológico.

En el **Capítulo 4 Escenarios de Aplicación**, se revisan los escenarios de aplicación, algunos datos estadísticos revisados con Excel y @Risk

Finalmente, en el **Capítulo 5 Conclusiones**, se revisa la culminación de este ejercicio en la parte de planeación y el caso de aplicación y como podría generar cambios en este modelo de negocio en particular.

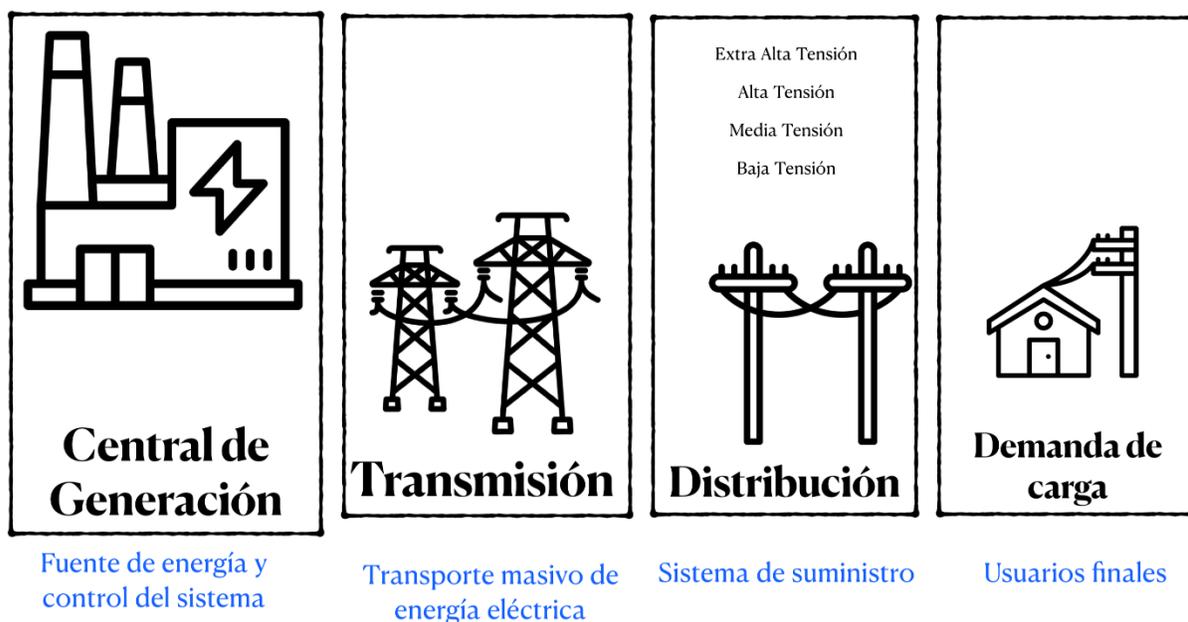
En los **anexos**, se compilan los datos que da a conocer Secretaría de Energía con el documento PRODESEN, además de información sobre la simulación Montecarlo.

# Capítulo 1

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.

El suministro de energía eléctrica a precios competitivos, en cantidad y calidad suficiente, bajo el aspecto del suministro seguro a través de equipos fiables, es de crucial importancia para el desarrollo de los países y para el bienestar de cada individuo. Al planificar los sistemas de energía deben tenerse en cuenta diferentes condiciones límite, que se basan en hechos regionales estructurales, técnicas, condiciones medioambientales y financieras, aparte del diseño técnico. Cada decisión de inversión requiere una planificación e investigación especialmente cuidadosa, a las que la ingeniería de sistemas y la planificación de sistemas de energía contribuyen sustancialmente.

La Figura 1.1 muestra la estructura del sistema eléctrico tradicional con sus cuatro sectores principales: generación, transporte a gran escala, distribución y demanda.



**Figura 1.1 Diagrama esquemático de un Sistema Eléctrico de Potencia**  
Elaboración propia adaptado de (Weedy, 2012)

En la mayoría de los países industrializados, los sistemas eléctricos se han diseñado desde los años 50 para apoyar el crecimiento económico y beneficiarse de los avances de la tecnología de generación. El sistema eléctrico convencional se caracteriza por un pequeño número de grandes generadores, principalmente de carbón, petróleo, energía hidroeléctrica, nuclear, y más recientemente de gas.

La potencia típica de una central eléctrica oscila entre unos pocos a varios miles de MW (Mega Watt<sup>1</sup>).

Hay tres características principales del suministro eléctrico (Weedy, 2012) que tienen un profundo efecto en la forma en que se diseña un sistema de generación eléctrica:

- (A) La electricidad, a diferencia del gas y el agua, no puede almacenarse y el operador del sistema tiene un control limitado sobre la carga<sup>2</sup>. Los ingenieros se esfuerzan por mantener la salida de los generadores con un nivel de tensión y frecuencia especificadas igual a la carga conectada. También existen componentes como la carga base constante, algunos picos que dependen de la hora del día y día de la semana, así como de eventos puntuales como suspensión de actividades industriales y aumento en carga doméstica por eventos deportivos o culturales (ejemplo: partidos del mundial del fútbol).
- (B) El sector eléctrico genera importantes impactos ambientales que determinan la forma en que la instalación, funcionamiento y retiro de las centrales se puede ir gestionando. Todos los combustibles fósiles producen contaminantes que provocan la degeneración del medio ambiente, por lo que se está migrando a la generación mediante fuentes de energía bajas en carbono.
- (C) Las grandes centrales de generación suelen estar alejadas de los centros urbanos lo que supone otro reto para transportar la electricidad minimizando pérdidas de energía y otros problemas relacionados con la demografía de la carga.

Estas centrales están conectadas a una a una red de transmisión de muy alta tensión (de 275/220 kV y 400 kV). La función de la red de transmisión es transportar la electricidad desde estas grandes centrales hasta los usuarios finales, es decir, las ciudades con carga doméstica. La energía eléctrica pasa a las redes de distribución a través de una serie de transformaciones de tensión (por lo general Extra Alta Tensión (132/110 kV, 33/35 kV), Alta Tensión (20/11/ 10 kV) y Baja Tensión (400/230 V)<sup>3</sup> (Weedy,2012). Estas redes facilitan la entrega de electricidad a los consumidores. El flujo es unidireccional, de los niveles de tensión más altos a los más bajos.

En un recibo de consumo ordinario en la mayoría de los países europeos, los costos de generación (inversión y funcionamiento) suponen alrededor del 60%, mientras que los costos de transmisión y distribución son del orden del 10% y el 30%, respectivamente (Arroyo, 2021). Por otro lado, las pérdidas anuales de electricidad en transmisión y distribución en la mayoría de los países industrializados se sitúan en torno al 1-3% y del 4-7% respectivamente (Gates, 2020)

El objetivo del ejercicio de planificación de la generación es determinar las capacidades de cada una de las tecnologías de generación que deben instalarse para minimizar la inversión total y los costos de operación.

---

<sup>1</sup>  $1 \text{ MW} = 1 \times 10^6 \text{ (millón) W}$  El watt es una unidad de potencia eléctrica usada para cuantificar la cantidad de energía consumida o producida por un dispositivo.

<sup>2</sup> En el contexto de los sistemas de potencia se le llama así a la cantidad de energía eléctrica transferida de una fuente generadora a un elemento consumidor por unidad de tiempo.

<sup>3</sup> Estos nombres en los niveles de tensión pueden variar por región, continente y bibliografía, en este texto se hace esta referencia para dimensionar los diferentes niveles que pueden usarse en un sistema real.

Se consideran tres tecnologías de generación (Schlabbach ,2014) en función de la carga que abastecerán:

- Generación de carga base, caracterizada por costos de capital elevados y bajos costos de explotación por unidad, como la nuclear.
- Generación de mérito medio, caracterizada por un capital medio y unos costos de explotación unitarios.
- Generación de carga pico, caracterizada por un capital bajo y altos costos de operación por unidad.

Al planificar la inversión en sistemas de generación, es importante tener en cuenta tanto los montos de inversión como los de operación. Por lo general, los horizontes temporales de planificación de la generación suelen ser de décadas para garantizar que se cubra adecuadamente el crecimiento de la demanda.

Con el fin de comparar los costos asociados de las distintas tecnologías de generación, se consideran los costos de operación y mantenimiento durante un período de un año, mientras que los gastos de inversión se anualizan. Los costos anuales totales de funcionamiento e inversión se dividen por la capacidad instalada expresada en \$/kW (Gan D, 2013).

## **1.1 Formulación de la Problemática.**

La planificación energética nacional es un tema importante debido al gran consumo y producción de energía, es uno de los mayores consumidores de energía de América Latina y un importante productor de petróleo y gas (Gay García, 2021). Sin embargo, el país se ha enfrentado a retos para satisfacer su creciente demanda de energía y, al mismo tiempo, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Además, en el pasado, México ha establecido objetivos ambiciosos para el despliegue de energías renovables. En la Estrategia Nacional de Energía del procuró que el territorio generará el 35% de su electricidad a partir de fuentes limpias para 2024 y el 50% para 2050<sup>4</sup>.

A pesar de estos esfuerzos, aún se enfrenta a retos en términos de seguridad energética, asequibilidad de la energía y reducción de emisiones. Por lo tanto, la planificación energética y el desarrollo de políticas en curso serán fundamentales para garantizar un futuro energético sostenible para el país.

---

<sup>4</sup> Estrategia Nacional de Energía 2014-2018, pág. 12

### 1.1.1 El Trilema Energético.

El Consejo Mundial de la Energía (**WEC, World Energy Council**, por sus siglas en inglés) es la principal red imparcial, independiente y objetiva de líderes y profesionales de la energía que promueven un sistema energético costeable, equilibrado y respetuoso con el medio ambiente para el mayor beneficio de la sociedad.

Fundado en 1923, el Consejo representa a todo el espectro energético, con más de 3,000 organizaciones miembros en más de 80 países, procedentes de gobiernos, empresas privadas y estatales, instituciones académicas, ONG (*Organizaciones No Gubernamentales*) y partes involucradas en el sector de la energía. Este organismo informa sobre las estrategias energéticas mundiales, regionales y nacionales mediante la organización de eventos de alto nivel, como el Congreso Mundial de la Energía<sup>7</sup> y la publicación de estudios autorizados, al tiempo que trabaja a través de su amplia red de miembros para facilitar el diálogo mundial sobre política energética.

La definición de sustentabilidad energética del Consejo Mundial de la Energía se basa en tres dimensiones fundamentales: **seguridad energética, equidad energética y sustentabilidad<sup>5</sup> ambiental** de los sistemas energéticos.

Equilibrar estos tres objetivos constituye un "Trilema": los sistemas equilibrados permiten la prosperidad y la competitividad de cada país; se elabora anualmente desde 2010 por el Consejo Mundial de la Energía en colaboración con consultores globales<sup>6</sup>.

Este organismo presenta una clasificación comparativa de los sistemas energéticos de 127 países.

Proporciona una evaluación del rendimiento del sistema energético de un país, reflejando el equilibrio y la solidez en las tres dimensiones del Trilema.

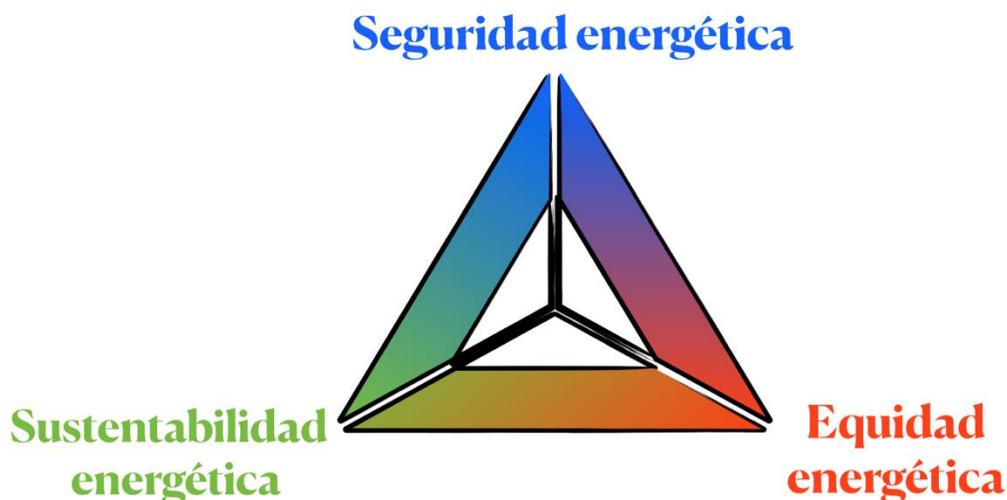
En el portal del organismo se puede acceder a los resultados completos del Índice, a los perfiles nacionales y a la herramienta interactiva del Índice Trilema para saber más sobre el rendimiento de los países y lo que se necesita para construir un sistema energético sostenible.



**Figura 1.2 Logo World Energy Council**  
**Fuente: WEC 2023.**

<sup>5</sup> **Sustainability** en inglés, tiene 2 traducciones Sustentabilidad y Sostenibilidad, de manera personal uso el primer término para el concepto de *proceso* y el segundo para el término *proyecto o producto*: *Proceso sustentable y producto sostenible*.

<sup>6</sup> Consultora global Oliver Wyman, así como con Marsh & McLennan Advantage de su matriz Marsh & McLennan Companies.



**Figura 1.3 Representación del Trilema energético**  
Elaboración propia

Estas tres dimensiones son los pilares de la sostenibilidad aplicadas a un sistema energético. Sin embargo, el WEC incluye una dimensión extra llamada "*contexto del país*", la cual tiene un menor peso respecto a las otras tres, y no busca evaluar conceptos energéticos sino aspectos de estabilidad política y económica.

Para evaluar la sostenibilidad de un sistema energético, el WEC llevó a cabo el siguiente procedimiento:

1. Definir las dimensiones que constituyen la sostenibilidad de un sistema energético.
2. Elegir las categorías para agrupar los indicadores.
3. Desarrollar los indicadores de cada categoría en cada dimensión.
4. Crear las ecuaciones que determinan el desempeño de cada indicador.
5. Otorgar un peso a cada indicador como parte de la calificación final.
6. Recopilar la información requerida para evaluar los indicadores en cada país.
7. Calcular la sustentabilidad de los sistemas energéticos.

La Tabla 1.1 contiene los indicadores, categorías y dimensiones desarrolladas por el WEC:

DIMENSIÓN	CATEGORÍA DEL INDICADOR	INDICADOR
• <b>SEGURIDAD ENERGÉTICA</b>	1.1 Seguridad de suministro y demanda energética	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diversidad del suministro de energía primaria</li> <li>▪ Dependencia de importaciones</li> </ul>
	1.2 Resiliencia de los sistemas energéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Diversidad de la generación de electricidad</li> <li>▪ Almacenamiento de energía</li> <li>▪ Estabilidad y capacidad de recuperación de los sistemas</li> </ul>
• <b>EQUIDAD ENERGÉTICA</b>	2.1 Acceso energético	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acceso a la electricidad</li> <li>• Acceso a la cocción limpia</li> <li>• Acceso a energía moderna</li> </ul>
	2.2 Acceso a energía de calidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Precios de electricidad</li> <li>• Precios de la gasolina y el diésel</li> <li>• Precios del gas natural</li> </ul>
	2.3 Asequibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asequibilidad eléctrica para los residentes</li> </ul>
• <b>SUSTENTABILIDAD MEDIOAMBIENTAL</b>	3.1 Productividad de los recursos energéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intensidad energética final</li> <li>▪ Eficiencia de la generación eléctrica y la Transmisión y Distribución (T&amp;D)</li> <li>▪ Generación eléctrica de bajo carbono</li> <li>▪ Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero</li> </ul>
	3.2 Descarbonización	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Intensidad de CO<sub>2</sub></li> <li>▪ Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita</li> <li>▪ Emisiones de CH<sub>4</sub> per cápita</li> </ul>
	3.3 Emisiones y contaminación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Exposición anual promedio de PM<sub>2.5</sub><sup>7</sup></li> <li>▪ Exposición anual promedio de PM<sub>10</sub><sup>8</sup></li> </ul>
	4.1 Ambiente macroeconómico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad macroeconómica</li> </ul>
	4.2 Gobernanza	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Efectividad del gobierno</li> <li>• Estabilidad política</li> <li>• Imperio de la ley</li> <li>• Calidad regulatoria</li> </ul>
• <b>CONTEXTO DEL PAÍS</b>	4.3 Estabilidad para la inversión e innovación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Entradas netas de inversiones extranjeras directas</li> <li>▪ Facilidad de creación de negocios</li> <li>▪ Percepción de la corrupción</li> <li>▪ Eficiencia de marco legal en los retos de regulación</li> <li>▪ Protección de la propiedad intelectual</li> <li>▪ Capacidad de innovación</li> </ul>

**Tabla 1.1 Dimensiones, categorías e indicadores del trilema energético del World Energy Council**  
Elaboración propia con información del WEC<sup>9</sup>

<sup>7</sup> PM (*Particulate Matter*, material particulado) partículas inhalables que tienen diámetros menores a 2.5 micrómetros.

<sup>8</sup> Partículas inhalables con diámetros de 10 a 2.5 micrómetros.

<sup>9</sup> World Energy Trilemma Index 2022

Los rubros de la tabla anterior son utilizados por el WEC para evaluar la sostenibilidad de cerca de 130 países.

En el conteo del 2022 México se encontró en el puesto 46<sup>10</sup>, con calificación de **CBBc**. Siendo **la última letra c** la calificación correspondiente a la dimensión extra incluida por el WEC de **Contexto del País**, la cual es escrita en minúscula para indicar que su ponderación es menor a las de las otras tres.

A continuación, se presenta el significado de cada calificación:

**GRADO:** A (mejor), B, C, D (peor)

Se otorga una calificación por el rendimiento en tres dimensiones principales (**1ª letra para Seguridad, 2ª Equidad, 3ª Sostenibilidad**) que cubren el 90% de la calificación global y una dimensión adicional (4ª letra para Contexto del país) que cubre el 10% restante.

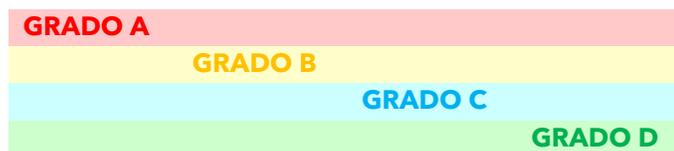
El valor de la nota depende del cuartil en el que se sitúe la puntuación del país:

Grado A: países del 25% superior

Grado B: entre el 25% superior y el 50%

Grado C: entre el 50% y el 75%.

Grado D: entre el 75% y el 100%.



**CONTEO:** 1 (mejor) ... 125 (peor)

La clasificación sólo proporciona una información muy breve y limitada sobre el rendimiento de un país: indica la posición que ocupa el país en el Índice completo.

**PUNTUACIÓN:** 100 (mejor) ... 0 (peor)

Se da un valor de puntuación para el rendimiento global, así como para cada dimensión (Seguridad, Equidad, Sostenibilidad, Contexto del país) determinado por el rendimiento del país en los indicadores; la puntuación puede cambiar incluso si los datos no cambiaron porque la puntuación refleja el rendimiento en comparación con otros países que pueden haber mejorado en un indicador dado.

*“El Índice del Trilema Energético evalúa el desempeño actual y pasado a través de las tres dimensiones de Seguridad Energética, Equidad Energética y Sostenibilidad Medioambiental. Una cuarta dimensión de Contexto del País se incluye dentro de los cálculos para capturar las diferencias importantes entre las instituciones nacionales y los contextos macroeconómicos.” (WEC,2022)*

A continuación, se describen los aspectos particulares de cada una de las tres principales dimensiones del Trilema en el contexto energético de un país visto desde la perspectiva del WEC.

<sup>10</sup> World Energy Trilemma Index 2022, pág. 32

### 1.1.1.a Seguridad Energética

El WEC define Seguridad Energética como:

*“La capacidad de una nación para cumplir la demanda energética actual y futura de forma confiable, además de la capacidad de recuperarse rápidamente de transitorios en el sistema con una interrupción mínima de los suministros”*

Las categorías e indicadores que utiliza el WEC para cuantificar el desempeño de esta dimensión son:

- **Seguridad de suministro y demanda energética**
  - Diversificación del suministro de energía primaria
  - Dependencia de importaciones
- **Resiliencia de los sistemas energéticos**
  - Diversificación de la generación de electricidad
  - Capacidad de almacenamiento de energía
  - Estabilidad y capacidad de recuperación de los sistemas

El rubro seguridad de suministro y demanda energética evalúa las condiciones de un país para afrontar problemas como la pérdida en el suministro de combustible, renovable o no renovable. También, existe la posibilidad de que el país no sea autosuficiente energéticamente y, por lo tanto, requiera de importar recursos energéticos desde otro país, incurriendo en una posible interrupción del suministro si existiera alguna clase de conflicto o desastre natural en la nación suministradora (WEC, 2022).

Finalmente, el rubro resiliencia de los sistemas energéticos cualifica y cuantifica la capacidad que tiene el sistema contemplado para abatir las consecuencias de las situaciones planteadas en el primer punto. En otras palabras, si la nación tuviera una alta dependencia de importaciones de combustibles, entonces debería tener a su vez una amplia capacidad de almacenamiento de energía que le ayude a continuar con sus actividades económicas con la menor cantidad de percances derivados de una posible interrupción del suministro desde el exterior (WEC, 2022).

### 1.1.1.b Equidad energética

El WEC define Equidad Energética como:

*“La habilidad de un país para proveer acceso universal a energía asequible, con un precio justo y abundante para uso doméstico y comercial”*

Las categorías e indicadores que utiliza el WEC para cuantificar el desempeño de esta dimensión son los siguientes:

- **Acceso energético**
  - Acceso a la electricidad
  - Acceso a la cocción limpia
- **Acceso a energía de calidad**
  - Acceso a energía moderna
- **Asequibilidad**
  - Precios de electricidad
  - Precios de la gasolina y el diésel
  - Precios de gas natural
  - Asequibilidad eléctrica para los residentes

El rubro acceso energético cuantifica el porcentaje de la población que cuenta con electricidad y con combustibles de calidad para cocinar. Mientras que el rubro acceso a energía de calidad busca determinar la población que cuenta con diversos y abundantes servicios de energía, desde electricidad hasta combustibles fósiles y renovables. Por último, el rubro de asequibilidad está integrado por los diversos precios de los energéticos básicos utilizados por la población de un país, haciendo énfasis en que, si una nación cuenta con precios bajos de energéticos, entonces el nivel de calidad de vida se incrementará (WEC, 2022).

### 1.1.1.c Sustentabilidad Medioambiental de Sistemas Energéticos

El WEC define Sostenibilidad Medioambiental de Sistemas Energéticos como:

***“La transición del sistema energético de un país hacia la mitigación y prevención de los potenciales daños medioambientales e impactos del cambio climático.”***

Las categorías e indicadores que utiliza el WEC para cuantificar el desempeño de esta dimensión son:

- **Productividad de los recursos energéticos**
  - Intensidad energética final
  - Eficiencia de la generación eléctrica y T&D (Transmisión y Distribución)
- **Descarbonización**
  - Generación eléctrica de bajo carbono
  - Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero

- **Emisiones y contaminación**

- Intensidad de CO<sub>2</sub>
- Emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita
- Emisiones de CH<sub>4</sub> per cápita
- Exposición anual promedio de PM2.5
- Exposición anual promedio de PM10

- Como primer rubro, la categoría productividad de los recursos energéticos evalúa la cantidad y eficiencia de energía producida anualmente. El segundo punto: descarbonización considera la fracción de electricidad generada a través de tecnologías con bajas emisiones de carbono. También se analiza la tendencia que tiene el país respecto a las emisiones y objetivos de reducción de GEI (Gases de Efecto Invernadero) a corto, medio y largo plazo. Finalmente, el rubro emisiones y contaminación revisan las emisiones de los compuestos de gases de efecto invernadero potencialmente más nocivos para la población (WEC, 2022).

#### 1.1.2 Proyecciones internacionales.

En la mayoría de las proyecciones de paneles internacionales y escenarios posibles, la participación de los combustibles fósiles al 2040 no representará menos del 70% de la demanda global. Incluso en un escenario donde los países cumplan con sus promesas, la [Agencia Internacional de Energía \(AIE\)](#) proyectó en 2021 que los hidrocarburos superarán el 50% de la oferta global para la década de 2050. Las comparaciones permiten observar que la demanda de hidrocarburos crecerá en términos absolutos durante los próximos años, y alcanzará su pico de demanda a partir de la próxima década, entre el 2030 y el 2045, siendo primero el carbón, luego el petróleo y, finalmente, el gas natural.

La mayoría de los escenarios posibles y proyecciones analizados por el WEC predicen un aumento sostenido del gas natural durante las próximas dos décadas. En algunos casos, podría convertirse en un combustible principal de los nuevos sistemas energéticos. El gas es considerado un combustible de transición debido a que genera la mitad de los desechos GEI que el carbón y se complementa con las energías renovables; turbinas con gas como combustible podrán compensar la intermitencia inherente a la generación renovable señalada en la Figura 1.4.

En general, el contraste entre este futuro deseable y las tendencias actuales es inmenso. En 2021, la AIE elaboró un escenario de cero emisiones netas, con el objetivo de mostrar una hoja de ruta compatible para alcanzar la neutralidad de carbono al 2050 mostrada en la Figura 1.5.

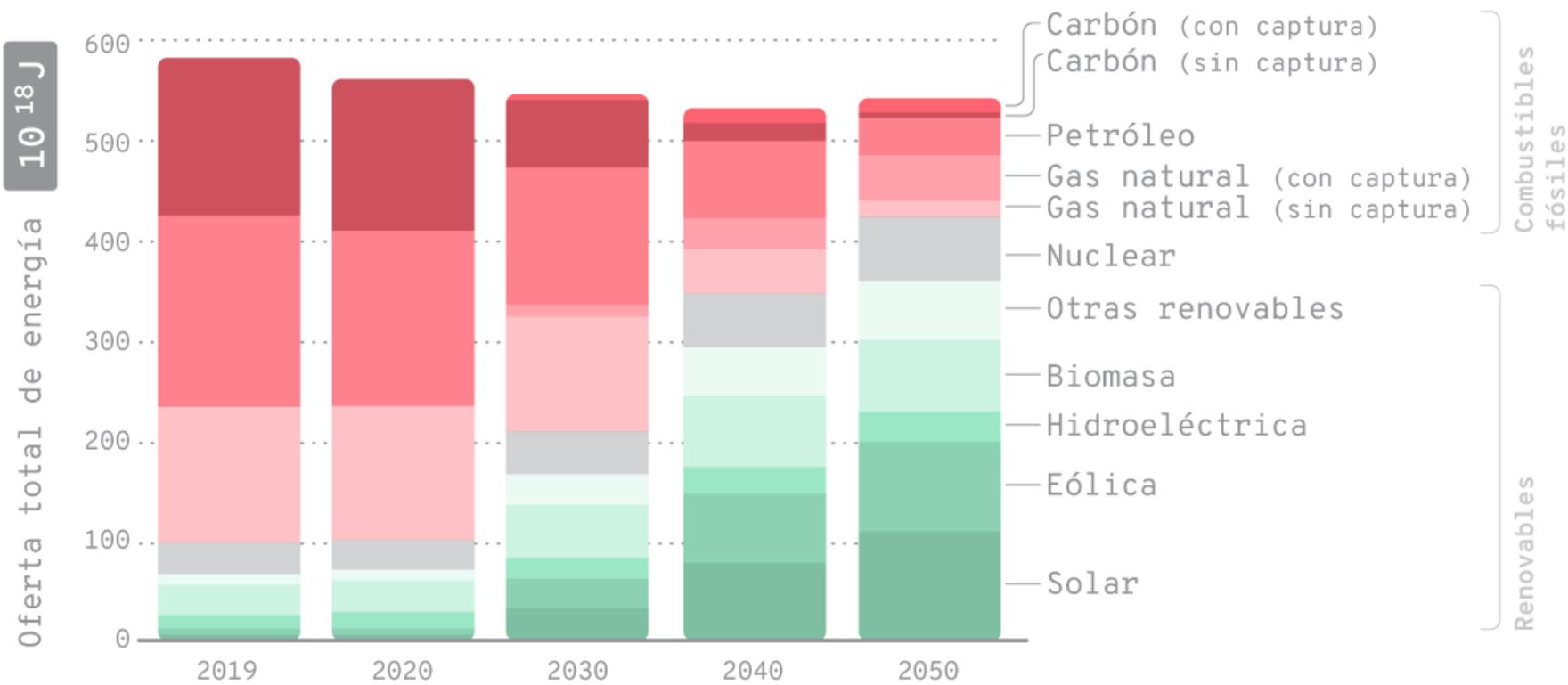
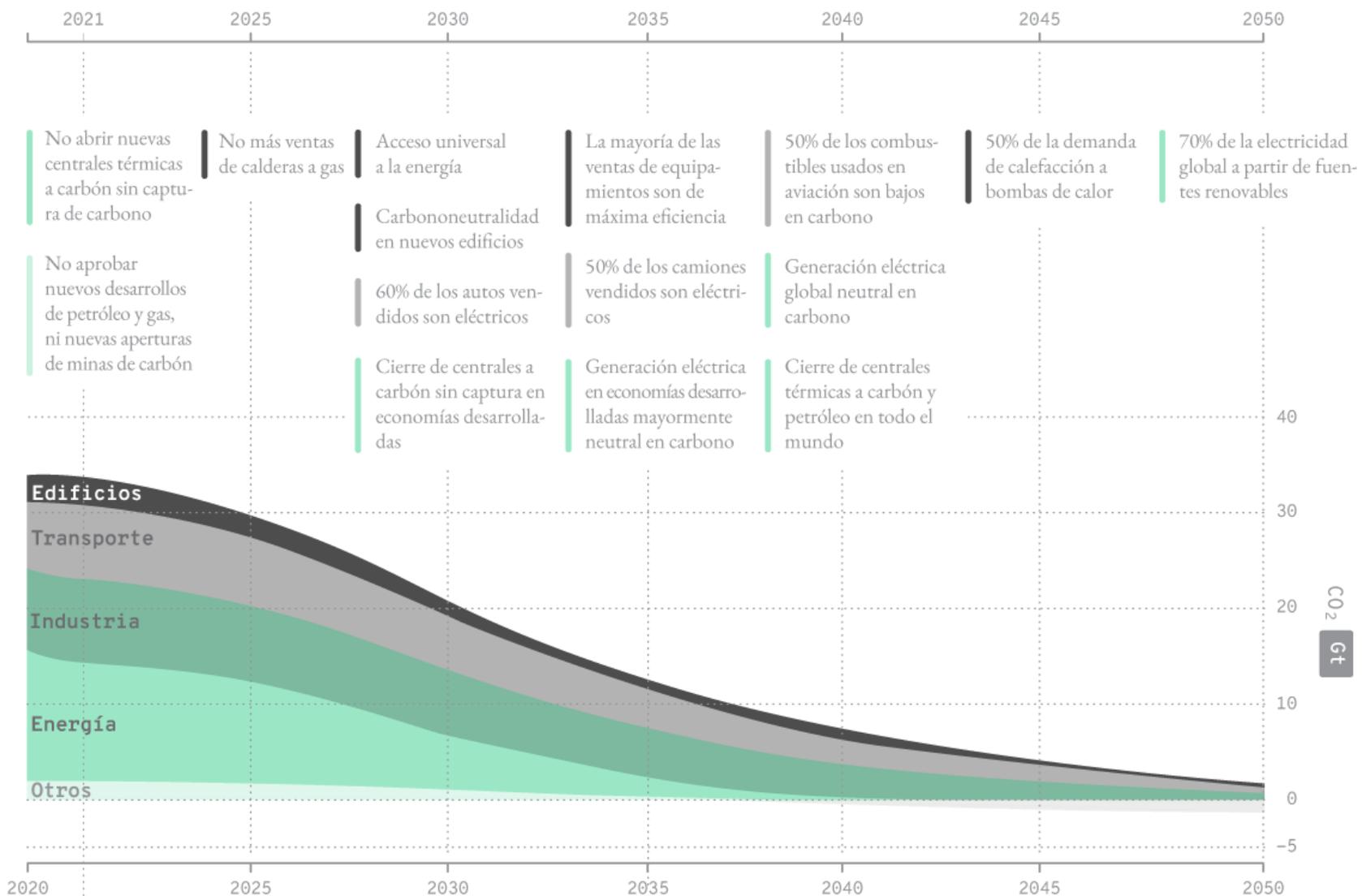


Figura 1.4 El escenario de neutralidad de carbono para 2050 Arroyo (2021)



**Figura 1.5 Ruta trazada por la Agencia Internacional de Energía para lograr la neutralidad de carbono a 2050. Arroyo (2021)**

## 1.2 Delimitación del problema por resolver.

Nos acercamos a un momento decisivo para los esfuerzos internacionales por atajar la crisis climática, un gran reto de nuestro tiempo. El número de países [afiliados a organismos internacionales como la Agencia Internacional de la Energía (AIE), World Energy Council (WEC)] que se han comprometido a alcanzar las emisiones netas cero a mediados de siglo o poco después sigue creciendo, pero también lo hacen las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Esta brecha entre la retórica y la acción debe cerrarse si se quiere tener una oportunidad de alcanzar el objetivo de cero emisiones netas para 2050 y limitar el aumento de la temperatura global a 1.5 °C.

2023 es un año caracterizado por la prevalencia de crisis convergentes en materia de salud, seguridad y fenómenos naturales con efectos devastadores<sup>11</sup>, particularmente en países en vías de desarrollo como el caso de México<sup>12</sup>. Impulsar una transición energética limpia y justa que garantice al mismo tiempo un camino seguro, equitativo y sostenible sigue siendo un problema complejo

Para ello es necesaria una transformación total de los sistemas energéticos que sustentan nuestras economías. Los gobiernos y la sociedad en general están estudiando la mejor manera de avanzar en materia de políticas energéticas, precios y nuevas asociaciones sobre seguridad energética. Estos acontecimientos ofrecen oportunidades únicas no sólo para reexaminar la importancia de mantener equilibradas las dimensiones del Trilema, sino también para considerar la ampliación del marco existente como herramienta práctica para los responsables de la toma de decisiones.

La energía trasciende todos los sectores, contribuye al desarrollo de las economías mundiales y es el sustento de la sociedad moderna. Mientras las consecuencias de la guerra en Europa afectan prácticamente a todo el mundo, las naciones siguen trabajando con urgencia para mantener cierto nivel de seguridad de abastecimiento de combustibles en medio de la creciente preocupación por la asequibilidad y las consecuencias negativas del cambio climático. Los países tendrán que evaluar otras vías que funcionen para las personas y el planeta, ajustando los tres pilares del Trilema a sus realidades nacionales y locales.

La aparición de nuevos bloques regionales exige que las partes interesadas tengan una perspectiva más regional para evaluar sus posiciones energéticas, sus vías políticas y sus esferas de influencia únicas. Por tanto, es fundamental ampliar el Trilema hacia un marco escalable y flexible que ayude a los países a examinar las tendencias y estrategias locales y a desarrollar vías específicas para cada contexto hacia una transición energética limpia y justa.

Ante un futuro muy incierto, es esencial contar con una base estable para medir el rendimiento energético y las tendencias mundiales. El Índice del Trilema Energético formulado por la WEC ofrece una mirada retrospectiva a los puntos de tensión y crecimiento a lo largo de los años.

---

<sup>11</sup> Olas de calor e incendios marcaron cambio climático en Latinoamérica en 2022 (Forbes, abril 21, 2023) Obtenido desde <https://www.forbes.com.mx/olas-de-calor-e-incendios-marcaron-cambio-climatico-en-latinoamerica-en-2022/>

<sup>12</sup> La ola de calor se extiende en México con temperaturas de más de 40 grados (Forbes, junio 14, 2023) Obtenido desde <https://www.forbes.com.mx/ola-calor-extiende-mexico-temperaturas-mayores-grados/>

El estado actual de las dimensiones del Trilema pone de relieve trayectorias que no están alineadas con los recientes choques y crisis energéticos; los datos de 2022 no reflejan la situación energética actual. Sin embargo, las tendencias a largo plazo de los datos siguen siendo especulativas mientras los países tratan de impulsar una transición segura, equitativa y sostenible.

### 1.2.1 Diagnóstico de la WEC.

El Índice elaborado por este organismo mundial muestra el rendimiento de cada país en los tres rubros que conforman el Trilema de la Energía. De forma paralela capta el efecto agregado de las políticas energéticas aplicadas a lo largo del tiempo.

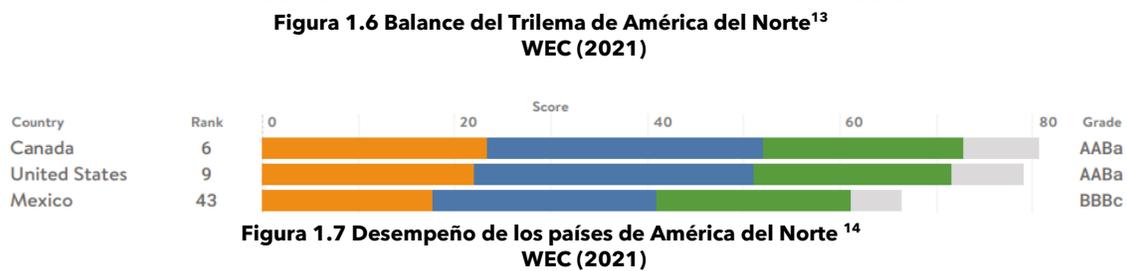
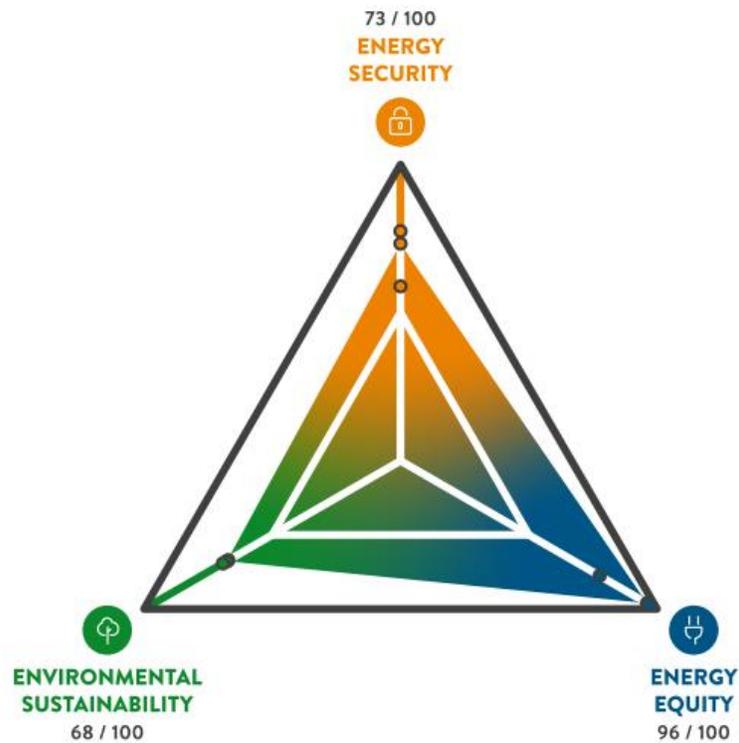
Dado que el Índice muestra los efectos agregados de las políticas, no identifica la eficacia de una política en particular, ya que cada política interactúa con un conjunto de factores contextuales y específicos de cada país a lo largo de diferentes periodos.

No obstante, al medir de forma general los resultados agregados de las políticas, el Índice proporciona información importante sobre la **eficacia de las políticas y opciones energéticas**. Los cálculos históricos para cada una de las tres dimensiones indexadas proporcionan tendencias de rendimiento para los tres rubros del índice, que pueden compararse con las políticas y los factores exógenos a lo largo del tiempo.

#### 1.2.1.1 NORTEAMÉRICA.

La energía desempeña un papel fundamental y muy valorado en las economías norteamericanas. Por ello, la transición hacia las energías limpias plantea a la vez grandes retos y grandes oportunidades. Se están buscando activamente diversas oportunidades para acelerar la transición energética, entre las que se incluyen:

- 1) la expansión de la generación de electricidad limpia a escala continental (mediante un mayor desarrollo de la energía hidroeléctrica a gran escala)
- 2) la sustitución del carbón y del combustóleo para la generación de electricidad;
- 3) el desarrollo agresivo de la vasta dotación de recursos eólicos, solares e hidroeléctricos a pequeña escala del continente;
- 4) el desarrollo de vectores energéticos alternativos con bajas emisiones de carbono; y
- 5) el liderazgo en innovación para gestionar y optimizar la red eléctrica tanto a escala regional como local.



Las Figura 1.6 muestra el desempeño de Norteamérica como región con los rubros: **Equidad Energética con 96**, **Seguridad Energética con 73** y finalmente **Sustentabilidad medioambiental con 68** es la categoría más castigada. Por otra parte la Figura 1.7 enmarca las puntuaciones particulares de cada país, donde los vecinos del norte figuran dentro del top 10 de naciones evaluadas en este índice.

<sup>13</sup>2021 World Energy Trilemma Index, Figure 40: North America Trilemma Balance, página 51

<sup>14</sup> 2021 World Energy Trilemma Index, Figure 41: Country performances of North America, página 51

Al evaluar el panorama energético norteamericano, hay que tener en cuenta dos importantes factores contextuales:

- ✓ En primer lugar, la responsabilidad de la energía se divide en Estados Unidos y Canadá entre el gobierno nacional y los gobiernos estatales o provinciales, mientras que en México la energía sigue siendo competencia federal. Esta división de poderes significa que una evaluación completa debe reflejar las políticas energéticas de ambos niveles de gobierno.
- ✓ En segundo lugar, aunque las elecciones de los nuevos gobiernos pueden dar lugar a cambios o inversiones repentinos en la orientación de las políticas, la situación en Estados Unidos y Canadá se ve agravada por el hecho de que las fechas de las elecciones para los gobiernos nacionales y regionales suelen estar desfasadas.

Aun así, las políticas energéticas que están incluidas y normadas en la ley siguen siendo mucho más persistentes a través de las administraciones. Dado que las inversiones en el sector energético son intensivas en capital y a largo plazo, los **cambios en la administración** de un país o los **cambios repentinos de política** pueden **socavar la eficacia de los acuerdos transfronterizos existentes o de las políticas anteriores y desalentar potencialmente la inversión en energía.**

### Situación energética por país.

La reincorporación oficial de **E.U.**, al Acuerdo de París a principios de 2021, se dió asignando 1 billón de dólares en inversiones en transporte, desastres medioambientales e infraestructura energética durante los próximos cinco años, y estableciendo objetivos para **reducir las emisiones de GEI para 2030 a una tasa del 50-52% en comparación con 2005**

En **Canadá**, las perspectivas sobre la transición energética difieren entre el Gobierno federal, partidario de contrarrestar el cambio climático, mientras que las Naciones Originarias de Canadá (*First Nations*) quieren impedir que se construyan nuevos oleoductos a través de sus territorios, en contraste con las provincias con producción de petróleo quieren mantener el empleo.

A mediados de 2021 se promulgó *la Ley de Responsabilidad de Emisiones Netas Cero* de Canadá, que establece **requisitos legales** para que el gobierno actual y los futuros **planifiquen, informen y corrijan el rumbo** en el camino hacia las **emisiones netas cero antes de 2050**. Dado que los inversores y los consumidores apoyan cada vez más los proyectos con bajas emisiones de carbono y resistentes al cambio climático, se espera que la ley reduzca la incertidumbre y garantice la inversión necesaria a largo plazo para **alcanzar las emisiones netas cero en 2050**.

**México** sigue siendo parte del Acuerdo de París, sin embargo, la administración actual aún no ha presentado su programa sobre cambio climático requerido por la legislación nacional en 2019. Esto **difiere de las prácticas de la administración anterior**, que estableció un comité intersecretarial para coordinar las políticas de cambio climático y promovió activamente la eficiencia energética y la generación de electricidad renovable para ayudar a desacoplar el crecimiento económico y el consumo de energéticos.

**El Gobierno mexicano ha dado prioridad a la autosuficiencia energética por encima de la sostenibilidad medioambiental<sup>15</sup>**, aumentando la asignación presupuestaria a la modernización de centrales eléctricas alimentadas con combustibles fósiles y a la construcción de refinerías de petróleo, a costa de desplazar a la electricidad renovable y de poner en entredicho la seguridad de su suministro eléctrico. Esto ha polarizado las perspectivas dentro de México, con el sector energético privado y el gobierno local apoyando la transición energética alineada con la agenda del cambio climático.

Canadá se ha unido E.U.A. como exportador neto de energía, debido a que este último, se convirtió en el mayor productor mundial de petróleo en 2020, y el quinto en producción de gas natural<sup>16</sup> mientras que México es un importador neto de energía para satisfacer su demanda energética.

Los costes cada vez más bajos de las energías renovables han propiciado un crecimiento continuo de los sistemas energéticos norteamericanos. Pero la situación no es uniforme, ya que **México avanza en una dirección diferente** al utilizar más petróleo de producción nacional en su sistema energético, al tiempo que reduce las energías renovables.

Además, **México ha aumentado su dependencia del gas natural** importado procedente de un único yacimiento en E.U.A. y el país ha experimentado riesgos asociados a esta dependencia, lo que afecta a la seguridad energética del país. Además, el país no sólo ha visto disminuir la producción de petróleo, sino también las reservas, lo que afecta a la posición de México en el mercado mundial del petróleo y plantea un reto para el país a medio plazo

México aún se **enfrenta a algunos retos para garantizar el acceso a la energía moderna** a los hogares vulnerables de las zonas rurales. En años anteriores, el gobierno anterior intentó abordar este problema mediante redes de seguridad energética, aunque la eficacia de estas políticas era incierta, ya que los planes no se evaluaban adecuadamente antes de ser revisados.

El impacto de la pandemia de COVID-19 en Norteamérica ha sido significativo. A nivel humano, un número considerable de personas y familias se han visto afectadas, mientras que los sistemas energéticos han gestionado con éxito **las fuertes fluctuaciones de la demanda de energía con restricciones de bloqueo**. Como región exportadora de energía, las fluctuaciones de la demanda energética mundial han afectado a los ingresos de los países con menores niveles de exportación agravados por la reducción de los precios del petróleo.

### 1.2.1.2 AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE.

En los últimos años, el mercado de las energías renovables en América Latina ha experimentado cambios drásticos. Los factores de riesgo político, las tendencias de inversión, el progreso tecnológico y los choques externos han afectado a la industria energética de muchas maneras.

La pandemia COVID-19 ha provocado daños sin precedentes en la economía mundial, por lo que las tendencias del mercado latinoamericano han cambiado, al igual que el futuro de la industria. No

---

<sup>15</sup> Perspectiva para 2023 del sector energético en México está en deterioro: Fitch Tapia Cervantes Patricia (enero 13, 2023) Disponible en <https://www.forbes.com.mx/perspectiva-para-2023-del-sector-energetico-en-mexico-esta-en-deterioro-fitch/>

<sup>16</sup> Datos fluctuantes debido al conflicto Rusia Ucrania

obstante, la industria energética está mostrando resistencia en medio de la ralentización de las infraestructuras.

La **dependencia de la región de las exportaciones de petróleo** sigue siendo un problema importante y genera incertidumbre, sobre todo en países como Colombia, Bolivia, Argentina y Brasil, que dependen en gran medida de los ingresos del petróleo. Pasando al lado de la demanda, mientras los gobiernos tratan de superar los impactos de la pandemia, **los proyectos de infraestructuras en curso se han retrasado y los proyectos en curso se han cancelado**. Las restricciones y normativas siguen vigentes en varios países y la incertidumbre económica frena la inversión del sector privado. En cambio, como la actividad económica depende del uso de la electricidad y del acceso a la energía, el sector energético se ha convertido en una prioridad para la región. **La demanda de energías renovables sigue aumentando de forma paralela a la demanda energética, en contraste con la demanda de petróleo y gas, que se ha desplomado debido a la caída de la demanda**. Se prevé que las energías renovables marcarán el futuro de la energía en la región, al tiempo que los avances tecnológicos reducirán los costes.

El atractivo de Latinoamérica radica en el bajo costo de las energías renovables, con una tendencia de precios a la baja. Brasil, Chile, Colombia y **México**<sup>17</sup> han promulgado normativas<sup>18</sup> que facilitan los acuerdos bilaterales de compra/venta de energía y los mercados al contado, ofreciendo una ventaja económica a los inversores, incluyendo pronósticos de precios a largo plazo. Estas inversiones y **políticas energéticas de apoyo a la transición podrían funcionar como motor de la recuperación económica de la región**.

Las Figura 1.8 muestra el desempeño Latinoamérica y el Caribe como región con los rubros: **Equidad Energética con 68**, **Seguridad Energética con 62** y finalmente **Sustentabilidad medioambiental con 72**.

La región sigue teniendo un alto porcentaje de electricidad de origen hidroeléctrico como carga base. Esto ha permitido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero como consecuencia de la abundancia de este recurso natural. Además, hay muchas políticas y normativas en las que trabajar en LATAM, especialmente en el sector de la eficiencia energética

Las calificaciones otorgadas por la WEC en la Figura 1.9 han mejorado en toda la región, principalmente debido a las subvenciones<sup>19</sup>, pero aún queda un largo camino por recorrer.

Los esfuerzos en curso para diversificar la combinación energética y tratar de reducir la dependencia de los combustibles fósiles en la región han hecho que las fuentes de energía renovables comiencen a atraer la atención de inversionistas internacionales, centrándose en la energía solar fotovoltaica y la eólica.

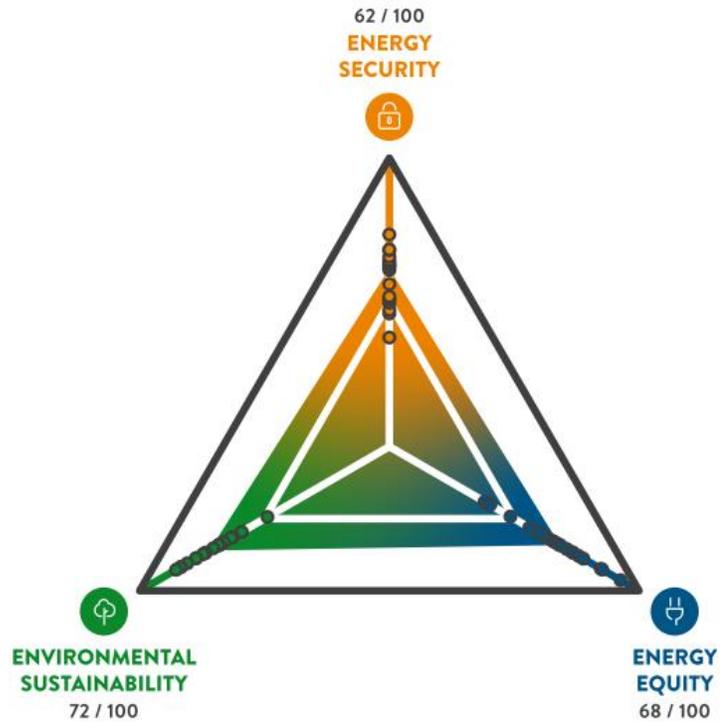
---

<sup>17</sup> <https://www.gob.mx/sener/documentos/instrumentosinternacionales>

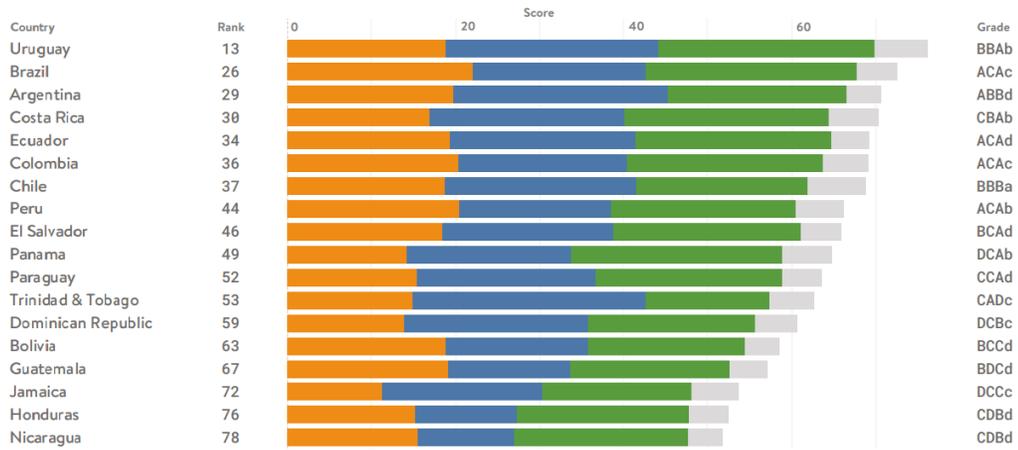
<sup>18</sup>

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399716/Instrumentos Internacionales suscritos por SENER desde 2012 a agosto de 2018.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/399716/Instrumentos_Internacionales_suscritos_por_SENER_desde_2012_a_agosto_de_2018.pdf)

<sup>19</sup> La subvención es una aportación de tipo económico percibida por una persona o grupo de personas desde un organismo público, la cual no debe reembolsarse. Su objetivo es ayudar a llevar a cabo una actividad que necesita una inversión alta o a la que la persona en cuestión no podría hacer frente en solitario. Las subvenciones son un mecanismo que permite al Estado intervenir en la actividad económica ya que, dependiendo de las ayudas que decida otorgar, puede potenciar determinadas operaciones en detrimento de otras. (Economipedia, 2023)



**Figura 1.8 Balance del Trilema en Latinoamérica y el Caribe (LAC)<sup>20</sup> WEC (2022)**



**Figura 1.9 Desempeño de los países de Latinoamérica y el Caribe<sup>21</sup> WEC (2021)**

<sup>20</sup> 2021 World Energy Trilemma Index, Figure 42: LAC Trilemma Balance, página 54

<sup>21</sup> 2021 World Energy Trilemma Index, Figure 43: Country performances of LAC, página 55

## Anotaciones específicas a México.

En los índices de **2016 y 2017** México se ubicó en la **lista de vigilancia positiva**. Este apartado contiene a las naciones que realizaron cambios en sus regulaciones y tratados que promueven acciones en beneficio de los tres rubros que registra el trilema.:

México sigue adelante con la liberalización de su mercado energético, y recientemente ha publicado un plan para desarrollar un mercado de gas natural plenamente competitivo para 2018<sup>22</sup>. Las nuevas normas del mercado pretenden además promover la eficiencia energética y fijan el objetivo de alcanzar un 35% de energía limpia en 2024<sup>23</sup>.

Estas dos transiciones, de una estructura monopolística a un régimen de mercado competitivo y de una economía con altas emisiones de carbono a otra con bajas emisiones, están resultando difíciles, sobre todo porque aún es necesario mejorar y ampliar las infraestructuras del país<sup>24</sup>. Sin embargo, se espera que los resultados globales del trilema energético del país mejoren a medida que se sigan aplicando las reformas.

En el índice 2019 México salió de este apartado positivo con una nota que refleja el panorama mundial a las acciones que tomo la administración entrante

### 2019 Perfil energético regional.

México también está volviendo a la perspectiva anterior de política energética con el plan del gobierno de trabajar hacia la autosuficiencia energética reduciendo las importaciones de energía y proporcionando energía abundante y barata.

La política pretende aumentar la producción de petróleo y gas natural, incrementar la capacidad de las refinerías, modernizar las centrales hidroeléctricas y sustituir la generación con gasóleo o fuel por gas natural, y liminar los mecanismos de mercado que apoyan los proyectos eólicos y solares.

La administración anterior creó un comité interministerial para coordinar las políticas de cambio climático, que había promovido activamente la eficiencia energética y la generación de electricidad renovable para ayudar a desvincular crecimiento económico y consumo energético.

Aunque la nueva administración pretende que el desarrollo económico sea sostenible, aún no se han anunciado sus programas específicos.

---

<sup>22</sup> King and Spalding, 2016: Client Alert: Development of competitive natural gas market in Mexico

<sup>23</sup> Dezem V, 2016: Mexico Sets National target of 5% Renewable Energy by 2018 (Bloomberg, 31 March 2016)

<sup>24</sup> Clemente J, 2016: Mexico's Ever Growing Natural Gas Market (Forbes, 02 July 2016)

En la edición del año **2021** se hace la siguiente entrada<sup>25</sup>:

*“Con la administración Biden instaurada y formando parte de nuevo del Acuerdo de París, y **los tres países emergiendo de la pandemia** y de los bloqueos económicos con planes de recuperación económica postpandemia la región parece estar más alineada en torno a una perspectiva regional coherente de transición energética (...).”*

### 1.2.2 Escala económica.

En términos per cápita<sup>26</sup>, las emisiones de México se sitúan en torno a la media mundial, y al mismo tiempo sigue siendo un gran emisor mundial en términos absolutos.

Las emisiones de GEI de México ascendieron a 5,6 toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>) en 2018, en comparación con un promedio mundial de 6.3 toneladas por cada habitante. Al mismo tiempo, México fue el decimosegundo mayor emisor mundial en términos absolutos en 2018 (Fargione & FMI<sup>27</sup>, 2018), produciendo 700 millones de toneladas de emisiones de GEI [1.2% del total mundial]. Las acciones para mitigar las emisiones en México son bastante significativas a nivel global y podrían coadyuvar a catalizar acciones de mitigación entre otros países, especialmente en la región de América Latina y el Caribe.

En un escenario sin cambios, el FMI proyecta que las emisiones aumentarán 7 por ciento a partir de 2020 para alcanzar alrededor de 721 millones de toneladas en 2030.

El crecimiento de las emisiones en la industria y los residuos (4% y 6% anual) y en los sectores de la **energía y el transporte** entre 1990 y 2018 (2.5% anual) fue más rápido que en otros sectores. Las proyecciones internacionales no suponen nuevas políticas de mitigación ni un endurecimiento de las políticas de mitigación existentes. Aunque se prevé que el PIB de México crezca aproximadamente un 25 por ciento en términos reales entre 2020 y 2030, la intensidad de las emisiones de CO<sub>2</sub> del PIB disminuye un 13 por ciento durante este periodo, lo que refleja las mejoras graduales en la eficiencia energética (a medida que se retira el capital más antiguo y menos eficiente) y los supuestos estándar de que la demanda de combustibles y electricidad aumenta menos que en proporción al PIB.

### 1.2.3 Legislación sobre mitigación climática en México: Puntos Clave.

Las principales iniciativas legislativas incluyen:

1. México se convirtió en el primer gran mercado emergente productor de petróleo en introducir legislación sobre cambio climático en 2012. La Ley General de Cambio Climático (LGCC<sup>28</sup>) estableció un marco institucional para el cumplimiento de los objetivos de emisiones, a la vez que codificó los objetivos: Para 2020 se propuso reducir

---

<sup>25</sup> 2021 World Energy Trilemma Index, página 53.

<sup>26</sup> Por cabeza, por individuo (RAE, 2023)

<sup>27</sup> Fondo Monetario Internacional, FMI

<sup>28</sup> Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de junio de 2012

los gases GEI un 22% con relación al año de promulgación, mientras que la participación de generación limpia se fijó en un 35% para 2024.

2. En marzo de 2015, México se convirtió en el primer país en desarrollo en presentar una contribución determinada a nivel nacional (*Nationally Determined Contribution*, NDC<sup>29</sup> por sus siglas en inglés) para adherirse al Acuerdo de París<sup>30</sup>, reafirmando su compromiso de emisiones para 2050 e introduciendo un compromiso para reducir los GEI un 22% por debajo de los niveles habituales en 2030 y un 36% condicionado al apoyo externo. En total, 195 partes firmaron el Acuerdo de París y casi todas ellas presentaron la primera ronda de los NDC, aunque en muchos casos las promesas para 2030 no eran tan ambiciosas como las de México.
3. En diciembre de 2020, el gobierno presentó el NDC de segunda ronda, que reafirmó los compromisos para 2030 y 2050 y actualizó sus proyecciones de gases GEI a 804, 902 y 991 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>e (dióxido de carbono equivalente) en 2020, 2025 y 2030, respectivamente. (Las emisiones reales de 2018 fueron un 13,5% por debajo de las previstas para 2020).

Aunque la guerra de Ucrania contribuyó notablemente a cambiar la demanda de crudo en la zona de los Balcanes y a su vez en la zona de medio oriente. Aunado a este conflicto y a la pandemia del COVID, el mundo ya se enfrentaba a una crisis energética en forma de emergencia climática. Los fenómenos meteorológicos extremos de los últimos años han subrayado esta urgencia.

Si la comunidad mundial se toma en serio los objetivos a largo plazo del Acuerdo de París<sup>31</sup>(ONU,2015):

1. *reducir sustancialmente las emisiones de gases de efecto invernadero para limitar el aumento de la temperatura global en este siglo a 2 °C y esforzarse para limitar este aumento a (...) 1.5 °;*
2. *revisar los compromisos de los países cada cinco años;*
3. *ofrecer financiación a los países en desarrollo para que puedan mitigar el cambio climático, fortalecer la resiliencia y mejorar su capacidad de adaptación a los impactos del cambio climático.*

Las políticas energéticas deben avanzar a ritmo y escala nacional para transformar nuestros sistemas energéticos.

No puede pasar sin atención la gran fracción de personas que siguen viviendo en un estado de crisis energética permanente, al carecer de acceso a formas de energía limpias y convenientes, impide que se lleve una vida sana y productiva. Extender los beneficios de la economía energética moderna a todos los habitantes del planeta sigue siendo un enorme reto y una gran oportunidad para el desarrollo de tecnología y potencial humano.

Esta crisis múltiple exige una respuesta por parte de los responsables de la toma de decisiones a todos los niveles de la sociedad. Los responsables políticos son obviamente los primeros en responder, y un resultado claro de la sucesión de crisis es un mayor papel de los gobiernos.

---

<sup>29</sup> Estas contribuciones son el núcleo del Acuerdo de París y del cumplimiento de estos objetivos a largo plazo. En estas contribuciones se establecen los esfuerzos para reducir las emisiones nacionales y adaptarse a los efectos del cambio climático. El Acuerdo de París (Artículo 4, párrafo 2) pretende que, para lograr las participaciones definidas a nivel nacional, estas se preparen, comuniquen y conserven dependiendo de cada nación.

<sup>30</sup> Tratado internacional sobre el cambio climático, jurídicamente vinculante, adoptado por 196 naciones en la COP21 el 12 de diciembre de 2015, con entrada en vigor el 4 de noviembre de 2016.

<sup>31</sup> Disponible en <https://www.un.org/es/climatechange/paris-agreement>

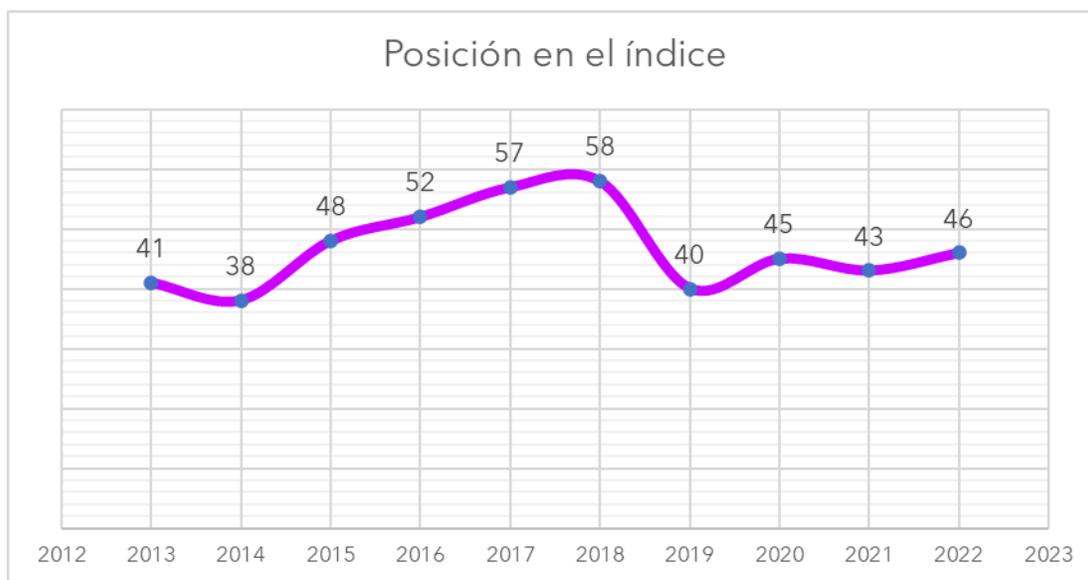
**Sin embargo, los líderes del sector energético deben afrontar el reto en el ecosistema: empresas, inversores financieros, ciudades, comunidades, grupos de reflexión, filántropos.**

La alteración de los modelos de negocio afecta a las empresas existentes y a las partes interesadas en el sector de la energía en general. Los actores de la industria energética, los inversores, los reguladores y los gobiernos deben cooperar y preparar un camino crítico que permita a sociedades enteras prosperar en esta Gran Transición.

El debate sobre la energía de las últimas décadas en el marco las disciplinas orientadas a la política han dejado claro que la simple definición física de energía como la capacidad de realizar un trabajo no engloba todas las connotaciones que conlleva la palabra. El debate sobre la *energía* en la literatura relacionada con la planificación y la política es un debate sobre un conjunto complejo de interacciones entre las formas de generación, suministro y consumo de energía, así como todas las consideraciones organizativas, económicas y de comportamientos que conllevan estas relaciones.

La distinción crítica entre oferta y demanda de energía debería ser, como mínimo, la base de todo examen de la relación entre planificación y energía. Los enfoques que adoptan una concepción unitaria de la *energía* tienden a ser casi místicos en el tratamiento de las relaciones entre las cuestiones energéticas y la planificación de recursos.

Este trabajo propone un nuevo modelo de integración de las partes que componen la compleja problemática de la planeación energética. Para llevar a cabo este modelo se procedió a identificar los fragmentos suaves de los fragmentos duros<sup>32</sup>. Esto con el fin de cubrir dinámicas que nos son abordadas en los enfoques usados en la actualidad.



**Figura 1.10 Posición de México en el índice en los últimos 10 años.  
Elaboración propia con información de los índices publicados<sup>33</sup> por el WEC**

<sup>32</sup> Revisar sección 2.1.1 Pensamiento de sistemas duros y suaves

<sup>33</sup> 2013 Energy Sustainability Index, Figura 2, página 14  
2014 Energy Trilemma Index, Figura 2, página 10  
2015 Energy Trilemma Index Figura 1, página 12  
2016 World Energy Trilemma Index, Energy Trilemma Index and Balance Scores, página 10  
2017 World Energy Trilemma Index, Figura 2, página 14  
2018 World Energy Trilemma Index, Figura 5, página 15

### 1.3 La propuesta de solución.

Con esta revisión se propone un acercamiento a un equilibrio entre todas las fuerzas e interacciones relacionadas con la planeación energética. La propuesta de solución consiste en proponer un modelo para desarrollar e implementar una planeación energética integral equilibrada.

Como se mencionó anteriormente, la problemática de la planeación energética puede abordarse como un problema de optimización, sin embargo, detalles como contratos de los participantes, legislación vigente, acuerdos internacionales entre otros, no son factores que puedan ponderarse adecuadamente al programar algún método o algoritmo que busque proponer una solución factible.

Es así como este trabajo sugiere **hacer uso del enfoque de sistemas** para enmarcar todos los participantes y todas las relaciones que intervienen en la problemática antes mencionada.

### 1.4 Supuestos.

- 1) A pesar de los muchos participantes del marco normativo y legal en la ejecución de Planes y Estrategias, el que cobra mayor relevancia es la política gubernamental, por lo que se hace la hipótesis que el país cumplirá con los objetivos planteados a nivel internacional.
- 2) Eventos como la pandemia vivida en los últimos años, conflictos internos o entre naciones suponen un riesgo inminente en la compleja dinámica de la oferta y demanda de combustibles a escala global. Con el fin de cimentar con firmeza la parte teórica de la planeación energética del país, la tendencia de precios y disponibilidad de recursos seguirá como hasta ahora.

### 1.5 Objetivos generales y específicos.

#### 1.5.1 Objetivo general.

Desarrollar y proponer un modelo de planeación, fundamentado en la creación de escenarios, incorporando el enfoque de sistemas con otras áreas de la ingeniería. De modo que facilite una **opción viable** que permita acoplarse a los distintos niveles administrativos, adaptándose al desarrollo del sector energético y sus participantes tanto públicos como privados: al delimitar la participación por tipo de energía en escenarios futuros a **largo plazo (5 a 20 años)** en la planeación energética en México, así como identificar las variables principales que pueden frenar o acelerar la transición hacia un uso mayoritario de energías limpias.

---

2019 World Energy Trilemma Index, Figura 8, página 22  
2020 World Energy Trilemma Index, página 12  
2021 World Energy Trilemma Index, página 13  
2022 World Energy Trilemma Index, página 32

### 1.5.2 Objetivos específicos.

Al construir escenarios, es posible rastrear las acciones apropiadas que deben implementarse a nivel personal, social, estatal y federal para conducir posibles cambios hacia un entorno sostenible.

- I. Sugerir un nuevo modelo de planeación que incluya distintas metodologías formales en la implementación de soluciones integrales en la problemática energética actual.
- J. Mostrar opciones e ideas para la ejecución de acciones con el fin de cumplir con los acuerdos internacionales sobre la disminución de contaminantes atmosféricos a mediano y largo plazo.

## **1.6 Conclusiones del capítulo.**

Al hacer una revisión de los documentos generados por organismos internacionales sobre la región y los países vecinos, puede realizarse una cimentación robusta que permita identificar rutas viables tomando como ejemplo regulación y gestión de proyectos usados en localidades que comparten recursos naturales, geografía y usos y costumbres definidos por cada entidad federativa y cada población.

Se considera también los ejes de investigación y documentación de una amplia gama de ingenierías y no solo la que compete a la Ingeniería Eléctrica o de Sistemas por separado.

Este esfuerzo de planeación solo cubre la parte teórica con datos que pueden obtenerse de organismos gubernamentales e internacionales con el fin de presentar un sustento robusto para hacer todas las suposiciones y rutas de acción contenidas en este trabajo. La parte operativa de plantas en particular o su parte laboral no son abordados en este ejercicio.

## 1.7 Referencias.

- 1) Arroyo. et. al. (2021) Clima. El desafío de diseño más grande de todos los tiempos.
- 2) Bradfield, R., Van der Heijden, K. (2005). The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. Futures-
- 3) Estrategia Nacional de Energía 2014-2018 Consultada el 23 de febrero de 2023 desde [referencia](#)
- 4) Fargione J., Richards R. (2017) Mexico's Energy Transition: Opportunities and Challenges for Renewables in The Solutions Journal.
- 5) Gan D., Feng D., Xie J. (2014) Electricity Markets and Power System Economics, CRC Press
- 6) Gates, B. (2020). Bill Gates sobre la energía: ¡Innovando hacia cero! Consultada el 25 de enero de 2023 desde [referencia](#)
- 7) Gay García C. (2021) México frente al cambio climático: retos y oportunidades. Consultada el 23 de febrero de 2023 desde [referencia](#)
- 8) Gelman O., Negroe G. (1982) Papel de la planeación como proceso básico de la conducción, Rev. Academia Nacional de Ingeniería, 1, 4, 253-270
- 9) Schlabbach J., Rofalski K. (2014) Power Systems Engineering. Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment
- 10) Van der Heijden, K. (2005). Scenarios: The Art of Strategic Conversation, NY: John Wiley & Sons.
- 11) WEC (2013) Energy Sustainability Index
- 12) WEC (2014) Energy Trilemma Index
- 13) WEC (2015) Energy Trilemma Index
- 14) WEC (2016) World Energy Trilemma Index
- 15) WEC (2017) World Energy Trilemma Index
- 16) WEC (2018) World Energy Trilemma Index
- 17) WEC (2019) World Energy Trilemma Index
- 18) WEC (2020) World Energy Trilemma Index
- 19) WEC (2021) World Energy Trilemma Index
- 20) WEC (2022) World Energy Trilemma Index

# Capítulo 2

---

## MARCO DE REFERENCIA TEÓRICO.

### 2.1 Enfoque de Sistemas.

El inicio y desarrollo del Enfoque de Sistemas se remonta al origen de la filosofía y la ciencia antiguas en la Antigua Grecia (Agoshkova y Akhlibininsky 1998; Blauberg 1973; Blauberg y Yudin 2012; Sadovsky y Yudin 1969).

Así, por ejemplo, el postulado de la no sumatividad<sup>34</sup> del todo procede de Platón y Aristóteles (Blauberg et al. 1984). En la Ilustración se propuso un modelo de naturaleza como un todo armonioso cuyas partes se combinan perfectamente entre sí (Wilber 1996).

Al mismo tiempo y hasta mediados del siglo XIX, la idea de sistematicidad se consideraba sólo en relación con el conocimiento, lo que se explica principalmente por el predominio en la ciencia del mecanicismo, el fundamentalismo y el reduccionismo asociados a ellos (Blauberg, 2012). El colapso de la cosmovisión mecanicista, del elementalismo<sup>35</sup> y de las ideas reduccionistas se considera una de las principales razones del surgimiento del ES (Blauberg et al. 2010; Checkland 1984; Kazaryan 2004; Sadovsky y Yudin 1969).

Checkland (1984) lo expresa de esta manera: *"El pensamiento sistémico es una respuesta a la impotencia del reduccionismo frente a la gran complejidad"*.

Se cree que el creador del ES o de la teoría general de sistemas (conceptos a menudo utilizados como sinónimos) fue el biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) (Adams et al. 2013; Adams 2012; Sadovsky y Yudin 1969). Al mismo tiempo, el propio Bertalanffy (1968) se posicionó sólo como uno de los muchos científicos que aportaron la teoría general de sistemas a la ciencia.

El término enfoque sistémico entró en uso científico en los años 60 y 70 del siglo pasado (Blauberg y Yudin 2012), cuando, según diversos investigadores (Blauberg et al. 1984; László 1973; László 1972; Sadovsky y Yudin 1969), se observó su rápido desarrollo debido a la necesidad percibida de contrarrestar la sobre especialización de la ciencia (Bertalanffy 1968; Boulding 1956; Wiener 1948), el éxito y la indudable eficacia de los estudios sistémicos (Blauberg et al. 1984), la revolución científica y tecnológica, así como la necesidad de superar la contradicción entre el aumento de la cantidad de

---

<sup>34</sup> Cada una de las partes de un sistema está relacionada de tal modo con las otras que un cambio en una de ellas provoca un cambio en todas las demás y en el sistema total. Esto es, un sistema se comporta no sólo como un simple compuesto de elementos independientes, sino como un todo inseparable y coherente. (Watzlawick, 1967).

<sup>35</sup> Tendencia a postular una separación en entidades independientes o elementos de cosas como mente y cuerpo, espacio y tiempo que solo pueden separarse verbalmente (Oxford, 2023)

información y las posibilidades limitadas de su asimilación mediante la reorganización sistémica del conocimiento (Uyomov, 1978).

Los términos *Enfoque de Sistemas (ES)* y *Teoría General de Sistemas (TGS)* fueron utilizados indistintamente en sus inicios, sin embargo, más tarde comenzaron a separarlos, entendiendo por TGS la unificación de una serie de disciplinas que implementan conjuntamente las funciones metodológicas del ES (Sadovsky, 1970; Blauberg y Yudin 1973).

Por ejemplo, en un sentido amplio, *“la teoría general de sistemas significa una ciencia fundamental que abarca toda la gama de problemas asociados con el estudio y el diseño de sistemas, mientras que en un sentido más restringido es un intento de derivar conceptos característicos de conjuntos organizados y aplicarlos a fenómenos específicos”* (Bertalanffy, 1968). Otros investigadores sugieren sustituir el término teoría general de sistemas en sentido amplio por el término *Sistemología General* (Pouvreau 2013; Pouvreau y Drack 2007; Rousseau et al. 2018).

Mele (2010) sugiere que la teoría general de sistemas es solo uno de varios enfoques de sistemas clave junto con la cibernética. Sin embargo, Bertalanffy cree que la cibernética es una teoría más especial que la teoría general de sistemas (Uyomov 1978).

En esta recopilación, se retrata al sistema como una forma de representación del objeto del conocimiento científico (Agoshkova y Akhlibininsky 1998), un constructo lingüístico y cognitivo para comprender la complejidad y organización del conocimiento (Barton y Haslett 2007) y una herramienta teórica para estudiar un objeto (Kazaryan 2004).

Los conceptos incluidos en las definiciones descriptivas difieren en su significado lógico y, por lo tanto, pueden separarse en diferentes órdenes atendiendo la influencia que se tiene sobre el número de componentes y su relación existente.

Cuando un sistema interactúa con otros sistemas, la combinación de sistemas constituye un *sistema de sistemas*. Los elementos de un sistema pueden consistir en hardware, software, seres humanos, procesos, ideas conceptuales o cualquier combinación de éstos. Los elementos de un sistema pueden incluir sistemas más allá del sistema operativo. Otros elementos pueden ser: sistema de desarrollo, sistema de formación, sistema de pruebas, sistema de producción y sistema de apoyo.

La fragmentación de elementos en porciones más pequeñas permite ver el sistema como una jerarquía con estratos definidos. Aunque un sistema puede verse de muchas maneras, la visión jerárquica es una de las más comunes. Esta categorización jerárquica reduce la percepción de complicación a la par de que permite contener, encapsular y ocultar la complejidad.

La agrupación de elementos dentro de un sistema constituye un subsistema. Estos subsistemas se sitúan en un nivel adecuado al problema que se pretende resolver. Cada agrupación, o subsistema, se identifica normalmente por la función que desempeña.

A continuación, se presenta un orden jerárquico para tener una mejor comprensión de los elementos que componen un sistema.

- **Conceptos de 1º orden:** *conjunto, totalidad, complejo, grupo* y otros

A los conceptos de 1º orden, se incluyen conceptos de *conjunto, totalidad, complejo, grupo*, así como los menos utilizados de *arreglo, conglomerado, ensamblaje* y otros. Los conceptos de primer orden también incluyen los conceptos de *conjunto, integridad y unidad íntegra*". No todo conjunto es un sistema, por lo que las definiciones de sistema contienen otros conceptos que lo caracterizan.

- 1. Conceptos de 2º orden:** *elementos, componentes, unidades, partes, subsistema* y otros

Los conceptos de 2º orden denotan las unidades mínimas de los sistemas (Spirkin, 1990). Es decir, aquellas partes del sistema que, debido a la homogeneidad de sus propiedades en el marco de este sistema, son indivisibles (Surmin 2003), representando así el límite de fisión del sistema.

Para hacer más exactos estos conceptos emplean las siguientes características: material, físico, natural o hecho por el hombre, funcional y otros. Entre los conceptos de segundo orden utilizados en las definiciones de sistema, el más exacto y correspondiente al concepto de "unidades mínimas del sistema", es el concepto de "elementos", por lo que es el que se usará en este trabajo.

Algunos de los conceptos de *componentes* y *subsistemas* como conceptos de 2º orden son mucho menos acertados, ya que pueden entenderse no sólo como unidades mínimas separadas de los sistemas, sino también como conjuntos no relacionados de estas unidades (Ackoff, 1971).

- 2. Conceptos de 3º orden:** *interconexión, interdependencia, interacción, relación, estructura* y sus derivados

Los elementos del sistema no existen por sí solos, están interconectados, por lo que, en las definiciones de sistema, se utilizan conceptos de 3º orden. También puede usarse el concepto de *estructura* a los conceptos de 3º orden, ya que indica no sólo una cierta disposición mutua de los elementos del sistema en el espacio, sino también la interconexión y las relaciones entre estos elementos (Kazaryan 2004; Sadovsky 2010; Surmin 2003).

- 3. Conceptos de 4º orden:** *propiedad emergente, emergencia, integridad, unidad íntegra, totalidad íntegra, todo unificado* y otros.

El resultado de la interconexión e interconectividad de los elementos del sistema es la aparición en éste de una propiedad cualitativamente nueva, denominada emergente o integradora. Esta propiedad se entiende como una propiedad del sistema en su conjunto, pero no de ninguno de sus elementos, o la irreductibilidad de las propiedades del sistema a la suma de las propiedades de sus elementos (Surmin 2003; Jackson et al. 2010).

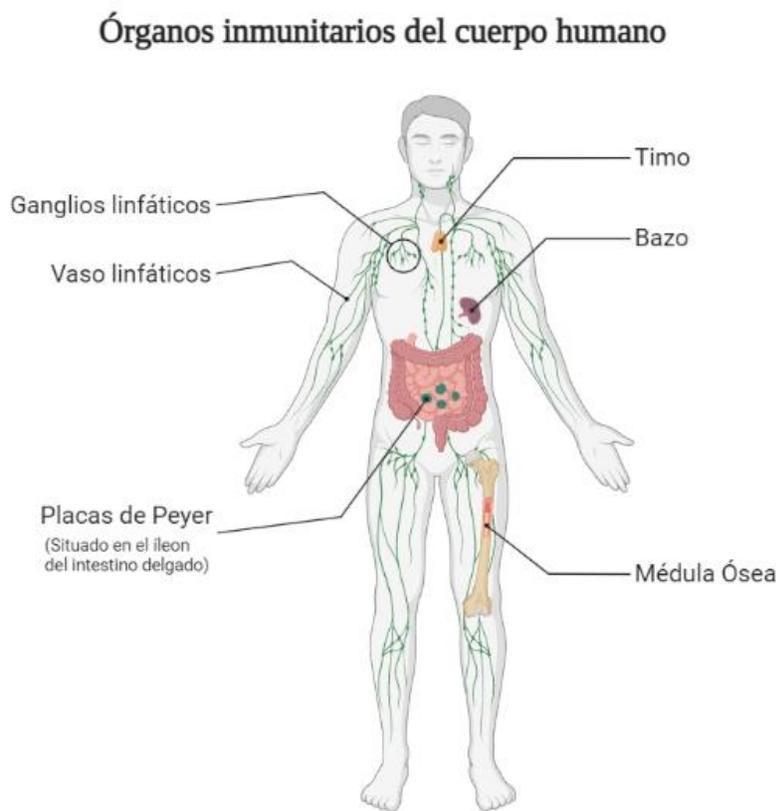
- 4. Conceptos de 5º orden:** *entorno, límites, aislamiento* y derivados

Otra característica que define al sistema es la presencia del entorno del sistema, es decir, todo lo que está fuera del sistema y de una forma u otra le afecta; al mismo tiempo, el propio sistema también puede afectar al entorno (Ackoff 1971; Hall y Fagen 1956; Kazaryan 2004). La influencia mutua del sistema y su entorno se lleva a cabo a través de las entradas y salidas del sistema (Ashby 1958).

Así pues, es obvio que los conceptos de *entorno*, *límites*, *aislamiento del sistema* y sus derivados están interrelacionados y caracterizan la misma propiedad del sistema. Por lo tanto, nos referimos a todos ellos como conceptos de 5º orden.

Es fundamental que todo sistema creado por el hombre tenga una finalidad y que esta finalidad se refleje en la identificación de la función del sistema. De ello se deduce que cada elemento del sistema tiene una función. Un sistema y sus elementos pueden tener múltiples funciones y varios elementos pueden desempeñar una única función conjuntamente.

Hay que tener en cuenta que los límites de los sistemas pueden ser no sólo espaciales, sino también temporales. Al mismo tiempo, el concepto de *tiempo*, según Uyomov (1978), no debe introducirse en la definición de sistema, ya que hay sistemas que no tienen límites temporales.



**Figura 2.1 Ejemplo de los componentes de un sistema en el cuerpo humano**  
**Elaboración propia en BioRender**

Todos los sistemas están organizados jerárquicamente. En otras palabras, nuestro mundo, unestro entorno( y el mismo cuerpo humano) es un sistema de sistemas o un sistema de sistemas de diferentes niveles jerárquicos. La jerarquía de los sistemas consiste en que cada sistema es un elemento de un sistema de un nivel jerárquico superior (suprasistema); al mismo tiempo, sus elementos son sistemas de un nivel jerárquico inferior (subsistemas) (Hall y Fagen 1956; Mesarovic et al. 1970; Sadovsky y Yudin 1969; Sadovsky 2010; Simon 1962; Whyte et al. 1969).

De acuerdo con Mele (2010) "Todo sistema está en relación con sus suprasistemas y subsistemas". Según Boulding (1956), una de las ventajas de definir una jerarquía de sistemas es que nos permite conocer las lagunas del conocimiento teórico y empírico.

Los ejemplos de jerarquías de sistemas son las siguientes cadenas o secuencias:

átomos -> moléculas -> células -> organismos -> poblaciones -> ecosistemas -> unidades sociales -> materia -> vida -> mente -> sociedad (Gnoli 2020; Kleineberg 2017).

La Figura 2.3 muestra un ejemplo de cómo puede visualizarse estas jerarquías desde un átomo hasta una población.

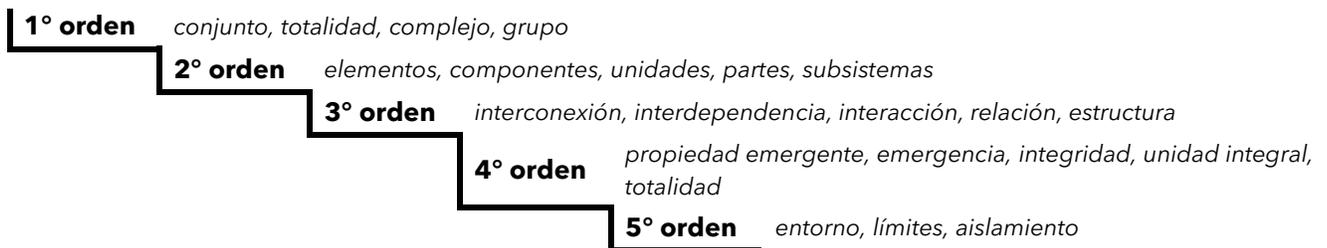


Figura 2.2 Orden jerárquico de los elementos de un sistema  
Elaboración propia.

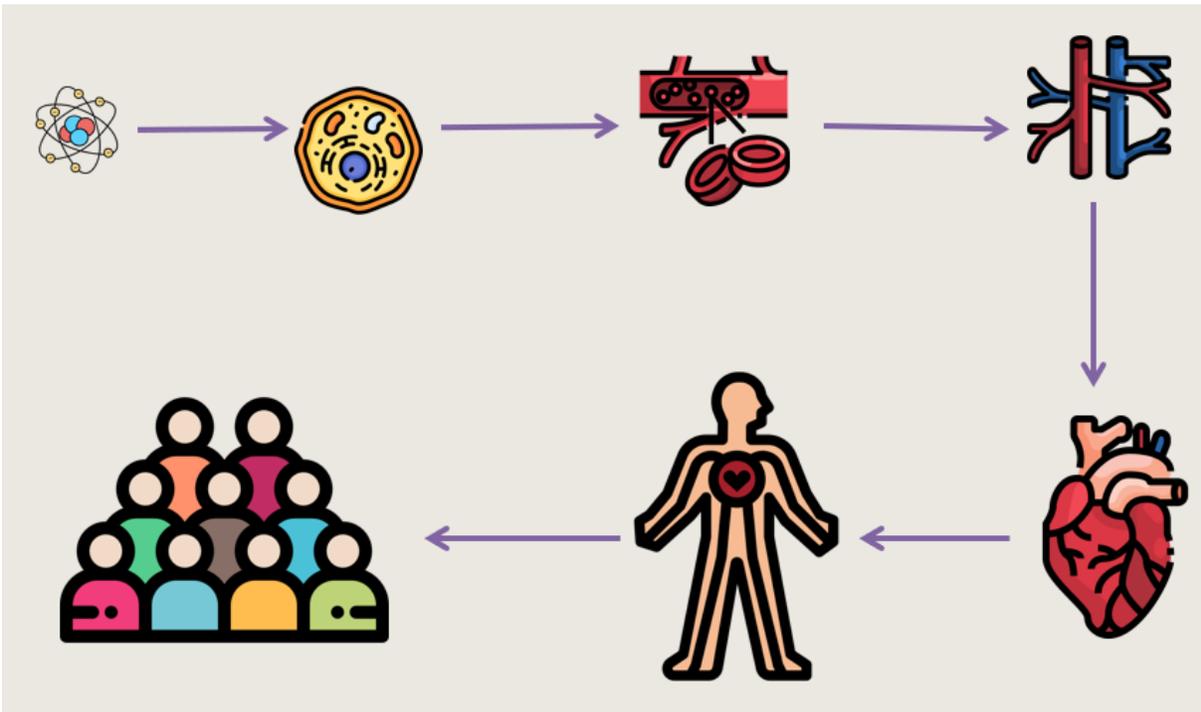


Figura 2.3 Orden jerárquico según Gnoli y Kleineberg  
ELABORACIÓN PROPIA.

### 2.1.1 Pensamiento de sistemas duros y suaves.

Russel Ackoff (1973) establece sistema como “Un conjunto de elementos interrelacionados”. Es así como, en un amplio sentido, las unidades y sus relaciones son el sistema mismo.

Dos décadas después Peter Checkland (1993) formaliza también esta lógica de que las relaciones entre unidades es un factor importante: “El concepto central sistema engloba la idea de un grupo de elementos conectados entre sí, que forman un todo, que muestra propiedades que son propiedades del todo y no sólo propiedades de sus partes componentes”.

Como ya se mencionó, el Enfoque de Sistemas permite resolver problemas de mejoramiento o corrección y problemas de planeación como los de creación o modificación de sistemas. Este último se utiliza cuando se requiere crear, expandir o contraer el sistema.

Existe una dicotomía<sup>36</sup> entre la teoría de sistemas duros o rígidos y la teoría de sistemas suaves o flexibles.

Los sistemas duros o rígidos son típicamente los encontrados en las ciencias físicas y a los cuales se puede aplicar satisfactoriamente las técnicas tradicionales del método científico y del paradigma de ciencia. Por otro lado, los sistemas suaves están caracterizados con modelos conductuales cambiantes y dinámicos cuando interactúan con su medio; típicamente del dominio de las ciencias sociales conductuales y artísticas.

Los sistemas duros se identifican como aquellos en que interactúan individuos y maquinas. La componente social de estos sistemas se considera como si la actuación o comportamiento del individuo o del grupo social solo fuera generador de estadísticas. En los sistemas duros se cree y actúa como si los problemas consistieran solo en escoger el mejor medio, el óptimo, para reducir la diferencia entre un estado que se desea alcanzar y el estado actual de la situación.

### 2.1.2 Sistemas Duros.

Los conceptos básicos de sistemas representan una excelente manera de analizar y tratar sistemas tanto duros como blandos.

En general los sistemas permiten procesos de razonamiento formal en los cuales las derivaciones Lógico - matemáticas representan un papel muy importante. En esta forma podemos ver que los experimentos realizados en estos sistemas son repetibles y la información y evidencia obtenida de los mismos puede ser probada cada vez que el experimento se repita teniendo así relaciones de tipo

#### **Causa - Efecto.**

Los sistemas duros al ser estudiados, observados y analizados poseen propiedades que no se prestan a interpretaciones de diferente significado dependiendo del grado de preparación y conocimiento que el responsable del estudio posea. La objetividad de los sistemas duros proporciona además

---

<sup>36</sup> División de un concepto o una materia teórica en dos aspectos, especialmente cuando son opuestos o están muy diferenciados entre sí. (Oxford, 2023)

grandes ventajas para la aplicación de técnicas cuantitativas que requieren de variables fáciles de identificar y que representan la característica del sistema bajo consideración.

Otra característica que se ha encontrado en el tratamiento de los Sistemas Duros es la relativa sencillez con la cual sus operaciones, características, relaciones y objetivos se pueden expresar en términos matemáticos.

### 2.1.3 Sistemas Suaves.

A los sistemas suaves (*soft systems*) pueden aplicarse la metodología del paradigma de sistemas. En lugar de basarnos estrictamente en métodos formales de pensamiento, debemos tomar en cuenta lo siguiente:

- i. Los procesos de razonamiento informales, como el juicio y la intuición.
- ii. El peso de los datos comprobados, derivados de unas cuantas observaciones y muy poca oportunidad de réplica.
- iii. Las predicciones basadas en datos comprobados endebles, más que en explicaciones.
- iv. Mayor discontinuidad de dominio y la importancia del evento único.

Los sistemas suaves se identifican como aquellos en que a la parte social se le da mayor importancia. El comportamiento del individuo o del grupo social se toma como un sistema teleológico<sup>37</sup>, con fines, con voluntad, un sistema pleno de propósitos, capaz de desplegar comportamientos, actitudes y aptitudes múltiples.

Un sistema suave es un sistema con propósitos, que no solo es capaz de escoger medios para alcanzar determinados fines, sino que también es capaz de seleccionar y modificar sus fines. En estos sistemas se dificulta la determinación clara y precisa de los fines en contraste a los sistemas duros. La problemática en los sistemas suaves no tiene una estructura fácilmente identificable.

La Teoría General de Sistemas a través del Enfoque de Sistemas posee conceptos e ideas que sirven para el tratamiento de ambos tipos de sistemas. Este último es precisamente una diferencia que surgió ante los resultados insatisfactorios que se obtuvieron al extrapolar las metodologías de sistemas duros a sistemas suaves. En la Teoría General de Sistemas se define a un sistema como un conjunto de elementos interrelacionados entre sí que buscan lograr un objetivo. Al utilizar esta definición observaremos que tanto los sistemas duros como blandos son conceptualizados de la misma manera.

De acuerdo con Checkland (1993) los tipos de problemas que pueden encontrarse son:

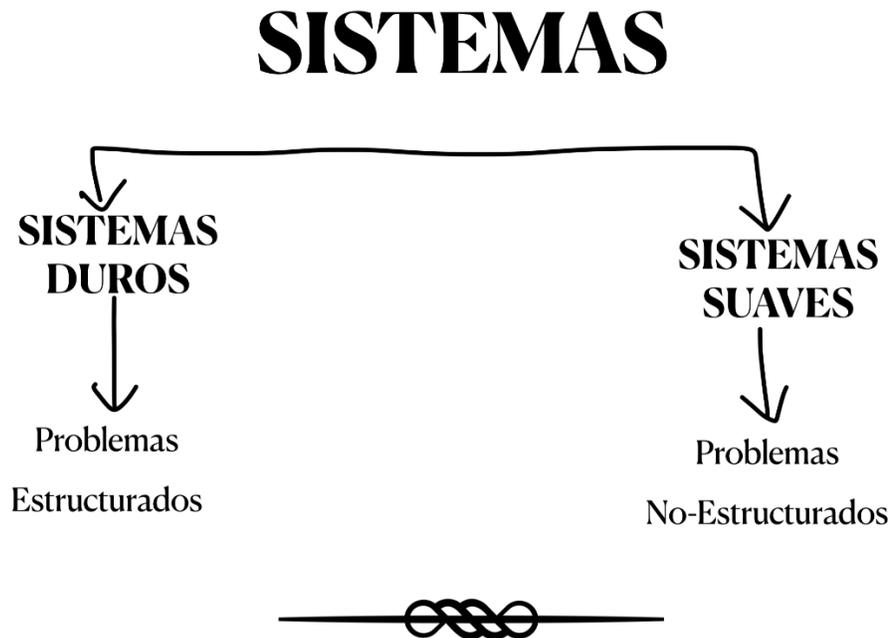
Problemas no estructurados que están manifiestos en un sentimiento de inquietud, pero no se pueden formular explícitamente sin este intento aparente por simplificar la situación.

---

<sup>37</sup> Teleológico es un adjetivo que denota la cualidad de indagar en el sentido último de la realidad, de la vida o de los seres. Es relativo a la teleología, una rama de la filosofía que se encarga de estudiar o reflexionar a propósito del fin último de la existencia. (Oxford, 2023)

Los contenidos de dichos sistemas son tan multivariados, y las influencias a las que están sujetos tan numerosas, que el paso del tiempo siempre modifica la percepción del problema, siempre son subjetivas y cambian con el tiempo.

Un problema relacionado con las manifestaciones del mundo real de los sistemas de actividad humana es una condición, caracterizada por un sentido de desajuste, que alude la definición precisa, entre lo que se percibe como la realidad y lo que se percibe que podría ser la realidad.



**Figura 2.4 Pensamiento de sistemas duros y suaves**  
Elaboración propia

#### 2.1.3.1 La Metodología de Sistemas Suaves (MSS).

En el contexto de esta metodología, el estudio del sistema se inicia con su ubicación geográfica para continuar con el análisis de su entorno, lo que permite la formulación de diseños opcionales que deben someterse a una evaluación previa. Posteriormente, se selecciona el diseño que se vaya a implementar y se inicia la operación y control del sistema.

A continuación, se explica el significado de cada una de las fases:

- Ubicación del sistema.

El sistema debe estudiarse en el entorno en que se desenvuelve, para lo que se definen tres dimensiones básicas como lo muestra la Figura 2.5:

- **Temporal** que se refiere a la duración del nuevo sistema;

- **Espacial** que se refiere a su ubicación geográfica y que aborda las necesidades y características del sistema (mundial, internacional, nacional, regional, estatal, municipal, local o puntual)
- **Sectorial** que clasifican al sistema en una de las tres ramas de actividad económica: primaria (agricultura y pesca), secundaria (industrial, manufactura y transformación) o terciario (comercio y/o servicios).



Figura 2.5 Ubicación del sistema  
Elaboración propia

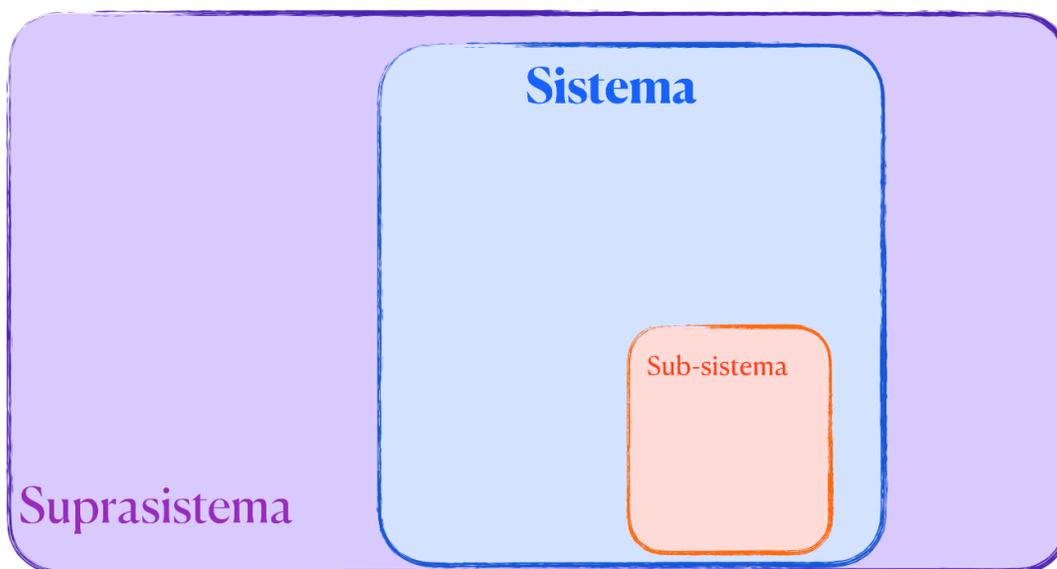


Figura 2.6 Localización sectorial del sistema  
Elaboración propia

- o Análisis del entorno.

En esta fase se realizan los diseños alternativos, para lo que es necesario el conocimiento de sus elementos específicos y el detalle de los componentes que lo configuran. En el caso de sistemas nuevos el entorno se compone de los sistemas que realizan funciones similares en la misma ubicación sectorial (*competencia*) (Checkland, Sholes, 1994). La investigación que se realice en esta fase ayudará a caracterizar a los usuarios finales, el servicio o bien a producir, la manera de producción y las necesidades de recursos. Esta exploración es similar a un estudio de mercado.

La investigación también contempla información financiera para estimar las necesidades de capital, los análisis y proyecciones de gastos e ingresos e identificar las fuentes o programas de financiamiento. Cuando el sistema ya existe, es decir se aborda un problema de contracción o expansión, la búsqueda de información se facilita ya que se integra la información que genera el mismo sistema.

o Elaboración de diseños.

Esta fase es una de las principales diferencias entre el método de sistemas y el método científico ya que se está creando el objeto de estudio (el sistema productivo). En esta se condensa o resume la información obtenida en el análisis del entorno. Lo sugerido es que lo primero que se diseñe sea el producto o servicio que se producirá con el sistema, en seguida se determinan los medios necesarios para la producción: Instalación de la planta, diseño de proceso, tecnología seleccionada, etc. Con esto definido, se pueden identificar las fuentes de financiamiento para la implementación, la operación y el control. A continuación, se definen los insumos junto con el plan para los desechos del sistema. Finalmente, se diseña la manera de cómo se administrará el sistema, (Checkland, 1993). la cual debe ser coherente con el proceso de producción y deben delimitarse los flujos de información requeridos.

La definición raíz (*root definition*, RD) bien formulada genera por sí misma el modelo del sistema humano que se está estudiando. Para obtener correctamente dicha definición, debe definirse los siguientes elementos, **CATWOE** (Checkland, Sholes, 1994). (*como regla mnemotécnica*):

<b>(C) CLIENT.</b>	CLIENTE	Es el beneficiario o afectado por la actividad principal.
• <b>ACTOR</b>	ACTOR	Los agentes que llevan a cabo, o gestionan que se lleven a cabo las actividades del sistema o los procesos de transformación.
<b>(T) TRANSFORMATION</b>	TRANSFORMACIÓN	Es la esencia de la definición de raíz, es la transformación que lleva a cabo el sistema.
<b>(W) WELTANSCHAUUNG</b>	VISIÓN DEL MUNDO	La perspectiva o el marco de referencia que hace que la RD tengan significado
<b>(O) OWNER</b>	PROPIETARIO	Propietario del sistema
<b>(E) ENVIRONMENT</b>	ENTORNO	Son las restricciones debidas al ambiente en el que se encuentra el sistema. Pueden ser sistemas de orden superior

**Tabla 2.1 Componentes del CATWOE**  
Elaboración propia

El número de variantes o versiones dependerá de las diferentes visiones del mundo (**W**) para cualquier actividad con un propósito definido. El núcleo de **CATWOE** es el acoplamiento del proceso de transformación **T** y **W**. Las **RD** y el **CATWOE** es el núcleo de los "sistemas de actividad humana" con propósito definido.

Para la construcción conceptual del modelo de un sistema de actividad humana se tienen que identificar un conjunto de actividades que se interconectan. El lenguaje básico utilizado para construirlo se compone de todos los verbos del lenguaje del analista y el modelo se forma con la menor cantidad de verbos con los que se describe el sistema en la **DR**. Para representar al sistema como un ente, los verbos deben enlazarse a través de flechas que indican dependencias lógicas. En la representación de flujos, debe indicarse la naturaleza de estos. Una vez que esta primera versión del modelo ha sido construida puede utilizarse como base para versiones futuras (Checkland, 1993)

Puntualmente los pasos para construir un modelo de sistema suave a partir de una definición de raíz son los siguientes:

- De las **RD**, incluyendo los elementos del **CATWOE**, generar una idea del sistema como una entidad autónoma llevando a cabo un proceso de transformación físico o abstracto.
- Reunir un número pequeño de verbos que describan las actividades esenciales del sistema.
- Cuando así lo justifique la **RD** agrupar los verbos que conjunten actividades similares.
- Conectar las actividades (y grupos de actividades) con flechas que indiquen dependencias lógicas.
- Indicar los flujos (concreto o abstractos) que sean esenciales para expresar qué es lo que hace el sistema. Tener cuidado en diferenciarlos de las dependencias lógicas mencionadas en el punto 4.
- Revisar que la **RD** y el modelo conceptual sean coherentes sobre lo que el sistema es y hace.

En la construcción de estos modelos se pueden identificar algunos errores que deben evitarse, como:

- Formular **RD** con varias transformaciones y/o varias cosmovisiones.
- Identificar a los Clientes (**C**), en el **CATWOE**, no como a los afectados más directos y de manera inmediata, sino aquellos más lejanos.
- Fallas en la deducción de las dependencias lógicas
- Inconsistencias en el lenguaje de modelado, incluir sustantivos como elementos en lugar de sólo verbos.
- Incluir actividades que son resultado de algo pero que no son en sí mismas llevadas a cabo por el Actor
- El error más común es introducir en el modelado partes del mundo real en lugar de basarse exclusivamente en el modelo del sistema enunciado en la **RD**.

Cabe mencionar aquí que sí es válido introducir las restricciones del mundo real en el modelo y que es importante enfatizar que los modelos conceptuales simplemente ayudarán a coordinar una discusión en el mundo real.

○ Evaluación de diseños alternativos.

La evaluación es "un mecanismo mediante el cual se emite juicio sobre los impactos que las diferentes alternativas producen en los diversos integrantes del sistema" (Ochoa, 1997).

Para la evaluación se requiere establecer parámetros que indiquen qué es lo que se espera de cada diseño, dados los objetivos establecidos desde el inicio. De igual manera, se debe establecer una matriz de evaluación que muestre en los renglones a los elementos que conforman el sistema productivo (propietarios, personal, recursos financieros, proveedores, usuarios, competidores, sociedad cercana y el resto); y en las columnas los factores que pueden interesarle a cada uno de estos actores (financieros, económicos, sociales, políticos, culturales, técnicos, ecológicos, estéticos). En cada celda se colocan los valores de indicadores estimados para cada opción. Los resultados se comparan contra una matriz patrón que presentará los resultados de los sistemas similares de la misma ubicación sectorial.

○ Selección.

En esta fase se elige el diseño que mejor se ajuste a los objetivos trazados, de acuerdo con la evaluación realizada. Esta etapa está conformada por 4 elementos (Checkland, 1993):

- Las alternativas a seleccionar con sus respectivos parámetros
- El grupo que toma las decisiones
- Los objetivos que se persiguen
- El grado de conocimiento que se tenga de la realidad y la actitud tomada (incertidumbre, certidumbre, riesgo).

○ Implantación.

En esta fase el diseño se hace realidad. Debe de considerarse que el entorno es cambiante por lo que es posible que el medio ambiente que existía al diseñar el sistema haya cambiado por lo que debe hacerse una revisión de los elementos que hayan cambiado.

○ Operación y control.

La fase de operación se da al establecer el sistema, es el período que hay entre la puesta en marcha de las operaciones y que éstas se ejecuten de manera satisfactoria (Checkland, Scholes, 1994). Por su parte, en la fase de control se busca que se logren los objetivos establecidos y de ser necesario, se realizan las modificaciones pertinentes para que el sistema funcione.

Un sistema, u **holón**, se caracteriza por ser un conjunto de elementos estructurados, con funciones definidas y que persigue un fin (Checkland, Scholes, 1994). Este se compone mínimo de dos subconjuntos: el que realiza las actividades que dan sentido y un fin, y el sub-holón que realiza actividades de monitoreo y control.

Para evaluar que el sistema está trabajando adecuadamente se puede recurrir a los criterios de "3 E", a través de los que se puede juzgar si las acciones están funcionando para cumplir el fin (**Eficacia**), el uso de recursos es mínimo (**Eficiente**) y el proceso está contribuyendo a la obtención de un objetivo a largo plazo (**Efectividad**). A estos se les puede agregar una evaluación para la **Ética** (proceso honrado) y **Estético** (elegante o bello).

En la Figura 2.7 se puede notar que en el modelo se contemplan dos dominios diferentes, por un lado, el mundo real en el que se realizan las actividades E1, E2, E5, E6 y E7, mientras que las fases E3 y E4 se desarrollan en un contexto conceptual, son representaciones abstractas: la **definición raíz** del sistema y el concepto del modelo que mejorará la situación problemática, desde el punto de vista del analista.



Figura 2.7 Representación de los 7 estadios de la Metodología de Sistemas Suaves  
Elaboración propia

Esta metodología ubica dos tipos de actividades:

- **La actividad en el mundo real o en la parte superior del esquema**
  - ✓ Hay actividades en el mundo real que necesariamente involucran a las personas en la situación problemática.
  - ✓ Estamos en el mundo real con todas las perturbaciones implicadas.
  - ✓ El lenguaje corresponde al lenguaje normal de la situación del problema.
- **Actividades en el dominio del Pensamiento de Sistemas, en la parte inferior del esquema**
  - ✓ Esta es la actividad del "pensamiento sistémico" que puede incluir o no tareas en una situación problemática, dependiendo de las circunstancias individuales del estudio.
  - ✓ El lenguaje será el lenguaje de sistemas, porque es en estas etapas (E3 y E4) que la complejidad del mundo real resolverá y comprenderá como resultado de la traducción a un lenguaje de nivel superior (o metalenguaje) donde todos los pensamientos son claros.
  - ✓ Los modelos de sistemas de actividad humana son construcciones intelectuales, ideales que se utilizarán en la discusión que no intentan describir la realidad.
  - ✓ Los conceptos sistémicos se utilizan para sobrepasar las características superficiales.
  - ✓ Hay una diferencia considerable a la de pensar en el mundo real.

El método de sistemas tiene dos versiones básicas para la resolución de problemas: el de **planeación** y el **operacional**. Con el de planeación se abordan problemas de creación, de expansión o de reducción, mientras que el segundo se utiliza en problemas de mejora o de corrección. La diferencia básica entre estos es que, mientras que en el primero se crea el sistema, en el segundo se interviene a un sistema que ya existe y se encuentra en marcha. Estos dos métodos no son independientes y pueden combinarse entre sí de acuerdo con la necesidad del problema que se aborda.

## **2.2 Planeación como un Proceso Básico de Conducción.**

El apartado anterior identificó a la planificación como un proceso fundamental en la construcción o elaboración de una idea o proyecto. Un proyecto puede dividirse en partes más pequeñas y manejables, a cada una de las cuales se le asignan metas y objetivos específicos. El concepto de conducción consiste en controlar el objeto conducido a través de la acción de asegurar un proceso de cambio controlado (incluyendo el no cambio) y elegir la trayectoria apropiada para completar ese cambio (Gelman, 1982)

El plan también considera actividades adicionales que apoyen el proceso de conducción, visualizando y especificando actividades que permitan llevar a cabo objetos, objetivos y rutas de acción, directamente, a través de programas y proyectos, e indirectamente a través de criterios de selección, incluidos en la normativa aplicable, son genéricos y por lo tanto útiles en caso de cambios inesperados.

Los elementos que aporta la planificación amplían la experiencia: toman decisiones de forma ilimitada, proporcionan marcos conceptuales, fundamentos teóricos y criterios para anticipar y prevenir problemas futuros o mitigarlos, por lo que se enriquece el procedimiento de toma de decisiones (Gelman, 1982).

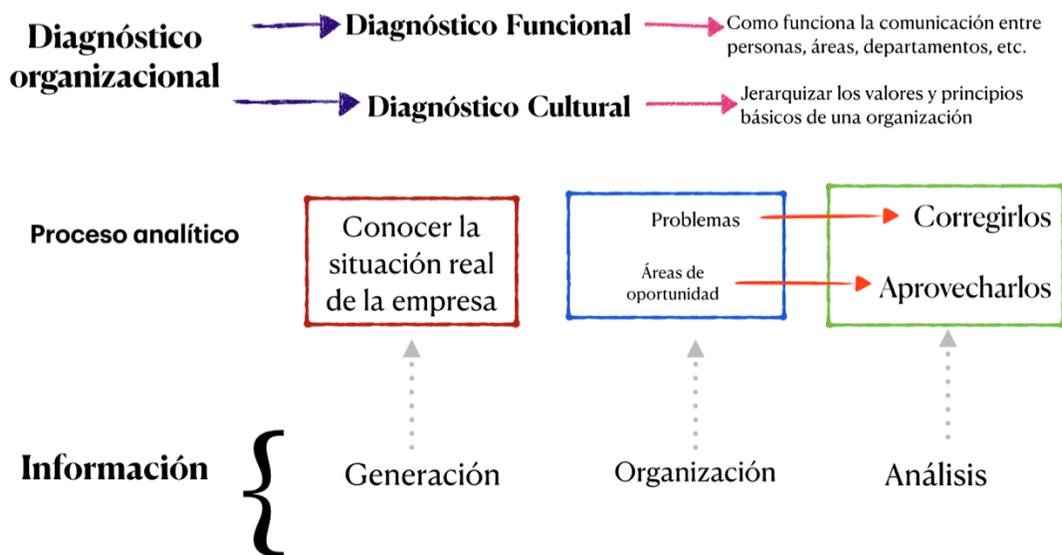
### 2.2.1 La etapa de diagnóstico.

El diagnóstico se refiere al proceso de identificar problemas o cuestiones en un proyecto o estructura de construcción. Este proceso suele implicar un análisis exhaustivo del objeto para determinar la causa y el alcance de los problemas, así como las posibles soluciones para resolverlos.

El diagnóstico es un paso fundamental, ya que permite identificar los problemas en una fase temprana, lo que puede evitar problemas más importantes en el futuro.

Además, el diagnóstico en la construcción también puede referirse a la identificación de problemas relacionados con la gestión y planificación del proyecto. Este tipo de diagnóstico puede implicar el análisis de la documentación del proyecto, los calendarios, los presupuestos y los protocolos de comunicación para identificar las áreas en las que se pueden realizar mejoras. Al diagnosticar problemas en la gestión y planificación de proyectos, los planificadores pueden identificar oportunidades para racionalizar procesos, reducir costos y mejorar la eficiencia general del proyecto.

El proceso de diagnóstico puede implicar una combinación de técnicas, como inspecciones visuales, ensayos no destructivos, ensayos de materiales y análisis de la documentación del proyecto. Una vez identificados los problemas, puede elaborarse un plan para resolverlos y garantizar que el proyecto o plan sean seguros y funcionales.



**Figura 2.8 Esquema general del diagnóstico de empresas**  
Elaboración propia

## 2.3 El Concepto de Escenario y su Construcción.

El concepto de escenario es antiguo, ya que desde los tiempos más remotos la gente se ha interesado por el futuro y ha utilizado los escenarios como herramienta para explorar indirectamente el futuro de la sociedad y sus instituciones. En este contexto, los escenarios suelen adoptar la forma de tratados sobre utopías y distopías y, como tales, tienen una larga historia que se remonta a los escritos de los primeros filósofos, como la descripción que hace Platón de su República ideal y los visionarios desde Tomás Moro a George Orwell (Bradfield, 2005). Sin embargo, como herramienta de planificación estratégica, las técnicas de escenarios están firmemente arraigadas en el ámbito militar y han sido empleadas por estrategias militares a lo largo de la historia, generalmente en forma de simulaciones de juegos de guerra.

A pesar de su larga historia en el ejército, los primeros esbozos documentados de lo que hoy podríamos considerar escenarios no aparecen hasta el siglo XIX, en los escritos de Von Clausewitz y Orwell.

Sin embargo, las técnicas modernas de escenarios no aparecieron hasta la posguerra, y en la década de 1960 surgieron dos centros geográficos en el desarrollo de dichas técnicas: Estados Unidos y Francia (Bradfield, 2005).

Después de la Segunda Guerra Mundial, el Departamento de Defensa de Estados Unidos se enfrentó a la tarea de decidir qué proyectos debían financiarse para el desarrollo de nuevos sistemas de armas, una empresa difícil dada la creciente complejidad de los sistemas de armas derivada de los avances realizados en las ciencias durante los años de guerra.

A la dificultad de la tarea se añadía la gran incertidumbre a la que se enfrentaban los responsables de la toma de decisiones en tres frentes. En primer lugar, el resultado final del desarrollo de nuevos sistemas de armas, que por lo general exigía largos plazos de entrega, era en sí mismo incierto. En segundo lugar, con la caída del "telón de acero" existía un alto grado de incertidumbre en cuanto al futuro entorno político en el que se desplegarían los sistemas que se estaban desarrollando; y por último, la incertidumbre en cuanto a la eficacia de los sistemas finalmente desarrollados, ya que ésta dependería en gran medida de los sistemas de armamento que estuvieran desarrollando otras naciones (Van der Heijden, 2005).

La toma de decisiones en esta situación dio lugar a priorizar la identificación de dos necesidades específicas:

- Una metodología que recogiera el consenso confiable de la opinión de un grupo amplio y diverso de expertos.
- Desarrollar modelos de simulación de entornos futuros que permitan investigar diversas alternativas políticas y sus consecuencias.

Esta urgencia de conocer y compilar la opinión de expertos detonó el desarrollo de la técnica Delphi, y la necesidad de modelos de simulación condujo al desarrollo de un enfoque conocido como "Enfoque de Sistemas", del que surgió el uso explícito de la técnica de escenarios (Bradfield, 2005).

Ambas técnicas fueron desarrolladas en los años 50 por The Rand Corporation (*acrónimo de Research and Development*), un grupo de investigación que surgió de un proyecto conjunto entre las Fuerzas Aéreas de E.U. y la compañía Douglas Aircraft en 1946 y que, hasta los años 60, se dedicó casi exclusivamente a la investigación y el desarrollo (Van der Heijden, 2005).

Fue la combinación del desarrollo de los equipos de cómputo (que proporcionaron la capacidad de procesamiento de datos necesaria para simular soluciones a "problemas de otro modo insolubles"), la teoría de juegos (que proporcionó la estructura teórica para la investigación de la interacción social) y la necesidad del ejército estadounidense de modelos de simulación de juegos de guerra, lo que proporcionó la plataforma para la aparición de técnicas de escenarios en la Rand Corporation.

Utilizando esta plataforma, Herman Kahn, la máxima autoridad en Defensa Civil y planificación estratégica de la Rand Corporation en la década de 1950, comenzó a desarrollar escenarios para el Mando de Misiles del Sistema de Defensa Aérea, un sistema de alerta temprana a gran escala. Kahn, acreditado por haber acuñado la frase "pensar en lo impensable", demostró mediante una combinación de hechos y lógica, que la planificación militar tendía a basarse en ilusiones más que en "expectativas razonables". El objetivo de utilizar escenarios como herramienta para pensar en lo impensable era buscar alternativas serias a la conquista y la eliminación, y su trabajo tuvo un gran impacto en el pensamiento del Pentágono en los años 1950 y 1960.

Sin embargo, debido a la naturaleza especializada y clasificada de este trabajo, el contenido y la metodología de este trabajo pionero en escenarios modernos no se dieron a conocer ampliamente hasta 1960, cuando Kahn publicó un libro titulado *On Thermonuclear War (Sobre la guerra termonuclear)*.

En 1961, Khan abandonó la Rand Corporation y fundó el Instituto Hudson, donde empezó a aplicar su metodología de escenarios a la previsión social y las políticas públicas. Posteriormente, fue autor o coautor de numerosos artículos en periódicos, revistas y periódicos, y publicó libros, muchos de los cuales incorporaban escenarios "futuristas", el más polémico fue *El año 2000: La guerra termonuclear* (1967).

Este libro se considera considerado un hito en el campo de la planeación de escenarios porque, según Raubitschek (1988):

- Proporcionó una de las primeras definiciones de "escenario" e introdujo la palabra en la literatura sobre planeación.
- Demostró el uso de escenarios como herramienta metodológica para la planificación de políticas y la toma de decisiones en entornos complejos e inciertos.

- Influyó notablemente en el posterior desarrollo y difusión de las técnicas de escenarios como herramientas de planificación en los Estados Unidos, al proporcionar una base metodológica para otros estudios futuros similares.
- Generó una gran controversia que dio lugar a numerosos contra estudios, igual de controvertidos, que sirvieron para acentuar la atención sobre los escenarios y las técnicas de escenarios.

Como consecuencia de lo anterior, en la literatura se suele hacer referencia a Kahn como el "padre" de la planificación de escenarios moderna (Bradfield, 2005).

Poco después de su salida de la Rand Corporation, otros dos antiguos alumnos, Helmer y Gordon, también se marcharon y fundaron el Future Institute. Animados por la publicidad y la controversia que suscitaron los libros de Khan, Helmer, Gordon y Dalkey junto con varias personas, empezaron a experimentar con los escenarios como herramienta de planificación y se convirtieron en los pioneros del campo de los estudios de futuro en Estados Unidos.

Aunque, al igual que Kahn, estos pioneros se ocuparon inicialmente de los escenarios como herramienta de planificación de políticas públicas, sus trabajos no tardaron en trasladarse a la comunidad empresarial y el primer uso ampliamente documentado de los escenarios en el contexto de los negocios fue la experiencia de la empresa Royal Dutch Shell (Shell), que adoptó la planificación por escenarios como estrategia permanente en 1972-1973 (Lorenz, 1990) y que, junto con los trabajos del SRI, dio lugar a lo que Godet (2000) describe como la Escuela Angloamericana de Planificación por Escenarios, pero es más conocida como la escuela o metodología de planificación por escenarios de la "Lógica Intuitiva"(Huss, 1987).

Los escenarios han sido definidos de diferentes formas, tales como:

- i. Historias paralelas, que anticipan la manera de cómo se desarrollará el futuro, construidas por los investigadores o por los participantes en un taller realizado para tal fin (Bezold, 2010; Saritas y Aylen, 2010)
- ii. Una herramienta para multiplicar el conocimiento sobre los posibles futuros que nos esperan. En otras palabras, proporciona los medios para cambiar nuestra percepción de las cosas, ampliando y variando nuestra visión del mundo (De Brabandere, 2010).
- iii. Un medio para representar una realidad futura con el objetivo de direccionar las acciones del presente a la luz de los futuros posibles y deseables (Durance & Godet, 2010).

Para la construcción de los escenarios de futuro se han empleado una gran variedad de métodos que, en algunos de los casos, difieren ampliamente y en otros se superponen.

### 2.3.1 Métodos de construcción de escenarios.

Los métodos para la construcción de escenarios de futuro por su naturaleza se dividen en cualitativos, cuantitativos y mixtos (Popper, 2011).

#### 2.3.1.1 Métodos cualitativos

Son aquellos que estudian una realidad subjetiva con el fin de “describir, comprender e interpretar los fenómenos a través de las percepciones y los significados producidos por las experiencias de los participantes” (Hernández, Fernández y Baptista, 2010), los cuales son interpretados a través de los valores y creencias del investigador, quien los transforma en un conjunto a modo de observaciones, anotaciones, grabaciones y documentos.

La Tabla 2.2 muestra los métodos cualitativos más usados.

<b>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	Consiste en el análisis de textos, libros, informes, publicaciones periódicas, bases de datos o páginas web; realizados por una persona competente, con el fin de identificar las variables claves y sus implicaciones en un determinado ejercicio.
<b>ANÁLISIS DE ENTORNOS</b>	Se refiere al examen y descripción estructurada del entorno económico, demográfico, social, político, legal, cultural, ambiental y tecnológico, con el fin de identificar el grado de influencia de estos sobre un país, una industria o una organización (Popper, 2011).
<b>TALLERES</b>	Son eventos con un fin y una agenda antes determinados, donde participa un grupo de personas previamente seleccionadas, a quienes se les presenta un tema en concreto sobre el cual realizan debates y tareas que una vez ejecutadas se convierten en el resultado del taller.
<b>ENTREVISTA</b>	Es una conversación entre dos personas: el entrevistador y el entrevistado Popper (2011), la cual puede ser: <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ estructurada, donde el entrevistador se ajusta exclusivamente a una guía de preguntas;</li> <li>✓ semiestructurada, donde, aunque el entrevistador tiene una guía de preguntas, cuenta con libertad para introducir preguntas con el fin de precisar información obtenida</li> <li>✓ abierta y donde tiene toda la libertad para conducirla (Godet &amp; Durance, 2011).</li> </ul>
<b>TALLERES DE ESCENARIOS</b>	Son aquellos donde un grupo de personas, sean expertos o actores, elegidos de forma metódica, se dedican a construir enunciados de futuros alternativos, sobre un tema o problema específico (Godet & Durance, 2011).
<b>REDACCIÓN DE ESCENARIOS</b>	Es la elaboración de versiones escritas en forma detallada de un conjunto de posibles futuros, con sus respectivas tendencias que marcan la evolución del escenario.
<b>LLUVIA DE IDEAS</b>	Es una herramienta creativa, que se usa durante una sesión presencial o virtual de un grupo de trabajo para generar de manera interactiva nuevas ideas en torno a un tema específico.

**CONTINUA SIGUIENTE PÁGINA**

<b>PANELES DE ESPECIALISTAS</b>	Son grupos de personas con un conocimiento especializado que presentan su opinión y punto de vista sobre un determinado tema de manera creativa, imaginativa y visionaria.
<b>GRUPOS FOCALES</b>	Son grupos de discusión, dirigidos por un moderador entrenado, conformado por un mínimo de seis personas y un máximo de diez, orientados por un conjunto de preguntas realizadas con el propósito de sacar a flote las actitudes, sentimientos, creencias, experiencias y reacciones de los participantes (Godet & Durance, 2011).
<b>ENCUESTAS</b>	Es una técnica para obtener datos sistemáticos de un grupo de personas representativas de una población mediante la aplicación de un cuestionario por medio de una entrevista personal, telefónica o virtual; o autoadministrado de forma presencial, por correo o por internet (Popper, 2011).
<b>DIAGRAMA CAUSAL</b>	Es “un diagrama que recoge los elementos claves del sistema y sus relaciones entre ellos” (García, 2006).
<b>ANÁLISIS FODA.</b>	Es un instrumento de diagnóstico y análisis donde a partir de una conciliación entre las variables claves <u>externas</u> (oportunidades y amenazas) y las variables claves <u>internas</u> (fortalezas y debilidades), se generan de forma creativa unas posibles estrategias para una organización o empresa.
<b>ANÁLISIS MORFOLÓGICO</b>	Es una técnica para “explorar de manera sistemática todos los futuros posibles, partiendo del estudio de todas las combinaciones resultantes de la desagregación de un sistema” (Godet & Durance, 2011).
<b>CARTAS SALVAJES</b>	Es la <u>identificación de cosas no necesariamente importantes</u> , que parecen no tener un fuerte impacto en el presente, pero que podrían detonar eventos relevantes en el futuro (Popper, 2011).

**Tabla 2.2 Métodos cualitativos de investigación.  
ELABORACIÓN PROPIA**

### 2.3.1.2 Métodos cuantitativos

Son los que estudian una realidad objetiva externa al investigador (una ciudad, la cuenca de un río, el tráfico urbano, etc.) que no se modifica con las observaciones y mediciones realizadas por éste y ante la cual debe permanecer "imparcial", haciendo a un lado sus creencias y valores, con el fin de no contaminar la recolección y análisis de los datos. El mundo es concebido como externo al investigador, como una realidad objetiva única que debe ser interpretada mediante procesos que se desarrollan de forma predecible y estructurada, con el fin de encontrar las regularidades y las relaciones causales en los fenómenos estudiados.

Los métodos cuantitativos más usados en los ejercicios analizados fueron:

<b>BENCHMARKING.</b>	Es un proceso sistemático y continuo para evaluar productos, servicios y procesos de trabajo de las empresas reconocidas como representantes de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras en la organización.  (Spandolini, 1994).
<b>EXTRAPOLACIÓN DE TENDENCIAS</b>	Es una técnica que se fundamenta en la premisa que los factores que produjeron tendencias o cambios en el pasado lo seguirán produciendo en el futuro. Las predicciones de este tipo sólo son válidas en entornos con condiciones estables.
<b>SIMULACIÓN</b>	Es el proceso de creación de un modelo de un sistema existente en la realidad, con el fin de realizar cambios en sus variables que nos permitan comprender su comportamiento.

**Tabla 2.3 Métodos cuantitativos más usados en ejercicios.  
Elaboración propia**

### 2.3.1.3 Métodos mixtos

Son aquellos donde “se combina al menos un componente cualitativo y cuantitativo”. (Hernández et. al., 2010); en un mismo método se integran de forma ordenada elementos cuantitativos y cualitativos, para obtener una mejor y más completa descripción del fenómeno estudiado introduciendo en el manejo de los datos resultantes de la subjetividad aspectos matemáticos y estadísticos.

Los métodos mixtos más usados en los ejercicios de prospectiva se muestran en la Tabla 2.4

<b>ANÁLISIS ESTRUCTURAL/MATRICES DE IMPACTO CRUZADO (MICMAC)</b>	Es el método que relaciona de forma ordenada las variables claves de un sistema con las de su entorno, con el objetivo de evaluar la influencia y dependencia de cada una y destacar las más influyentes y dependientes, que serían por ende las esenciales para la evolución del sistema (Godet & Durance, 2011).
<b>DELPHI</b>	Es una consulta que se realiza a los expertos en un determinado tema mediante cuestionarios sucesivos, con el fin de lograr un consenso entre los participantes. (Godet & Durance, 2011).
<b>ESCENARIOS CUANTITATIVOS SMIC - PROB -EXPERT</b>	Es un método por medio del cual un grupo de expertos establece los futuros más probables con los cuales posteriormente se construirán los posibles escenarios de futuro. (Godet & Durance, 2011).
<b>PARTES INTERESADAS MACTOR</b>	Es la sigla de método de actores, objetivos y correlación de fuerzas. Es una metodología para establecer la correlación de fuerzas entre los diferentes actores de un sistema y examinar sus afinidades y divergencias, con respecto a un determinado propósito. (Godet & Durance, 2011).

**Tabla 2.4 Métodos mixtos más usados en ejercicios.  
Elaboración propia**

Los métodos cualitativos, los cuantitativos y los mixtos se han usado en las múltiples metodologías utilizadas para la construcción de los escenarios de futuro, sin dejar explícito cómo su naturaleza y las características del ejercicio inciden en la selección de estos.

La Tabla 2.5 resume como se lleva a cabo la recolección y análisis de datos para los tres métodos presentados con anterioridad.

MÉTODO	RECOLECCIÓN DE DATOS.	ANÁLISIS DE DATOS.
<b>CUALITATIVOS</b>	Se ejecuta con el fin de tener una mejor comprensión de los significados y experiencias de las personas participantes, mediante datos de tipo cualitativo cuya fuente son los diferentes actores del fenómeno en cuestión. El investigador funge como instrumento de recolección y participante, ya que materializa los datos en narraciones de los involucrados, que pueden ser, visuales, auditivas, escritos, expresiones verbales y no verbales.	Se realiza en forma simultánea con la recolección de datos, consiste en tomar las cifras no estructuradas y darles una organización coherente en forma de unidades, temas, categorías, patrones y tendencias.
<b>CUANTITATIVOS</b>	Se realiza a través de procedimientos estandarizados y aceptados por la comunidad científica. "Para que un trabajo sea creíble y aceptado por otros investigadores debe demostrarse que se siguieron tales procedimientos". (Hernández, et. al., 2010). Los datos son de naturaleza cuantitativa y se representan en cifras que son analizadas con ayuda de herramientas matemáticas.	Se lleva a término de manera ordenada, después de la recolección de los datos, con el propósito de detallar las diferentes variables que se presentan en un fenómeno y explicar sus variaciones y tendencias. Las variables son representadas en forma numérica en una matriz de datos, con el fin de ser analizadas mediante procedimientos estadísticos y en muchos casos a través de software especializado. Los informes finales son presentados de manera objetiva e impersonal, sin ninguna emoción, acompañados de tablas, gráficas, diagramas y modelos estadísticos.
<b>MIXTOS</b>	Mediante los métodos de esta naturaleza se pueden recabar datos, tanto predeterminados como emergentes; los cuales pueden ser resultantes de la realidad objetiva como interpretaciones de los sentidos y experiencias de los actores, que pueden presentarse mediante un conjunto de datos compuesto por números, textos y audiovisuales.	Se utiliza la estadística descriptiva y la inferencial para analizar los datos cuantitativos, la codificación y evaluación temática para los datos cualitativos, creando diferentes alternativas que permitan dar respuesta a <b>CUÁLES</b> y <b>CUÁNTOS</b> .

**Tabla 2.5 Recolección y análisis de datos en cada método**  
Elaboración propia

### 2.3.2 Metodologías de Construcción de Escenarios.

Además de un fundamento teórico, el proceso de planeación de escenarios implica el desarrollo de una serie de pasos para la creación de escenarios futuros. Estos pasos son generales y aplicables a todo tipo de empresas, sin importar su tamaño o el sector al cual pertenezcan.

En la literatura existen varias metodologías para la creación de escenarios; a continuación, se describirán las 3 metodologías más reconocidas para este fin, las cuales, pese a contar con algunos pasos comunes considerados ineludibles para la planeación estratégica de toda compañía, presentan diferencias y, en algunos casos, elementos complementarios entre sí.

La metodología creada por **Schwartz (1991)**, y usada en la escuela intuitiva lógica para la construcción de escenarios consta de 8 pasos básicos:

- Identificar el problema o decisión focal.
- Identificar los factores clave en el ambiente local.
- Identificar las fuerzas conductoras en el ambiente macro.
- Clasificar factores clave y fuerzas conductoras por importancia para el éxito de la decisión y por su grado de incertidumbre.
- Seleccionar el escenario lógico (el escenario lógico es una serie de ejes a través de los cuales los escenarios eventuales van a diferir).
- Describir los escenarios.
- Identificar las implicaciones de cada escenario sobre el problema focal.
- Seleccionar los indicadores y señales principales para monitorear la ocurrencia de los escenarios y el desempeño de la estrategia.

Por otra parte, **Phadnis (2012)** presenta, además de la versión completa, una versión abreviada de esta metodología, que se detalla a continuación:

- **Definir el alcance del proyecto. Lo cual implica:**
  - Especificar el negocio y el mercado objetivo.
  - Definir la decisión focal.
  - Especificar el horizonte de planeación.
  - Determinar las áreas funcionales a incluir/excluir.
  - Escoger a los miembros del equipo del proyecto.
- **Identificar y listar los factores locales en el ambiente de la organización.**
  - Esta tarea se realiza con todos los miembros del equipo del proyecto y los investigadores participantes por medio de una lluvia de ideas, donde se listan los factores locales.
- **Identificar las fuerzas conductoras que pueden afectar el ambiente de la organización.**  
Esto incluye:

- Determinar las fuerzas conductoras en fuentes de datos externas. (Esto se realiza por medio de un análisis de la industria, en donde se realiza una revisión de tendencias y de la literatura en el sector de la organización competente.
  - Identificar las fuerzas conductoras por parte de los miembros del equipo de proyecto. Esto se realiza por medio de una discusión de grupo.
  - Listar las fuerzas conductoras identificadas.
- **Hacer un ranking y una ponderación de las fuerzas conductoras y de los factores locales.** Lo cual consiste en:
    - Evaluar la importancia de los factores locales por medio de un cuestionario de comparaciones por pares a los miembros del equipo del proyecto.
    - Determinar los 5 factores locales más importantes y que por ende generarán el mayor impacto.
    - Definir la importancia de las fuerzas conductoras por medio de un cuestionario de comparaciones por pares a los miembros del equipo del proyecto.
    - Mapear los factores locales clave con las fuerzas conductoras para identificar los ejes de los escenarios.
    - Determinar las 5 fuerzas conductoras más importantes, que serán las que tienen mayor incertidumbre o que pueden generar mayores cambios.
  - **Seleccionar la lógica del escenario:** Se realiza a través de un grupo focal donde participan los miembros del equipo del proyecto y los investigadores con el fin de identificar los ejes de los escenarios.
  - **Definir los escenarios.** Esto implica:
    - Definir y validar la estructura de los escenarios por medio de una discusión de grupo con los miembros del equipo del proyecto.
    - Nombrar los escenarios por medio de una lluvia de ideas con los miembros del equipo del proyecto.

De acuerdo con Phadnis (2012), dos de las cualidades para la creación de escenarios de alta confiabilidad son: plausibilidad, es decir, que los usuarios miembros de la organización creen que el escenario pueda surgir de manera lógica desde el pasado y el presente (Van der Heijden, 2005), y consistencia interna, la cual se refiere a que la lógica del escenario sea estable y que los eventos están organizados de tal manera que tengan relación causa/efecto.

Otra forma de concebir la planeación de escenarios es como una integración entre una situación futura y un tipo escogido de reacción a esta situación. En este sentido, la forma de reacción puede afectar la formulación de la estrategia, convirtiendo la planeación de escenarios en un factor determinante dentro de la planeación estratégica, puesto que aumenta la flexibilidad y alcance de la formulación de la estrategia. Involucrar la planeación de escenarios en los procesos regulares de planeación estratégica de una organización es una forma de aumentar el desempeño y la competitividad de las organizaciones a pesar de los factores externos dinámicos (Zahradnícková y Vacík, 2014).

**Zahradnícková y Vacík (2014)** proponen que un proceso de construcción de escenarios que tenga como resultado la consolidación de un plan estratégico consiste en estos pasos:

1. Identificar factores de riesgo y asignación de su impacto.
2. Escoger los riesgos básicos, es decir, aquellos de alta influencia para alcanzar metas estratégicas.
3. Formular escenarios y evaluar su consistencia (4 escenarios para cada estrategia: escenario optimista, básico, pesimista y realista).
4. Determinar la probabilidad de ocurrencia de los escenarios.
5. Elaborar un análisis de brecha (comparar resultados esperados en los escenarios frente a las metas de la organización) para estimar la tasa de cumplimiento de las metas estratégicas.
6. Elegir un escenario como una base para la construcción del plan estratégico.

De acuerdo con **Schoemaker (1993)**, la metodología para el proceso de creación de escenarios debe seguir estos pasos:

- **Paso 1.** Definir los problemas que se desean entender mejor en términos de tiempo, enfoque y variables de decisión.
- **Paso 2.** Identificar los mayores actores que pueden tener interés en estos problemas. Lo que también implica identificar sus roles, intereses y posiciones de poder.
- **Paso 3.** Hacer una lista de las tendencias actuales o elementos predeterminados que pueden afectar las variables de interés, describirlas y explicar su influencia.
- **Paso 4.** Identificar las incertidumbres clave cuya solución va a afectar significativamente las variables de interés.
- **Paso 5.** Construir 2 escenarios de fuerza, incluyendo todos los resultados positivos de las incertidumbres en un escenario y todos los negativos en otro.
- **Paso 6.** Evaluar la consistencia interna y plausibilidad de los escenarios artificiales.
- **Paso 7.** Eliminar combinaciones ilógicas o imposibles y crear nuevos escenarios hasta que se haya obtenido consistencia interna.
- **Paso 8.** Evaluar los escenarios revisados en términos de cómo los actores clave se comportarían en estos.
- **Paso 9.** Después de completar la búsqueda adicional, reexaminar las consistencias internas del aprendizaje de escenarios y evaluar si estas interacciones deben ser formalizadas a través de modelos cuantitativos (simulaciones).
- **Paso 10.** Reevaluar los rangos de incertidumbre de las variables de interés y volver a realizar los pasos 1 a 9 para alcanzar una decisión de escenarios que pueden ser expuestos a los planeadores para mejorar la toma de decisiones.

AUTOR/AUTORES	FASES O PASOS	RASGOS IMPORTANTES
<b>SCHWARTZ (1991)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Identificar el problema.</li> <li>● Identificar los factores clave en el ambiente local.</li> <li>● Identificar las fuerzas conductoras en el ambiente macro.</li> <li>● Clasificar factores clave y fuerzas conductoras por su grado de incertidumbre.</li> <li>● Seleccionar el escenario lógico</li> <li>● Describir los escenarios.</li> <li>● Identificar las implicaciones de cada escenario</li> <li>● Seleccionar los indicadores principales para monitorear el desempeño de la estrategia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifica y delimita los factores micro y macro</li> <li>• Selecciona un orden lógico</li> <li>• Selecciona indicadores para monitorear el desempeño</li> </ul>
<b>PHADNIS (2012)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Definir el alcance del proyecto.</li> <li>● Identificar y listar los factores locales en el ambiente de la organización.</li> <li>● Identificar las fuerzas conductoras que pueden afectar el ambiente de la organización.</li> <li>● Hacer un ranking y una ponderación de las fuerzas conductoras y de los factores locales.</li> <li>● Seleccionar la lógica del escenario.</li> <li>● Definir los escenarios.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establece el alcance del proyecto</li> <li>• Define los escenarios por orden lógico</li> </ul>

**CONTINUA SIGUIENTE PÁGINA**

**AUTOR/AUTORES****● FASES O PASOS****RASGOS IMPORTANTES****ZAHRADNÍKOVÁ Y  
VACÍK (2014)**

- 1) Identificar factores de riesgo.
- 2) Escoger los riesgos básicos para alcanzar metas estratégicas.
- 3) Formular escenarios y evaluar su consistencia.
- 4) Determinar la probabilidad de ocurrencia de los escenarios.
- 5) Elaborar un análisis de brecha.
- 6) Elegir un escenario como una base para la construcción del plan estratégico.

- Establece probabilidad de ocurrencia de cada escenario
- Elabora un análisis de brecha
- Escoge un escenario como base para un plan estratégico

**SCHOEMAKER  
(1993)**

- Definir los problemas en términos de tiempo, enfoque y variables de decisión.
- Identificar los mayores actores sus roles, intereses y posiciones de poder.
- Hacer una lista de las tendencias actuales que pueden afectar las variables de interés, describirlas y explicar su influencia.
- Identificar las incertidumbres para las variables de interés.
- Construir 2 escenarios de fuerza, incluyendo todos los resultados positivos de las incertidumbres en un escenario y todos los negativos en otro.
- Evaluar la consistencia interna y plausibilidad de los escenarios artificiales.
- Eliminar combinaciones ilógicas o imposibles hasta que se haya obtenido consistencia interna.
- Evaluar los escenarios revisados y los actores clave en estos.
- Después de completar la búsqueda adicional, reexaminar las consistencias del aprendizaje de escenarios y evaluar con modelos cuantitativos (simulaciones)
- Reevaluar los rangos de incertidumbre y volver a realizar los pasos 1 a 9 y presentar a los planeadores.

1. Construye escenarios de fuerza, con los resultados positivos en uno y otro con los negativos.
2. Eliminar combinaciones ilógicas o imposibles.

**Tabla 2.6 Recopilación de los métodos revisados  
Elaboración propia**

## 2.4 Conclusiones del capítulo.

En este capítulo, el concepto teórico de los dos tipos de pensamientos presentados dominado a lo largo de la historia de la humanidad: pensamiento reduccionista que consiste en descomponer el objeto de estudio en partes más pequeñas para tratar de entender su función y, por otro lado, pensamiento sistémico, dónde, el objeto de estudio es visible.

En general, el comportamiento se explica a través de la Teoría General de Sistemas (TGS). Según el pensamiento sistémico, el objeto de estudio se maneja para tener una visión holística y mejorando adecuadamente la situación analizada, que tiene como objetivo determinar el mejor escenario posible.

Aunque el futuro no puede predecirse de manera oportuna o apropiada, el objetivo principal de estos ejercicios es advertir las situaciones o escenarios futuros con ayuda de las herramientas cualitativas y cuantitativas revisadas

De la revisión bibliográfica de la planificación de escenarios, se encontraron dos tipos:

1. Escenarios adelantados a los eventos por venir, que proponen versiones alternativas del futuro mediante esbozos de tendencias pasadas
2. Escenarios de exploración que observan las tendencias pasadas y presentes que tienen alguna posibilidad de suceder en el futuro

Todo lo anterior permite concluir que el Enfoque de Sistemas aún está en la fase inicial de su desarrollo. Es factible que en el futuro este potente paradigma, el Enfoque de Sistemas pueda colaborar con el desarrollo de procedimientos específicos, aunado con el desarrollo tecnológico para generar soluciones a problemas contemporáneos y emergentes con el tiempo.

Los resultados de esta aplicación pueden ser, si no la eliminación completa de las lagunas existentes, si una ampliación significativa en el conocimiento y solución a problemas que se tienen del mundo actual. La metodología de sistemas proporciona un conjunto de herramientas; mientras que la Teoría General de Sistemas aporta en el análisis, diseño, desarrollo, solución de problemas de sistemas complejos y su manejo; y la especialización en cada campo de investigación necesita científicos o expertos operando en diferentes disciplinas.

En general, la creación y ejecución de escenarios es una potente herramienta de planificación que ayuda a evaluar el impacto y relación de los participantes en los resultados del análisis. Los responsables de la toma de decisiones pueden elegir con más conocimiento de causa las opciones que maximizan los beneficios y minimizan los riesgos de las inversiones y políticas energéticas.

El proceso de planificación es esencial para garantizar que un proyecto se complete con éxito, dentro del presupuesto y a tiempo. Permite una coordinación eficaz de los recursos, minimiza los riesgos y garantiza que todas las partes interesadas estén de acuerdo. Sin una planificación adecuada, es probable que un proyecto se enfrente a numerosos problemas, como retrasos, excesos presupuestarios e **incluso la no finalización del proyecto.**

## 2.5 Referencias.

- 1) Ackoff R. (1984). A guide to controlling your corporation's future. New York: J. Wiley.
- 2) Adams K., Patrick T. and Joseph B. (2013) A Historical Perspective of Systems Theory. Proceedings of the 2013 Industrial and Systems Engineering Research Conference.
- 3) Adams, K. (2012) Systems Theory: A Formal Construct for Understanding Systems. International Journal of Systems Engineering 3: 209-224.
- 4) Agoshkova Y. Akhlibininsky B. (1998). "Эволюция понятия системы [System Concept Evolution]". Voprosy Filosofii 7 (en ruso).
- 5) Ashby W (1958) General Systems Theory as a New Discipline. General Systems 3
- 6) Barton J. and Haslett T. (2007) Analysis, Synthesis, Systems Thinking and the Scientific Method: Rediscovering the Importance of Open Systems. Behavioral Science 24.
- 7) Bertalanffy, Ludwig von. (1968) General System Theory: Foundations, Development and Applications. New York: George Braziller.
- 8) Bezold C. (2010) Lessons from using scenarios for strategic Foresight. En: Technological Forecasting and Social Change. Vol. 77, No 8.
- 9) Blauberger I. (1973) Системный подход как предмет историко-научной рефлексии [The Systems Approach as a Subject of Historical and Scientific Reflection]. In Systems Research. (en ruso).
- 10) Blauberger I. Yudin. (2012) Системный подход [The Systems Approach]. In Большая советская энциклопедия, БСЭ [Great Soviet Encyclopedia, GSE]. ([en ruso](#)).
- 11) Bradfield, R., Van der Heijden, K. (2005). The origins and evolution of scenario techniques in long range business planning. Futures.
- 12) Checkland P. (1984) Rethinking a Systems Approach. In Rolfe Tomlinson and István Kiss., Rethinking the Process of Operational Research and Systems Analysis. Frontiers of Operational Research and Applied Systems Analysis. Volume 2.
- 13) Checkland, P. B., Forbes, P. y Martin, S. (1990). Techniques in soft systems practice part 3: Monitoring and control in conceptual models and in evaluation studies. Journal of Applied Systems Analysis.
- 14) De Brandere L. Iny A. (2010) Scenarios and creativity: Thinking in new boxes. En: Technological Forecasting and Social Change. Vol. 77, No. 9.
- 15) Glaister, K. W. y Falshaw, J. R. (1999). Strategic planning: Still going strong? Long Range Planning.
- 16) Gnoli C. (2020) Integrative Levels Classification (ILC). In Birger Hjørland and Claudio Gnoli eds., ISKO Encyclopedia of Knowledge Organization. Consultada en 16 de marzo de 2023 desde [referencia](#)
- 17) Godet, M. y Durance, P. (2009), La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios.

- 18) Hall A. and Fagen R. (1956) Definition of System. General Systems 1.
- 19) Jackson S. Hitchins D. and Eisner H. (2010) What is the Systems Approach? INCOSE Insight 13.
- 20) Kazaryan V. (2004) Системный подход в современном естествознании [The Systems Approach in Modern Natural Science]. Chapter 11. In Lebedev ed., Философия современного естествознания: учеб. пособие для вузов [Philosophy of Modern Natural Science: Textbook for Universities]. Moscow: FAIR-PRESS, (en ruso).
- 21) Kleineberg M. (2017) Integrative Levels. Knowledge Organization 44 Consultada en 16 de marzo de 2023 desde [referencia](#)
- 22) László, E. and László A. (2003) The Systems Sciences in Service of Humanity., Systems Science and Cybernetics.
- 23) László E. (1973) The Rise of General Theories in Contemporary Science. Journal for General Philosophy of Science.
- 24) Mele C., Pels J., and Polese F. (2010) A Brief Review of Systems Theories and their Managerial Applications. Service Science 2
- 25) Mesarović M., Macko D., and Takahara Y. (1970) Theory of Hierarchical Multilevel Systems. New York: Academic Press.
- 26) Ponferrada G (1983) Las causas en Aristóteles y Santo Tomás. SAPIENTIA Vol. XXXVIII. Obtenido el 1º de mayo de 2023 desde [referencia](#)
- 27) Porter, M. (1996). What is strategy? Harvard Business Review.
- 28) Pouvreau D. (2013) The Project of "General Systemology Instigated by Ludwig von Bertalanffy: Genealogy, Genesis, Reception and Advancement"
- 29) Pouvreau D. and Drack M. (2007) On the History of Ludwig von Bertalanffy's General Systemology. International Journal of General Systems
- 30) Raubitschek, R. (1988) Multiple scenario analysis and business planning en: Advances in Strategic Management.
- 31) Rousseau D., Wilby J., Billingham J. and Blachfellner S. (2018) General Systemology: Transdisciplinarity for Discovery, Insight and Innovation. Tokyo: Springer.
- 32) Sadovsky V. and Yudin E. (1969) Задачи, методы и приложения общей теории систем [Problems, Methods and Applications of General Systems Theory]. In Исследования по общей теории систем [Research in General Systems Theory] (en ruso).
- 33) Saritas O. y Aylen J. (2010) Using scenarios for roadmapping: The case of clean production. En: Technological Forecasting and Social Change Vol. 77
- 34) Schoemaker, P. (1993). Multiple scenario development: Its conceptual and behavioral foundation. Strategic Management Journal.
- 35) Schoemaker, P. (1995), Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking.

- 36) Simon H. (1962) The Architecture of Complexity. Proceedings of the American Philosophical Society 106: 467-482.
- 37) Spandolini, M. (1994) Benchmarking. Bogotá: Grupo Editorial Norma
- 38) Surmin Y. (2003) Теория систем и системный анализ: Учеб. пособие [Systems Theory and Systems Analysis: Manual]. Kiev: MAUP (en ruso).
- 39) Уюмов А. (1978) Системный подход и общая теория систем [The Systems Approach and General Systems Theory]. (en ruso).
- 40) Van der Heijden, K. (2005). Scenarios: The Art of Strategic Conversation, NY: John Wiley & Sons.
- 41) Whyte L., Wilson A. and Donna Wilson (1969) Hierarchical Structures. New York: Elsevier.
- 42) Wilber K. (1996) A Brief History of Everything. Dublin: Gill & Macmillan.
- 43) Wilkinson, A. & Kupers, R. (2013). Living in the Futures—How Scenario Planning Changed Corporate Strategy, Harvard Business Review.
- 44) Wilkinson, L. (1995), "How to Build Scenarios", Wired. Consultado el 23 de enero de 2023 desde <https://www.wired.com/1995/11/how-to-build-scenarios/>
- 45) Zahradníčková, L. y Vacík, E. (2014). Scenarios as a strong support for strategic planning. Procedia Engineering.

# Capítulo 3

---

---

## ESCENARIO DE INCORPORACIÓN DE ENERGÍAS LIMPIAS (ESCENARIOS EN MÉXICO).

### 3.1 Sistema Eléctrico Nacional.

El Sistema Eléctrico Nacional se compone de los sistemas eléctricos de potencia con los que cuenta el país.

Los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP) son redes interconectadas que se utilizan para la generación, transmisión, distribución y consumo de energía eléctrica (Schlabach, 2002). Estos sistemas se utilizan para suministrar energía eléctrica a hogares, industrias, edificios, infraestructuras y otros usuarios finales<sup>38</sup>.

El sector tradicional de la energía eléctrica funciona en régimen de monopolio, combinando la generación, el transporte, la distribución y la venta en un único sistema. Los mercados eléctricos permiten la libre competencia en la parte de la generación, mientras que la transmisión y la distribución siguen bajo control gubernamental (según la teoría de la tasa de rendimiento constante<sup>39</sup>).

Con o sin mercados eléctricos, un sistema eléctrico debe ser gestionado por un único centro de operación y coordinación, tradicionalmente **el operador del sistema**. A pesar del desarrollo y la expansión de los mercados eléctricos, la operación y el comercio siguen estando a cargo de un operador del sistema o gestionados por diferentes organizaciones empresariales.

---

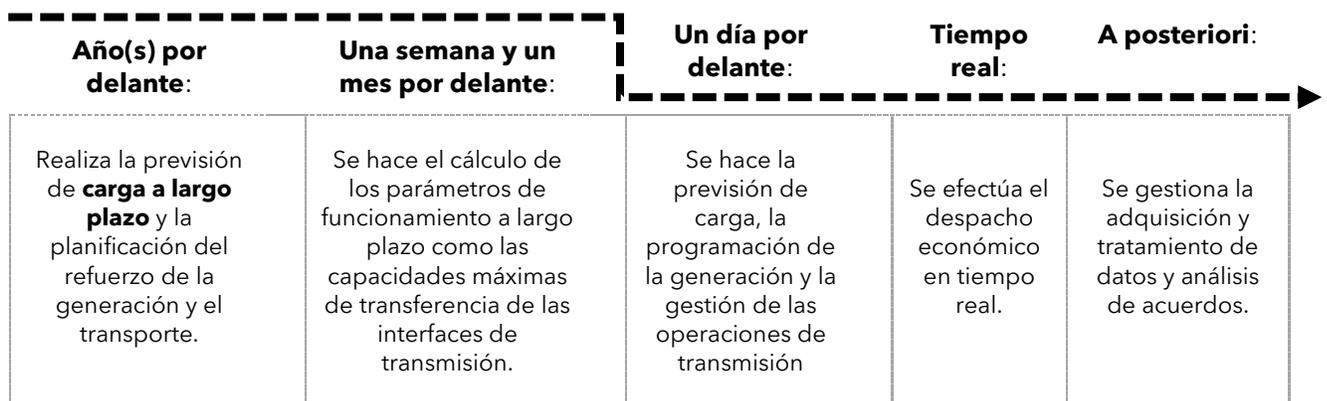
<sup>38</sup> Se refiere a la energía utilizada por **usuarios del Suministro Básico**, usuarios del Suministro Calificado y autoabastecimiento remoto. (PRODESEN, 2022-2036)

<sup>39</sup> Los rendimientos a escala se refieren a cómo cambia la producción cuando cambia la escala de producción. Los rendimientos a escala muestran el cambio en el volumen de producción de la empresa, a medida que se utilizan todos los factores que afectan el proceso de producción, cambia en la misma proporción.

Algunas entidades del sector eléctrico son:

- 1 Un operador de mercado que ajusta las cotizaciones de la oferta y la demanda y **fija los precios de la energía** con base en la localización de las centrales generadoras y de los costos de combustibles.
- 2 El propietario de la red de transmisión es el **titular de los equipos de transmisión**. Un sistema de transmisión puede ser propiedad de uno o varios propietarios.
- 3 Un operador del sistema es una organización operativa que funciona con independencia de otros grupos, cuya función es **verificar y modificar la participación de los elementos** del sistema eléctrico
  - 3.1 El centro de despacho de energía mantiene comunicación constante con las centrales y subestaciones eléctricas, y también es responsable de la operación y coordinación de los componentes del sistema.

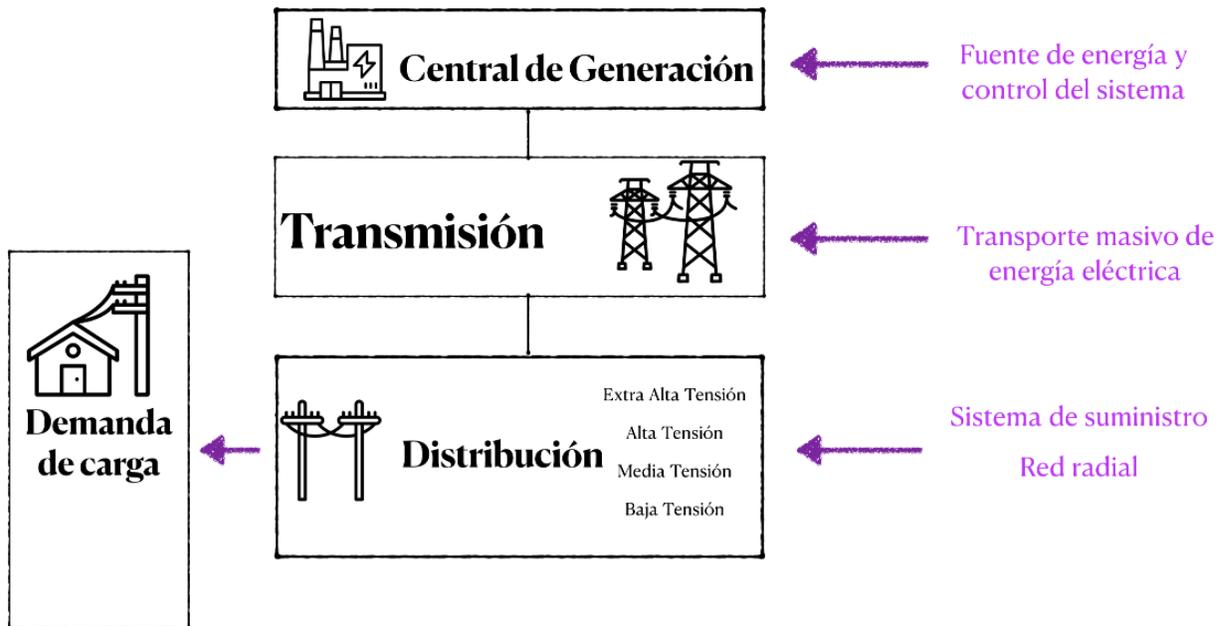
Las funciones de un centro de despacho de electricidad pueden clasificarse cronológicamente de la siguiente manera:



De acuerdo con Weedy (2012) un SEP típico consta de varias etapas, que incluyen:

1. Generación: Las centrales eléctricas generan energía eléctrica a partir de fuentes primarias como el carbón, el petróleo, el gas natural, la energía hidroeléctrica, la energía nuclear, la energía eólica, la energía solar y otras fuentes renovables.
2. Transmisión: La energía eléctrica se transmite a través de líneas de alta tensión que conectan las centrales eléctricas con los centros de distribución.
3. Distribución: La energía eléctrica se distribuye desde los centros de distribución a través de líneas de baja tensión a los hogares, industrias y otros usuarios finales.
4. Consumo: Los usuarios finales consumen la energía eléctrica para diversos fines, como la iluminación, la calefacción, la refrigeración, la maquinaria y otros usos.

Estas etapas y su relación se muestran en la Figura 3.1.



**Figura 3.1 Esquema de los componentes de un Sistema Eléctrico de Potencia.**  
Elaboración propia

Es importante mantener estos sistemas en buen estado y tomar medidas preventivas para garantizar un suministro de energía eléctrica confiable y segura. Además de diversificar y fomentar el uso de tecnologías más eficientes y sostenibles en estas 4 etapas.

Además de estas 4 etapas, otro factor importante es la **demanda energética**. Este término se refiere a la cantidad de energía que se requiere para satisfacer las necesidades de una determinada población, industria o sector en un momento específico. La demanda de energía se mide generalmente en unidades de potencia, como Watts [W], Mega Watts ( $1 \times 10^6 [W]$ ), o en unidades de energía, como Joules o kW/h (kilowatt-hora).

Los elementos más importantes de un sistema eléctrico son los generadores que aprovechan la energía primaria procedente del carbón, el petróleo, el gas, la energía nuclear o la hidroeléctrica. Los costos de funcionamiento de los generadores pueden clasificarse en fijos y variables. El funcionamiento de un sistema eléctrico debe tener en cuenta ambos tipos de costo. Por lo general, una vez puesto en marcha un generador, sus gastos fijos pueden asignarse a los gastos variables y los ingenieros pueden elaborar curvas de costos del generador.

Para una carga prevista<sup>40</sup>, los generadores deben despacharse de forma que se minimicen los costos de operación. La minimización de costos es la base del despacho económico, y el modelado matemático de este problema puede expresarse como un problema de optimización.

<sup>40</sup> Las cargas se consideran componentes, aunque su composición y características exactas no se conozcan con total certeza y varíen con el tiempo. Cuando se diseña un sistema de alimentación eléctrica o se amplía uno ya existente, es necesario predecir las cargas que cabe esperar, para lo cual se utilizan métodos estadísticos (Weedy, 2002).

### 3.1.1 Generación Eléctrica<sup>41</sup> en México.

En la planificación del sector eléctrico las estimaciones de consumo y de demanda máxima para el mediano y largo plazos son hipótesis fundamentales para dimensionar y diseñar de manera óptima la expansión de la capacidad de los sistemas de generación y transmisión, a fin de satisfacer con calidad, confiabilidad y estabilidad el suministro de energía eléctrica.

Con el fin de establecer una planeación lo más completa posible es necesario tener un inventario de los recursos naturales, energéticos primarios y secundarios con los que cuenta el país, así como los mecanismos con los que se cuenta para la generación de energía eléctrica. Entre estos mecanismos se puede hacer una separación de tecnología de generación con base en el energético que se usa como combustible. Se tiene un registro de 12 diferentes tipos de tecnología usadas para la generación de energía eléctrica en el país distribuidas a lo largo de las 32 entidades federativas.

La Figura 3.2 muestra las plantas eléctricas más importantes del país y del tipo de generación que se trata.

---

<sup>41</sup> La mayoría de los equipos de generación de energía producen electricidad haciendo girar un mecanismo en un alternador. La forma de hacer girar el mecanismo depende de la tecnología que se utilice (Gan, 2013).

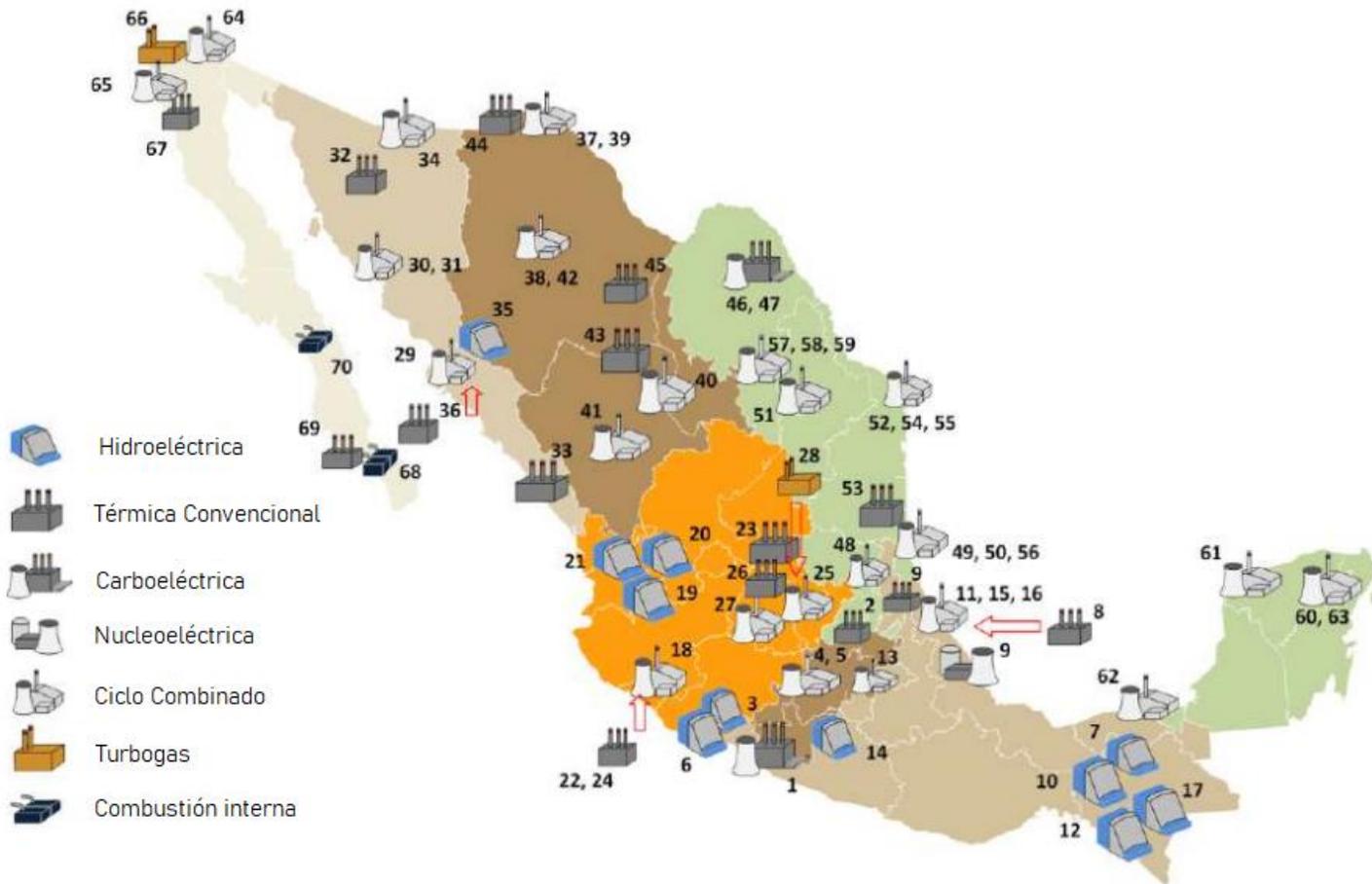


Figura 3.2 Principales plantas eléctricas<sup>42</sup>  
CFE<sup>43</sup> 2022

<sup>42</sup> PRODESEN 2022-2036. pág. 58

<sup>43</sup> CFE Comisión Federal de Electricidad

### 3.1.1.1 Tecnologías Convencionales<sup>44</sup>

El grupo de tecnologías que se denominan convencionales se integra por las unidades o centrales que requieren del uso de combustibles fósiles como energético primario y que no confina o captura el CO<sub>2</sub> resultante.

En este grupo se incluyen:

<b>TERMOELÉCTRICA CONVENCIONAL</b>	Una central termoeléctrica se compone de una caldera y de una turbina que mueve el generador eléctrico. La caldera es el elemento fundamental, y en ella se lleva a cabo la transformación del agua en vapor utilizando derivados del petróleo (combustóleo) como combustible.
<b>COMBUSTIÓN INTERNA</b>	Se entiende como el proceso de generación por combustión dentro de un motor que comprime aire y aumenta su temperatura al entrar en contacto con diésel.
<b>TURBO GAS</b>	Las turbinas se componen de un compresor, una cámara de combustión y una turbina de expansión; el aire entra al compresor en condiciones atmosféricas, se comprime y entra a la cámara de combustión donde una parte proporciona el oxígeno necesario para realizar la combustión, la parte restante se utiliza para enfriar los gases y lograr la expansión de la turbina, provocando movimiento mecánico que se transfiere al generador. Esta tecnología se utiliza en demanda pico ya que tiene un arranque más rápido que otras tecnologías.
<b>CICLO COMBINADO</b>	Este proceso es similar al de las turbinas de gas, pero se diferencia en que los gases de escape se utilizan para aumentar la temperatura de una caldera de vapor, similar al de las centrales térmicas convencionales. Utiliza gas natural como energético primario para aumentar la eficiencia de la planta.
<b>CARBOELÉCTRICA</b>	Es análoga a una central termoeléctrica, el combustible (carbón) requiere de una pulverización y secado, así como sistemas de desulfuración y colectores para contaminantes.
<b>LECHO FLUIDIZADO</b>	Es un proceso similar al de una termoeléctrica convencional, pero se utiliza coque de petróleo <sup>45</sup> como combustible primario
<b>MÚLTIPLE</b>	En esta categoría se engloban aquellas centrales que cuentan con más de una tecnología de generación, se agrupan los generadores con turbinas de gas y combustión interna, gas y vapor en pequeña escala hidroeléctrica y vapor, hidroeléctrica y combustión interna, así como vapor y combustión interna.

**Tabla 3.1 Tipos de energías con combustibles fósiles**  
**Fuente: Elaboración propia con información de SENER**

<sup>44</sup> Este grupo incluye las tecnologías arriba mencionadas, así como aquellas que no se encuentran dentro de la clasificación a la que se refiere el artículo 3 fracción XXII de la Ley de la Industria Eléctrica

<sup>45</sup> El coque de petróleo (coke) es un sólido carbonoso derivado de las unidades de coquización en una refinería de petróleo o de otros procesos de craqueo. (Oxford, 2023)

### 3.1.1.2 Tecnologías Limpias

El grupo de tecnologías denominadas como limpias está integrado por unidades cuya fuente de energía y procesos de generación producen un volumen de emisiones y residuos contaminantes menor a las tecnologías convencionales<sup>46</sup>.

Este grupo incluye las tecnologías:

<b>EÓLICA</b>	La energía cinética del viento se aprovecha mediante turbinas eólicas o aerogeneradores, para la generación de energía eléctrica.
<b>SOLAR</b>	Se entiende como energía solar a la conversión de la radiación solar en energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas o por medio de concentradores solares para elevar la temperatura de un fluido (generalmente aceite), que pasa a una turbina conectada a un generador.
<b>GEOTÉRMICA</b>	Esta tecnología opera con los mismos principios que las centrales convencionales, con la diferencia que se obtiene el vapor del subsuelo, por medio de un separador de humedad.
<b>HIDROELÉCTRICA</b>	La energía potencial de un cuerpo de agua se convierte en energía eléctrica al pasar por turbinas, la energía cinética resultante se transfiere a un generador de energía eléctrica.
<b>NUCLEOELÉCTRICA</b>	Esta tecnología sigue el mismo proceso de generación de energía eléctrica que en una central convencional. Una central nuclear se caracteriza por el método en el que el agua se transforma en vapor. La energía, reflejada en forma de calor, se obtiene mediante la ruptura de núcleos de un material fisible. La fisión se produce cuando un neutrón colisiona contra un núcleo de uranio o plutonio dentro de un reactor. La continua división del núcleo o reacción en cadena del combustible transfiere energía que se traduce como aumento de temperatura, aprovechada por un refrigerante, que a su vez aumenta la temperatura del agua en un sistema secundario, para su posterior aprovechamiento en forma de vapor.
<b>BIOENERGÍA</b>	La bioenergía es la energía derivada de la conversión química de la biomasa. La biomasa es un compuesto, en su mayoría orgánico, derivado de plantas, madera, desechos agrícolas, cultivos herbáceos y cultivos leñosos, residuos sanitarios entre otros. Esta biomasa puede ser utilizada directamente como combustible o por una transformación a líquido (biodiésel y bioetanol) o gas (biogás), para su conversión a energía eléctrica por un proceso termoeléctrico convencional. [A los combustibles obtenidos de la biomasa, después de un proceso de transformación, se les llama biocombustibles]

**Tabla 3.2 Tipos de energías limpias**  
**Fuente: Elaboración propia con información de SENER**

<sup>46</sup> Tracking Clean Energy Progress 2021 OECD/IEA, 2021

### 3.1.2 Capacidad Instalada.

De acuerdo con información publicada en 2022, por CFE y la CRE, la capacidad instalada hasta 2021 fue de **86,153MW** y en 2020 de **83,121MW**.

<b>TECNOLOGÍA</b>	<b>Capacidad 2020<sup>1</sup></b>	<b>Capacidad 2021<sup>2</sup></b>
<b>CONVENCIONAL</b>	<b>53,615</b>	<b>55,341</b>
Ciclo combinado	31,948	33,640
Termoeléctrica convencional	11,809	11,793
Carboeléctrica	5,463	5,463
Turbo gas	3,545	3,744
Combustión Interna	850	701
<b>LIMPIA</b>	<b>29,506</b>	<b>30,812</b>
<i>Renovable</i>	25,594	26,899
Hidroeléctrica	12,612	12,614
Eólica	6,504	6,977
Geotérmica	951	976
Solar	5,149	5,955
Bioenergía <sup>3</sup>	378	378
<i>Otras</i>	2,100	2,651
Nucleoeléctrica	1,608	1,608
Cogeneración eficiente	2,305	2,305
<b>TOTAL</b>	<b>83,121,</b>	<b>86,153</b>

1 al 31 de diciembre de 2020

2 al 31 de diciembre de 2021

3uso de biomasa, bagazo de caña, biogás y licor negro como combustibles de acuerdo con la ley de promoción y desarrollo de los bioenergéticos.

**Tabla 3.3 Composición del parque de generación.  
Elaboración propia con datos de SENER**

### 3.1.3 Regiones del Sistema Eléctrico Nacional.

El sistema eléctrico nacional (SEN) se integra por 10 regiones de control, expresadas en la Figura 3.4. Las regiones en las que se divide el territorio mexicano son:



**Figura 3.3 Regiones del Sistema Eléctrico Nacional**  
**FUENTE: PRODESEN 2022-2036**

La operación de estas regiones está bajo la responsabilidad de 9 centros de control regionales ubicados en: Ciudad de México, Puebla, Guadalajara, Hermosillo, Gómez Palacio, Monterrey, Mexicali, La paz, Santa Rosalía

El centro nacional, ubicado en la ciudad de México, coordina el despacho económico y operación, con respaldo en el centro (alternativo) de Puebla.

Las regiones mencionadas anteriormente, excluyendo la región ubicada en la península de Baja California, se encuentran interconectadas y forma el Sistema Interconectado Nacional (SIN). Este sistema comparte recursos y reservas de capacidad ante la diversidad de demandas y situaciones operativas, de modo que es posible el intercambio de energía, para que en conjunto se logre un funcionamiento confiable.

Las 3 regiones colindantes con el océano Pacífico: Baja California, Baja California Sur y Mulegé, se encuentran aisladas del resto de la red eléctrica. En su conjunto, al SIN y las regiones de la península de Baja California se les denomina Sistema Eléctrico Nacional (SEN).

### 3.1.4 Regiones de Transmisión.

El SEN está constituido por redes eléctricas en diferentes niveles de tensión. Desde el punto de vista operacional y funcional todos los sistemas están conectados en uno solo, pero situados en diferentes niveles de voltaje.

La red de transmisión se desarrolla tomando en cuenta la magnitud y disposición geográfica de la demanda, su crecimiento y la ubicación de las centrales generadoras. La interconexión se ha realizado de forma gradual de acuerdo con el aumento de la demanda. El término líneas de transmisión se define como el conjunto de redes eléctricas que se utilizan para transportar la energía eléctrica de las centrales de generación a las redes generales de distribución.

La Red Nacional de Transmisión (**RNT**) se integra por los elementos de las redes eléctricas de alta tensión, con una tensión nominal mayor o igual a 69 kV; mientras que las Redes Generales de Distribución (**RGD**) las integran las subestaciones eléctricas de media tensión, con una tensión nominal en el lado de baja, menor a 69 kV e igual o mayor a 13.2 kV.

La Red Troncal de Transmisión, alimentada por las centrales generadoras, abastece al sistema de subtransmisión y algunas cargas industriales mediante líneas de transmisión y subestaciones en muy alta tensión (230 y 400 kV).

Las redes en alta tensión (entre 69 y 161 kV) distribuyen energía de forma regional a media tensión y a cargas conectadas en esos niveles de tensión. De manera similar, las redes en media tensión (2.4 a 60 kV) distribuyen energía en fracciones geográficas medias y a usuarios conectados en este nivel de tensión.

De forma adicional, las líneas de distribución son el conjunto de redes usadas para suministrar energía eléctrica en las zonas rurales y urbanas, así como a los usuarios finales.

		Líneas de distribución	Redes Generales de Distribución (RGD)	Red Nacional de Transmisión (RNT)	Red Troncal de Transmisión
Muy Alta Tensión	400 kV				
	230 kV				
Alta Tensión	161 kV				
	69 kV				
Media Tensión	13.2 kV				
	2.4 kV				
Baja Tensión	1 kV				

**Tabla 3.4 Niveles de tensión en el territorio mexicano**  
Elaboración propia con datos de SENER<sup>47</sup> Schlabbach<sup>48</sup>,

47

48



**Figura 3.4 Capacidad de las interconexiones internacionales Sistema Eléctrico Nacional 2021<sup>49</sup>**  
**FUENTE PRODESEN 2022**

Estas interconexiones de electricidad son sistemas que permiten la conexión y el intercambio de energía eléctrica entre dos SEP diferentes (Solomon y Krishna, 2011). Para que adquieran el nombre de internacionales estas interconexiones deben existir en diferentes países o regiones. Estas interconexiones pueden ser de gran importancia para la seguridad energética y la diversificación de la producción energética de los países, ya que pueden proporcionar un suministro eléctrico adicional en caso de interrupciones o situaciones de emergencia.

La Figura 3.5 señala las interconexiones internacionales que se tienen en la frontera norte con E.U.

### 3.1.5 Problemáticas inherentes a la generación eléctrica.

Algunos de los retos inherentes a la infraestructura más importantes de la generación de energía y su posible solución se agrupan en la Tabla 3.5:

<sup>49</sup> Figura 5.4 Sistema Eléctrico Nacional capacidad de las interconexiones internacionales 2021, PRODESEN 2022-2036 pág. 51

RETO	DESCRIPCIÓN	POSIBLE SOLUCIÓN	FACTORES DETERMINANTES
<b>DEPENDENCIA DE COMBUSTIBLES FÓSILES</b>	La fuente más común de generación de energía es la combustión de combustibles fósiles, como el carbón, el petróleo y el gas natural. Sin embargo, estas fuentes de energía son finitas y contribuyen al calentamiento global y a la contaminación ambiental. (Smil, 2017)	Orientarse hacia fuentes de energía renovables, como la solar, la eólica y la hidroeléctrica.	La eficiencia energética y los esfuerzos de conservación pueden reducir la demanda global de energía y la dependencia de los combustibles fósiles.
<b>ESTABILIDAD Y RESISTENCIA DE LA RED</b>	Una red estable y resistente es necesaria para un suministro eléctrico fiable. Sin embargo, el creciente uso de fuentes de energía renovables, que son intermitentes por naturaleza, ha provocado la inestabilidad de la red. (Solomon y Krishna, 2011)	El desarrollo de redes inteligentes que puedan gestionar y equilibrar la producción y distribución de energía. (Araujo, 2014)	Las tecnologías de almacenamiento de energía, como las baterías y el almacenamiento hidráulico por bombeo, pueden almacenar el exceso de energía y liberarla durante los picos de demanda
<b>ACCESO A LA ENERGÍA</b>	El acceso a la electricidad sigue siendo un reto en muchas partes del mundo, sobre todo en los países en desarrollo. (Gates, 2020)	La solución a este problema particular es invertir en sistemas energéticos descentralizados y renovables como los sistemas solares domésticos y las minirredes. (Gates, 2020)	Las políticas gubernamentales y la financiación pueden fomentar la inversión del sector privado en el sector energético.
<b>INFRAESTRUCTURAS Y MANTENIMIENTO</b>	El envejecimiento de la infraestructura de las instalaciones de generación de energía es un reto importante, que provoca cortes e interrupciones. (Bielecki, 2020)	El remedio consiste en invertir en la modernización y el mantenimiento de las infraestructuras, incluida la sustitución de los equipos obsoletos y la implantación de nuevas tecnologías. (Bielecki, 2020)	El mantenimiento predictivo puede contribuir a identificar los problemas antes de que se generen cortes e interrupciones
<b>IMPACTO MEDIOAMBIENTAL</b>	El uso de combustibles fósiles para la generación de energía contribuye a la contaminación del aire y del agua, a las emisiones de gases de efecto invernadero y al cambio climático. (Geels, 2002)	Promover las fuentes de energía renovables y la eficiencia energética, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles. (Solomon y Krishna, 2011)	La aplicación de normativas y políticas para fomentar el uso de tecnologías más limpias y reducir el impacto medioambiental de la generación de energía.

**Tabla 3.5 Retos inherentes a la infraestructura y posibles soluciones**  
Fuente: Elaboración propia



### 3.1.6 Problemáticas inherentes a la planeación de sistemas eléctricos.

La planeación energética se refiere al proceso de determinar cómo satisfacer la demanda de energía minimizando los impactos medioambientales negativos y garantizando la viabilidad económica. Implica evaluar las fuentes de energía, la demanda, las infraestructuras y las políticas para desarrollar un sistema energético sostenible y eficiente.

El objetivo de la planificación de los sistemas de energía eléctrica es servir plenamente a los intereses de los consumidores a los que se va a suministrar electricidad. Se toman como parámetros básicos la potencia activa y reactiva de la zona de suministro que cabe esperar en el periodo de planificación a largo plazo. Para determinar la configuración del sistema eléctrico en función de criterios técnicos, operativos, económicos, jurídicos y ecológicos, hay que definir y utilizar principios de planificación.

Hay que dar prioridad al abastecimiento de los consumidores con una necesidad definida de fiabilidad del suministro, lo que puede lograrse si se dispone de datos suficientes sobre las perturbaciones aleatorias y programadas del sistema o mediante criterios cuantitativos y, si es necesario, cualitativos adicionales.

- La confiabilidad del sistema de suministro de energía eléctrica (central eléctrica, sistema de transmisión y distribución, conmutadores, etc.) se ve influida por:
  - La selección de equipos: La especificación y licitación calificada y detallada de cualquier equipo, el uso coherente de normas internacionales para pruebas y estandarización de equipos garantiza instalaciones de alta calidad a costos favorables sobre una base económica.
  - El modo de funcionamiento del sistema eléctrico: La fiabilidad deseada del suministro sólo puede garantizarse si el sistema eléctrico funciona en las condiciones para las que fue planificado.
  - Puesta a tierra del punto neutro:
    - Una avería monofásica con toma de tierra (defecto a tierra) en un sistema con toma de tierra por resonancia no provoca la desconexión del equipo, mientras que una avería monofásica a tierra en un sistema con toma de tierra del neutro de baja impedancia (cortocircuito) provoca la desconexión del equipo averiado y, en algunos casos, la interrupción del suministro.
  - La estructura fundamental de la configuración del sistema eléctrico de potencia (topología).
    - Ejemplo: El consumidor sólo recibe suministro a través de una línea (línea aérea o cable) que forma un sistema de suministro radial. En caso de avería de la línea, el suministro se interrumpe hasta que se repara la línea.

Los sistemas eléctricos deben planificarse y explotarse (Schlabach,2002) teniendo en cuenta la flexibilidad y la economía de forma que:

- El **tipo y la topología del sistema permitan el suministro** (en cierta medida) incluso **para evoluciones distintas de las cargas previstas**.
- Las **pérdidas** del sistema sean **mínimas** en **condiciones normales** de funcionamiento.
- Sean posibles diferentes calendarios de funcionamiento de las centrales eléctricas.
- La generación de energía es posible en **secuencia de prioridad económica (orden de mérito)**, y se tienen en cuenta las condiciones ecológicas y medioambientales.
- Se consigue una relación adecuada y favorable entre el **diseño y la potencia nominal de los equipos y la carga real**, en particular la carga térmica admisible, en la fase final de desarrollo del sistema.
- La **estandarización de los equipos** es posible, sin perjudicar la **flexibilidad operativa**.

Este proceso de planeación es un factor crítico para el desarrollo económico, el progreso social y la protección del medio ambiente. Afecta a todo, desde los recibos de energía de los hogares hasta las emisiones globales de carbono. Por lo tanto, es crucial diseñar un sistema energético que equilibre las demandas contrapuestas de asequibilidad, confiabilidad y sostenibilidad.

De acuerdo con Solomon y Krishna (2011) la planificación energética suele implicar varios pasos, resumidos en la Tabla 3.6:

<b>ANALIZAR LA DEMANDA DE ENERGÍA</b>	Evaluar las necesidades energéticas actuales y futuras en función de factores como el crecimiento demográfico, el desarrollo económico y los avances tecnológicos.
<b>EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES DE SUMINISTRO ENERGÉTICO</b>	Identificar y analizar diversas fuentes de energía, como los combustibles fósiles, las energías renovables y la energía nuclear. El análisis debe tener en cuenta factores como la disponibilidad de recursos, el coste, el impacto medioambiental y la madurez tecnológica
<b>DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURAS ENERGÉTICAS</b>	Diseñar y construir sistemas de generación, transmisión y distribución de energía que sean fiables, eficientes y respetuosos con el medio ambiente.
<b>APLICAR POLÍTICAS ENERGÉTICAS</b>	Crear marcos reguladores, incentivos y sanciones que fomenten el uso de fuentes de energía sostenibles, la eficiencia energética y la conservación.
<b>SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN</b>	Ejecutar un seguimiento del rendimiento del sistema a lo largo del tiempo y realizar los ajustes necesarios para garantizar que cumple los objetivos de asequibilidad, fiabilidad y sostenibilidad.

**Tabla 3.6 Pasos de carácter metodológico**  
Fuente: Elaboración propia

La planificación energética plantea varios retos de carácter sistémico (Solomon y Krishna, 2011) mostrados en la Tabla 3.7:

<b>INCERTIDUMBRE</b>	Implica tomar decisiones a largo plazo ante condiciones futuras inciertas, como los avances tecnológicos, los cambios políticos y la variabilidad climática.
<b>COMPLEJIDAD</b>	Se requiere un planteamiento multidisciplinar, con conocimientos de ingeniería, economía, medio ambiente y análisis político. (Gates, 2020)
<b>COMPROMISOS</b>	La asequibilidad, fiabilidad y sustentabilidad implica a menudo equilibrar objetivos contrapuestos. Puede ser necesario hacer concesiones para alcanzar estos objetivos.
<b>COMPROMISO DE LAS PARTES INTERESADAS</b>	Consumidores, productores de energía, defensores del medio ambiente y responsables políticos son afectados directamente. Por lo tanto, es crucial integrar a estas partes interesadas en el proceso para garantizar que se tienen en cuenta sus preocupaciones y perspectivas. (Smil, 2017)

**Tabla 3.7 Retos en la generación energética**  
**Fuente: elaboración propia**

## 3.2 Construcción de Escenarios (Sector energético).

### 3.2.1 Enfoque Tradicional: Reemplazo de Energía.

Desde y a lo largo de los tiempos prehistóricos, la especie humana se ha basado únicamente en la fuerza física para asegurar su sustento y cobijo. Más tarde, el trabajo humano resultó ser una forma ineficiente de convertir energía.

Según Smil (2004), la domesticación de animales y el uso del fuego para manipulación de diversos metales dieron lugar a la primera gran transición energética. La segunda transición, de mayor escala de transformación, se produjo cuando ciertos esfuerzos musculares fueron sustituidos por agua y molinos de viento, que, en comparación con los animales, daban una forma de energía mucho más intensa y concentrada.

La tercera transición energética, según (Smil, 2010), tuvo lugar hace apenas unos siglos, se inició como respuesta al proceso de industrialización. También hubo quienes se permitieron utilizar carbón vegetal obtenido de diferentes tipos de madera, pagándolo a un precio más elevado por la combustión sin humo que producía. Inicialmente, este combustible se volvió ampliamente utilizado en la industria del hierro y el acero, y su uso generalizado provocó una gran deforestación; su escasez aceleró el cambio de la leña y el carbón al carbón que se usa hoy.

En la mitad del siglo, el carbón siguió desempeñando un papel fundamental debido a su contribución a la generación de electricidad. A pesar de su importancia, las importaciones y el crecimiento de producción internacional de crudo y gas natural redujeron considerablemente la extracción de carbón. Respecto al uso del petróleo y sus métodos de producción, fue un proceso que se venía madurando desde el siglo XVIII, sin embargo, tras el descubrimiento de yacimientos gigantes alrededor del mundo y en bajo un contexto de posguerra, el impulso económico por parte de Estados Unidos detonó el desarrollo de la demanda de aceite. Durante el siglo XX, los motores de combustión interna reemplazan por completo a las máquinas de vapor como la principal tecnología de conversión de energía (Solomon y Krishna, 2011).

La última gran transición energética comenzó en algún momento de los primeros años del siglo XVIII y su influencia no se ha considerado tan incidente en países con economías de bajos ingresos, particularmente en África. El precio del carbón fue determinante para el desarrollo de esta transición, se compara su rendimiento con el de la leña, y se comprueba que el del carbón es superior. Esto conduce a una reducción del precio y, en consecuencia, a una mejora en el proceso de extracción. Posteriormente, la producción de carbón recibió un nuevo impulso con la invención de la máquina de vapor, que introdujo en la industria el uso de coque, una forma más pura de carbón.

Para 1750, el coque había sido completamente aceptado.

Pronto comenzó la explotación de este recurso a gran escala en todo el mundo. Tres tendencias principales marcaron la producción mundial de carbón durante el siglo XX: su declive en importancia, el crecimiento de su participación en el suministro total de energía primaria y su transformación de una

industria con mano de obra humana a una mecanizada (Smil, 2010).

Desde mediados del siglo pasado, el carbón sigue jugando un papel fundamental por su contribución a la generación de electricidad. A pesar de su importancia, las importaciones y el crecimiento de la producción internacional de crudo y gas natural han reducido severamente la extracción de carbón. En cuanto al uso del petróleo y sus métodos de producción, es un proceso que ha madurado desde el siglo XVIII, sin embargo, tras el descubrimiento de yacimientos gigantes en todo el mundo y en el contexto de la posguerra, durante el siglo XX, el motor de combustión interna reemplazó por completo a la máquina de vapor como la principal tecnología de conversión de energía (Solomon y Krishna, 2011).

Sin duda, el crecimiento de la industria automotriz y petrolera se complementan. Los principales descubrimientos de petróleo en el mundo provocaron un excedente de producción y una caída en los precios de los combustibles a principios del siglo XX. Casi al mismo tiempo, Henry Ford y Alfred Sloan transformaron la industria automotriz de una producción doméstica a una era de producción en masa (Solomon y Krishna, 2011).

A pesar de los avances en la industria petrolera y los crecientes volúmenes de producción de crudo, el uso de gas natural no puede convertirse en un combustible doméstico e industrial importante hasta que se desarrolle y comercialice infraestructura para un uso eficiente y seguro, tales como: la introducción de grandes tuberías de alta presión de diámetro, capaces de transportar grandes volúmenes de gases a través de mayores distancias, compresores eficientes para mover los gases a través de las tuberías y quemadores capaces de mezclar el gas y el aire en las proporciones correctas para producir una llama que sea segura para cocinar y calefacción (Smil, 2012).



Figura 3.5 Esquema de reemplazo de energía  
Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Enfoque Moderno: Transición Multidimensional.

Aunque las transiciones energéticas pasadas han significado mejores y más altos estándares de vida en muchas partes del mundo, sus efectos han sido intangibles para las economías de bajos recursos. La innovación tecnológica no ha ido acompañada de una reducción de las disparidades entre estratos sociales; En los últimos años, alrededor del 10% de las personas más ricas del mundo consumen más del 40% de toda la energía primaria (Smil, 2004).

En este contexto, se han descrito una variedad de enfoques sociotécnicos para tratar de formar un puente entre la economía evolutiva y el estudio de la tecnología. Uno de los marcos más prometedores es el de la Perspectiva Multinivel (*Multi Level Perspective MLP*), en el que se han realizado esfuerzos para mostrar que las transiciones no solo involucran la sustitución de tecnología, sino que también implican cambios en las prácticas de los usuarios, regulaciones, redes industriales, infraestructura, mercados, la cultura, entre otros (Geels, 2002).

Este enfoque MLP concentra los cambios relacionados con una transición tecnológica considerando los niveles **micro, meso y macro** de un régimen

A nivel **micro**, la tecnología se desarrolla en un nicho de mercado. Como se mencionó anteriormente, sus propiedades son extremadamente beneficiosas para la innovación al brindar protección, competencia y personalización entre usuarios y fabricantes, y reducción de costos.

El nivel **meso** es visto como la variable que sufre cambios: es el régimen sociotécnico en el que se transforman los procesos de producción, las características de los productos, las habilidades y los procedimientos, así como las instituciones e infraestructuras que forman parte del sistema tecnológico. (Bennett, 2012).

El nivel **macro** define las instituciones políticas, sociales y culturales que conforman la sociedad como un panorama. Estos panoramas son difíciles de reconfigurar y tienden a cambiar lentamente, ya que los elementos que los componen suelen estar alineados y relacionados entre sí y con otros factores externos. En este nivel, las tendencias económicas y las actitudes sociales dominan las discusiones sobre la protección ambiental, el cambio climático y la escasez de recursos. Hoy en día, el cambio de régimen radical puede provenir principalmente del nivel micro, a través del surgimiento de tecnologías innovadoras o, del nivel macro, a través de eventos o tendencias geopolíticas. El enfoque MLP amplía la noción de transición basada en la política, la demografía, la ecología, la sociología y la economía, agregando metas relacionadas con el desarrollo sostenible (Araújo, 2014), concepto que busca mejorar las condiciones de vida actuales sin comprometer los recursos disponibles para las generaciones futuras.

En el contexto del desarrollo sostenible, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en 2015, reconociendo que erradicar la pobreza en todas sus formas y dimensiones es el mayor desafío que enfrenta el mundo. Los ODS son de naturaleza integrada e indivisible y se basan en un enfoque global que requiere considerar el desarrollo sostenible como una unidad de ejes sociales, económicos y ambientales (ONU, 2015).

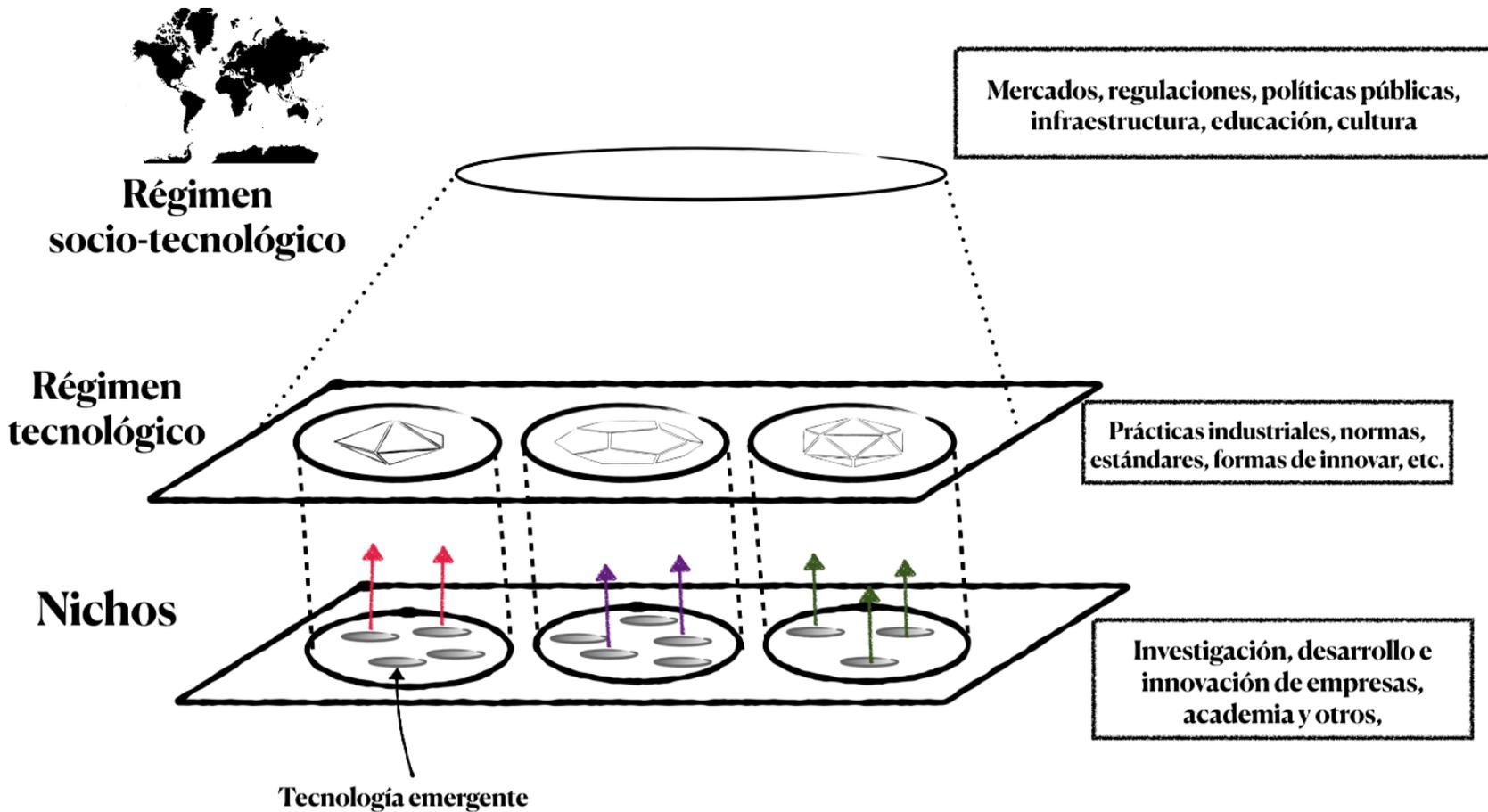


Figura 3.6 Perspectiva multinivel en transiciones tecnológicas  
Adaptado de Geels (2002)

### **3.3 Conclusiones del capítulo.**

La operación de un sistema energético es un proceso complejo que implica la identificación y evaluación de diversos recursos y tecnologías energéticas, un estimado de la demanda futura de energía y el desarrollo de estrategias para satisfacerla minimizando el impacto ambiental y garantizando la seguridad energética.

Tras este repaso de la infraestructura con la que cuenta el país, una fracción de su normatividad y participantes, no se encontró de manera explícita el establecimiento de objetivos a mediano y largo plazo. Además de la parte rígida de los sistemas energéticos, se resalta la importancia de la participación humana en el desarrollo de planes y políticas que reflejen estos objetivos y políticas de conservación, la promoción de energía renovable, así como posibles incentivos para la innovación tecnológica.

Dicho sea de paso y sin denostar todo lo mencionado con anterioridad, incluso es de mayor importancia la implementación y seguimiento de los planes y políticas energéticas. Esta última parte es la que indica el desarrollo y el monitoreo del progreso hacia la culminación de los objetivos planteados. Esto puede incluir la revisión periódica de los planes y políticas para asegurarse de que siguen siendo relevantes y efectivos.

A pesar de estos retos, la planificación energética es fundamental para lograr un futuro energético sostenible. Puede ayudar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mejorar la seguridad energética y promover el desarrollo económico. Por lo tanto, los responsables políticos, los planificadores energéticos y otras partes interesadas deben trabajar juntos para desarrollar planes energéticos eficaces que equilibren las demandas contrapuestas y promuevan un futuro energético sostenible.

En conclusión, la generación de energía se enfrenta a varios retos que deben abordarse para garantizar un suministro energético fiable y sostenible. Estos retos incluyen la dependencia de los combustibles fósiles, la estabilidad y resistencia de la red, el acceso a la energía, las infraestructuras y el mantenimiento, y el impacto medioambiental. Invirtiendo en fuentes de energía renovables, desarrollando redes inteligentes y fomentando la eficiencia y la conservación de la energía, podemos crear un futuro energético más sostenible que beneficie tanto al medio ambiente como a la sociedad.

### 3.4 Referencias.

1. Araújo, K. (2014). The emerging field of energy transitions: Progress, challenges, and opportunities. *Energy Research & Social Science*
2. Bennett, S. J. (2012). Using past transitions to inform scenarios for the future of renewable raw materials in the UK. *Energy Policy*. Consultado el 16 de marzo de 2023 desde [referencia](#)
3. Bielecki, A., Ernst, S., Skrodzka, W., y Wojnicki, I. (2020). The externalities of energy production in the context of development of clean energy generation. *Environmental Science and Pollution Research*
4. Gan D., Feng D. Xie J. (2013) *Electricity Markets and Power System Economics* CRC Press.
5. Gates, B. (2020). Bill Gates sobre la energía: ¡Innovando hacia cero! Consultada el 25 de enero de 2023 desde [referencia](#)
6. Geels, W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*.
7. Saccomanno F. (2003) *Electric Power Systems* IEEE Press
8. Schlabbach J., Rofalski K. (2002) *Power System Engineering. Planning, Design, and Operation of Power and Equipment*. Wiley VCH.
9. Smil, V. (2010). *Energy Transitions*. California, Praeger.
10. Smil, V. (2014). El lento ascenso de las renovables. *Investigación y Ciencia*,
11. Smil, V. (2017). *Energy and Civilization*. Amsterdam University Press.
12. Solomon, B., y Krishna, K. (2011). The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. *Energy Policy*
13. Weedy B., Cory B., Jenkins N., Ekanayake J. (2012) *Electric Power Systems*. Wiley

# Capítulo 4

---

## ESCENARIOS DE APLICACIÓN.

### 4.1 Construcción del modelo.

Los sistemas energéticos se están transformando a un ritmo acelerado debido al desarrollo de nuevas tecnologías y a la interacción con cambios sociales, geopolíticos y medioambientales más amplios. Esta *gran transición* está en marcha, y no es posible predecir el nuevo futuro energético.

Muchas empresas, especialmente las grandes compañías de petróleo, gas y generadores de electricidad ya están estudiando la combinación de energías renovables y digitalización para acelerar la posible obsolescencia de los modelos básicos tradicionales, que se centran en la integración física, las economías de escala y la simplicidad del acceso. Nuevos actores ajenos al sistema energético también están explorando oportunidades en la generación, la distribución y los servicios de valor añadido.

Los escenarios energéticos mundiales en las próximas décadas ofrecen un marco claro y propicio para abordar cuestiones estratégicas sobre **la innovación de los modelos de negocio en esta gran transición.**

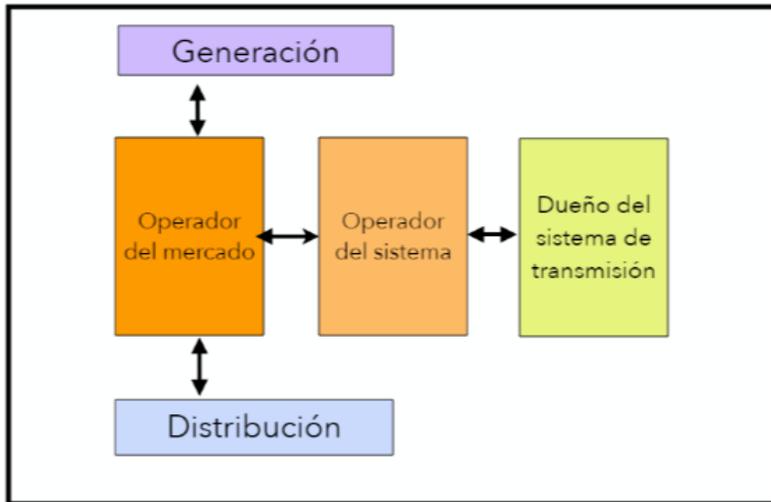
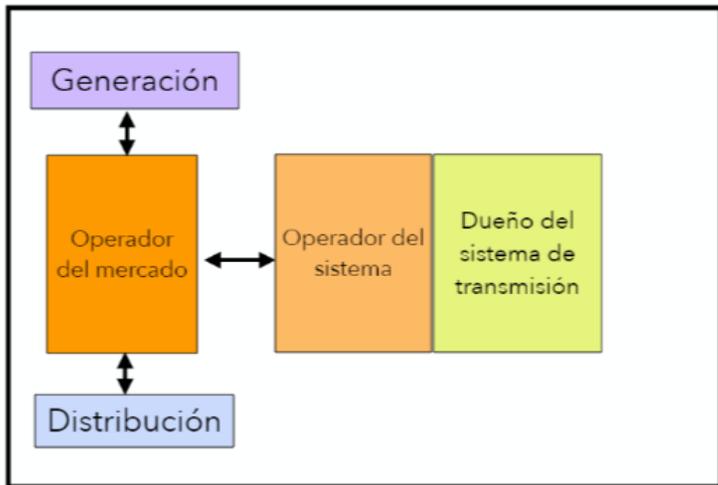
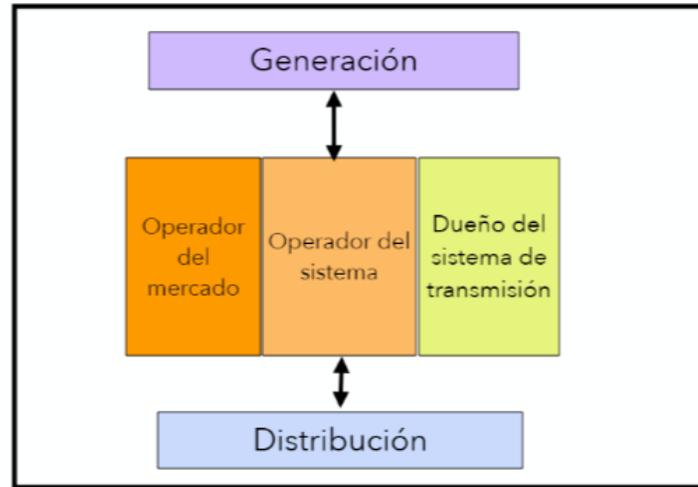
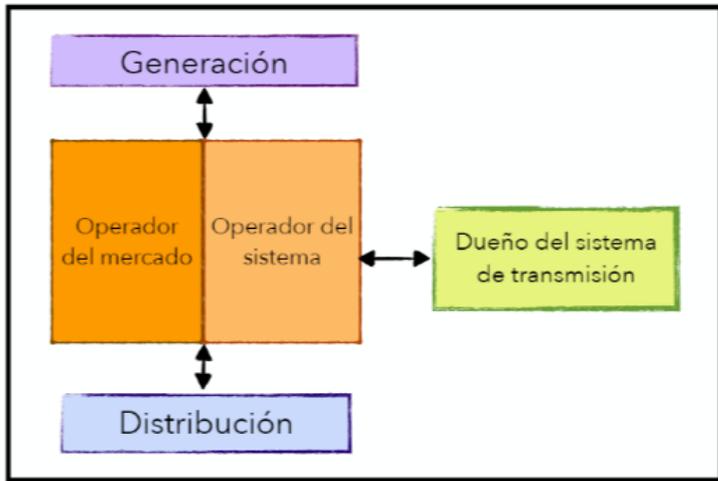
La Figura 4.1 muestra ejemplos de modelos de los mercados eléctricos revisados en literatura especializada y posteriormente implementados en los sistemas reales de todo el mundo.

La implementación y operación se ven afectadas por condiciones particulares de cada participante, recursos naturales y disposiciones administrativas.

En ninguno de estos ejemplos se pone a los usuarios y sus preferencias como parte explícita de la planeación.

De modo que aspectos como las condiciones laborales, influencias externas al sector y aspectos culturales no tienen ponderación alguna.

Por otra parte, en la Figura 4.2, este trabajo propone incorporar estas características. Esto es posible gracias a la metodología revisada en el Capítulo 2.



**Figura 4.1 Modelos convencionales de mercados eléctricos**  
**Fuente: Elaboración propia con información de Schlabach**

# Horizonte de planeación

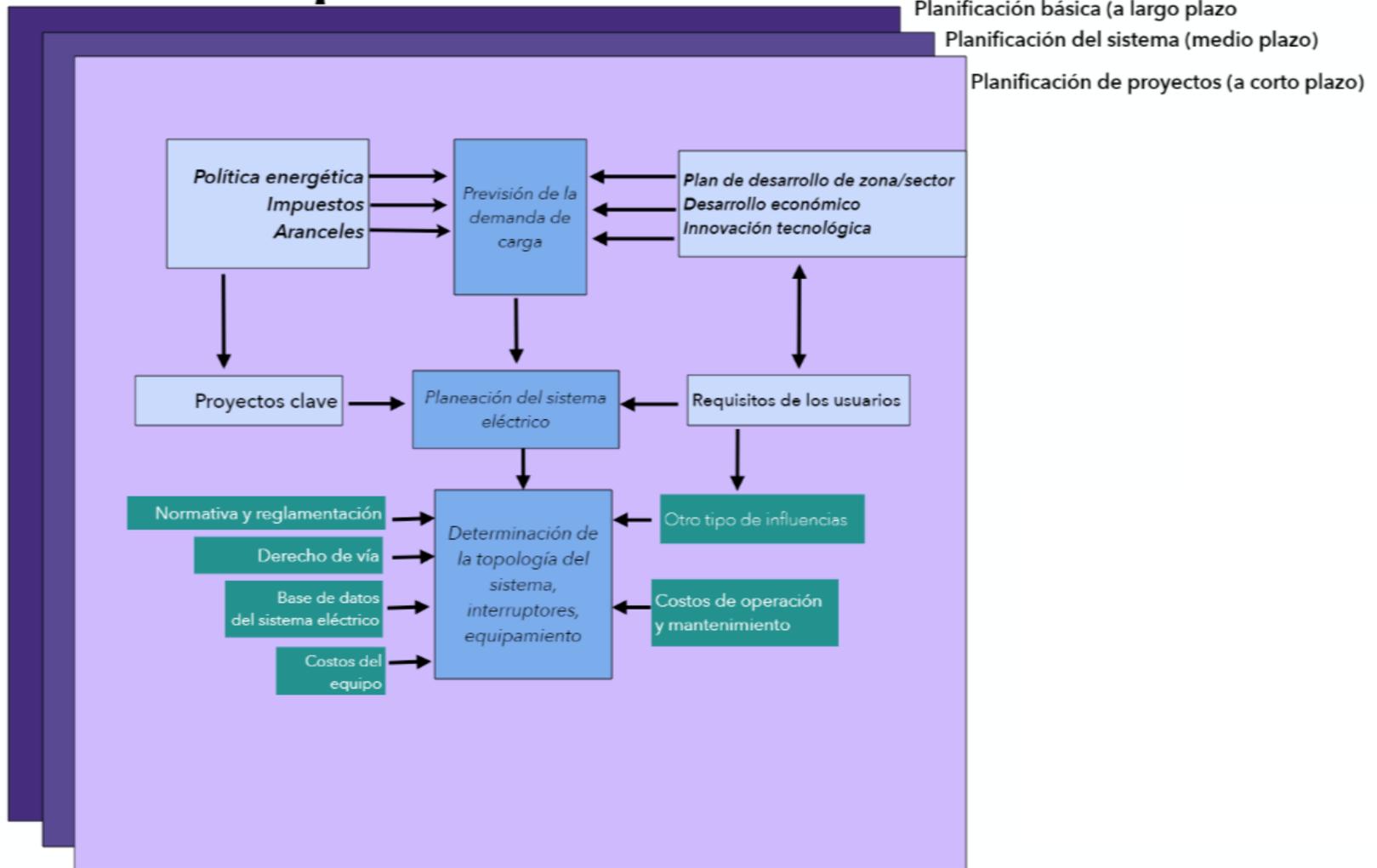
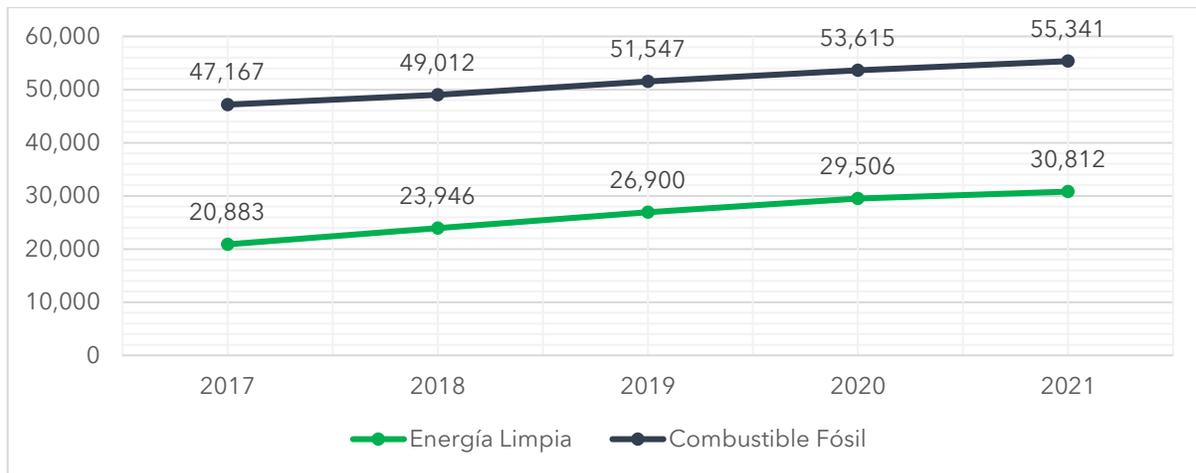


Figura 4.2 Modelo propuesto para la planeación energética  
Fuente: Elaboración propia

Para la construcción del modelo se obtuvo los datos publicados por SENER en 2021 del documento PRODESEN 2022 - 2031 (Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional)<sup>50</sup>



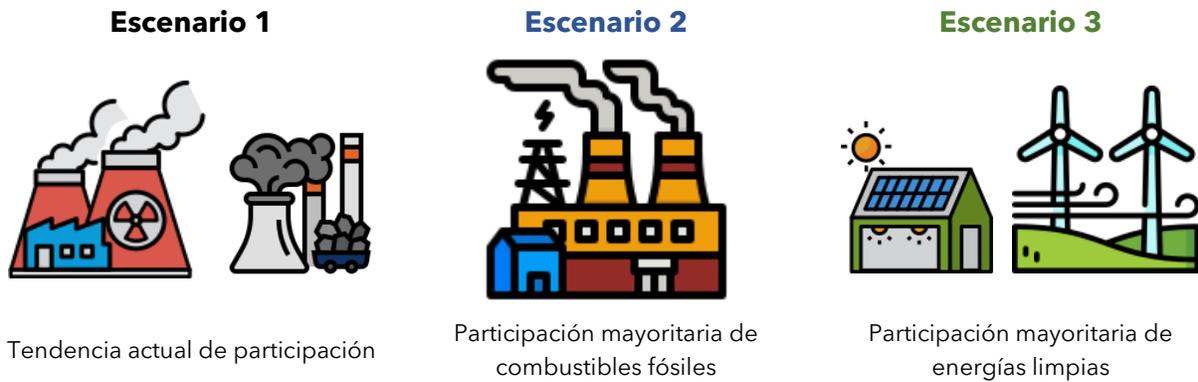
**Figura 4.3 Generación de energía en México por tipo de combustible**  
Elaboración propia con datos de SENER

Con estos datos se realizaron 3 escenarios posibles de desarrollo del SEN. Estos son:

- **Escenario 1:** Instalación de plantas de combustible fósil y tecnologías limpias con una tendencia como la que se ha llevado en los últimos años.
- **Escenario 2:** Instalación de plantas con predominancia de **combustible fósil**
- **Escenario 3:** Instalación de plantas con predominancia de **tecnologías limpias**

---

<sup>50</sup> Revisar el Anexo 2



**Figura 4.4 Esquemas de tecnología más usada por escenario**  
Elaboración propia

Para realizar los ejercicios de simulación y probabilidad de ocurrencia de escenarios de planeación energética se escogió la metodología de simulación Montecarlo<sup>51</sup>

#### 4.1.1 Metodología.

Como primer paso se procede a obtener los datos de generación de energía de los últimos 5 años. PRODESEN 2022-2036 solo expone el balance de energía **hasta el 31 de diciembre de 2021**. Para tener un banco de datos mayor se hizo una previsión de datos automática en Excel.

	Combustible Fósil	Energía Limpia	TOTAL
<b>2017</b>	47,167.00	20,883.00	<b>68,050.00</b>
<b>2018</b>	49,012.00	23,946.00	<b>72,958.00</b>
<b>2019</b>	51,547.00	26,900.00	<b>78,447.00</b>
<b>2020</b>	53,615.00	29,506.00	<b>83,121.00</b>
<b>2021</b>	55,341.00	30,812.00	<b>86,153.00</b>
<b>2022</b>	58,108.05	29,271.40	<b>87,379.45</b>
<b>2023</b>	66,824.26	26,344.26	<b>93,168.52</b>
<b>2024</b>	80,189.11	22,392.62	<b>102,581.73</b>
<b>2025</b>	104,245.84	17,914.10	<b>122,159.94</b>
<b>2026</b>	145,944.18	14,331.28	<b>160,275.46</b>

**Figura 4.5 Previsión de datos generada por Excel**  
Elaboración propia

<sup>51</sup> Revisar el Anexo 1

Escala de tiempo	Valores	Previsión	Límite de confianza inferior	Límite de confianza superior
2017	20,883			
2018	23,946			
2019	26,900			
2020	29,506			
2021	30,812	30,812	30,812	30,812
2022		33,793	32,553	35,033
2023		36,293	34,906	37,680
2024		38,794	37,274	40,314
2025		41,295	39,652	42,938
2026		43,796	42,038	45,554
2027		46,296	44,430	48,163
2028		48,797	46,828	50,766
2029		51,298	49,231	53,365
2030		53,799	51,638	55,959
2031		56,299	54,049	58,550
2032		58,800	56,462	61,138
2033		61,301	58,879	63,723
2034		63,802	61,298	66,306
2035		66,303	63,719	68,886
2036		68,803	66,142	71,464
2037		71,304	68,567	74,041
2038		73,805	70,994	76,615
2039		76,306	73,423	79,188
2040		78,806	75,853	81,760
2041		81,307	78,285	84,330
2042		83,808	80,717	86,899
2043		86,309	83,151	89,466
2044		88,809	85,586	92,033
2045		91,310	88,023	94,598
2046		93,811	90,460	97,162
2047		96,312	92,898	99,726
2048		98,813	95,337	102,288
2049		101,313	97,777	104,850
2050		103,814	100,217	107,411

Previsión de datos  
Energías limpias

Escala de tiempo	Valores	Previsión	Límite de confianza inferior	Límite de confianza superior
2017	47,167			
2018	49,012			
2019	51,547			
2020	53,615			
2021	55,341	55,341	55,341	55,341
2022		57,572	57,212	57,931
2023		59,653	59,293	60,012
2024		61,734	61,374	62,093
2025		63,815	63,455	64,174
2026		65,896	65,536	66,255
2027		67,977	67,617	68,336
2028		70,058	69,698	70,417
2029		72,139	71,779	72,498
2030		74,220	73,860	74,579
2031		76,301	75,941	76,660
2032		78,382	78,022	78,741
2033		80,463	80,103	80,822
2034		82,544	82,184	82,903
2035		84,625	84,265	84,984
2036		86,706	86,346	87,065
2037		88,787	88,427	89,147
2038		90,868	90,508	91,228
2039		92,949	92,589	93,309
2040		95,030	94,669	95,390
2041		97,111	96,750	97,471
2042		99,192	98,831	99,552
2043		101,273	100,912	101,633
2044		103,354	102,993	103,714
2045		105,435	105,074	105,795
2046		107,516	107,155	107,876
2047		109,597	109,236	109,957
2048		111,677	111,317	112,038
2049		113,758	113,397	114,120
2050		115,839	115,478	116,201

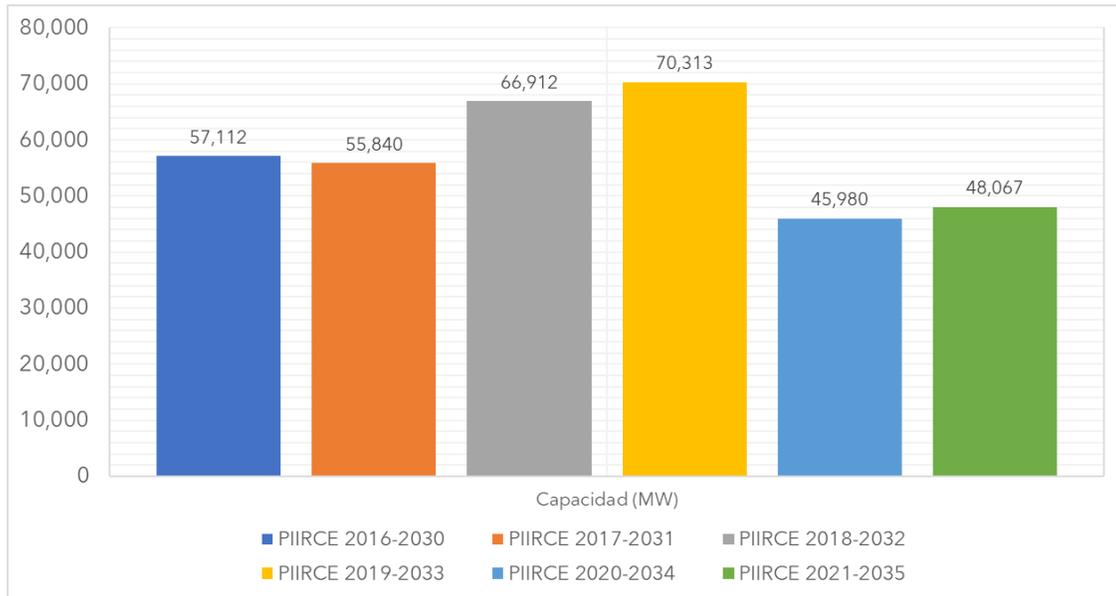
Previsión de datos  
Combustibles Fósiles

Figura 4.6 Previsión de datos por tipo de tecnología (panel)  
Elaboración propia

#### 4.1.1.1 PIIRCE

El PRODESEN cumple con el objetivo de concentrar en un documento datos y metodologías usados para el análisis y planificación de los proyectos relacionados con los componentes del SEN: energía, equipos y redes; para satisfacer la demanda de cada usuario final de electricidad.

Este documento contiene un capítulo titulado PIIRCE (**P**rograma **I**ndicativo para la **I**nstalación y **R**etiro de **C**entrales **E**léctricas) en el que se especifican las acciones para la instalación, reforma, actualización y retiro de plantas de generación conforme a proyecciones estadísticas con supuestos de tendencias nacionales e internacionales a corto, mediano y largo plazo. Estos escenarios plantean condiciones que siguen la tendencia actual, condiciones optimistas o en su caso pesimistas.



**Figura 4.7 Previsión de datos por tipo de tecnología (barras)**  
Elaboración propia

La Figura 4.4 muestra la adición de capacidad estimada en los documentos de los últimos 6 años. Se aprecian variaciones significativas en la integración de capacidad entre los diferentes PIIRCE; esto se debe a la evolución esperada del pronóstico de demanda y consumo, escenarios de precios de combustibles, cumplimiento de metas de Energías Limpias, mitigación de emisiones de GEI, integración de generación nuclear, sistemas de almacenamiento y otros.

## 4.2 Aplicación del modelo en escenarios.

### 4.2.1 Software utilizado.

En conjunto con las funciones de las hojas de cálculo se usó el software auxiliar a Excel @Risk<sup>52</sup>, diseñado para analizar modelación y análisis de riesgo en diversos escenarios, con el uso de un libro u hoja de cálculo de Excel.

Además, realiza análisis de riesgos utilizando la simulación para mostrar múltiples resultados posibles, así como indicar qué probabilidad hay de que se produzcan. Esto quiere decir que se puede elegir qué riesgos tomar y cuales evitar para tomar la decisión.

### Justificación

<sup>52</sup> @RISK Propiedad de Palisade (actualmente LUMIVERO)

RISKPerú (2023) Obtenido el 14 de abril de 2023 desde <https://riskperu.com/blog/risk-utilizando-simulacion-de-monte-carlo-en-excel/>

**@Risk** es un software auxiliar, que se integra completamente con la hoja de cálculo. Los gráficos generados señalan celdas respectivas a través de ventanas de llamada.

Entre las muchas funciones con las que cuenta este software se observan las siguientes:

- Determinación de la mejor asignación de recursos,
- Distribución óptima de activos y el calendario más eficiente.
- Reducción de costos
- Posibilidad de evitar situaciones que podrían causar pérdidas inesperadas y no planificadas, entre otros.
- **Mayor nivel de satisfacción de los usuarios**
- **Logro de objetivos organizacionales**
- **Incremento de la productividad, al reducirse los siniestros**

Los últimos tres listados tienen un impacto en las habilidades suaves que no siempre se ponderan en los proyectos de planeación e ingeniería. Por lo que estos factores han de considerarse en modelos más ajustados a la problemática real del país.

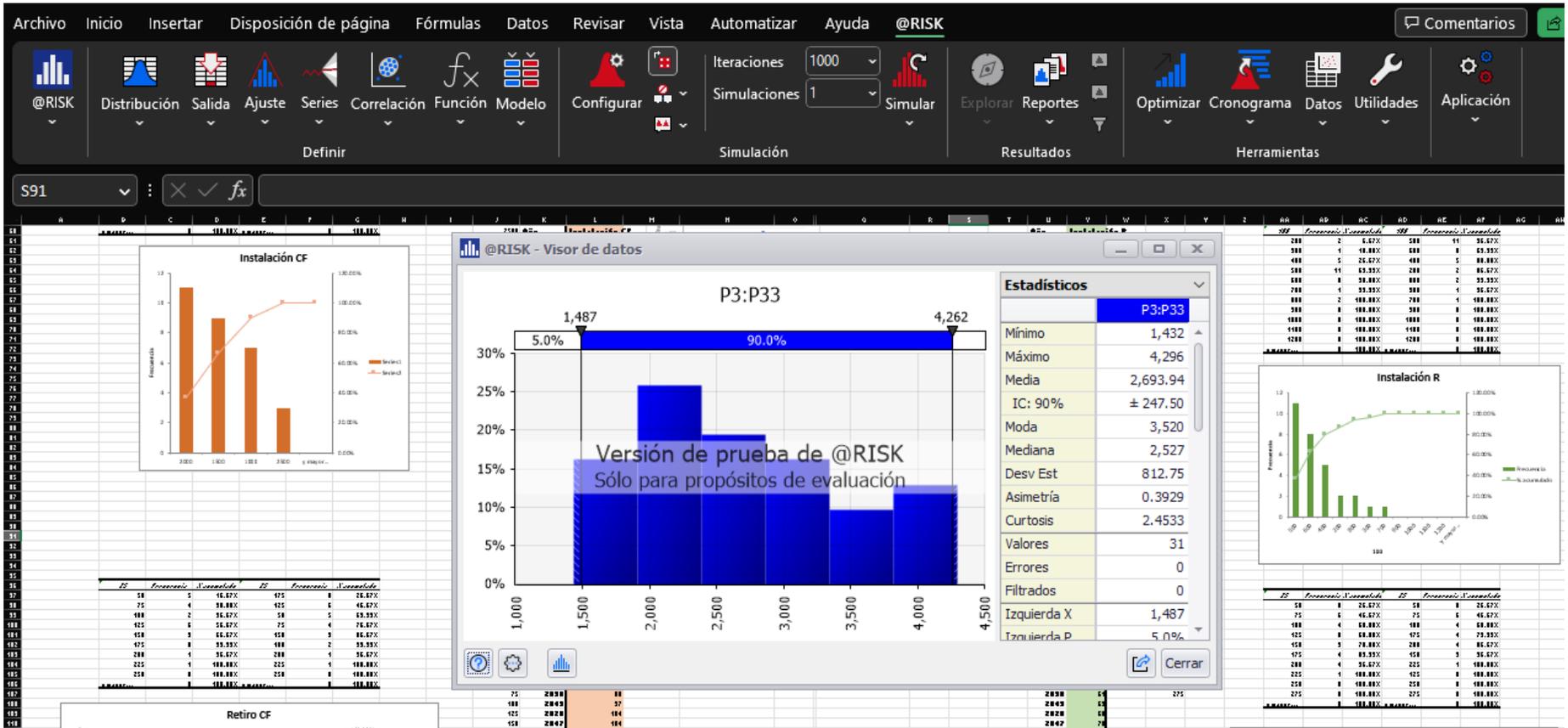


Figura 4.8 Interfaz integrada de @RISK con Excel  
Elaboración propia.

#### 4.2.2 Escenario 1.

En este escenario se plantea continuar con la tendencia en instalación de plantas como se ha llevado en los últimos años.

Este escenario consiste en la instalación y retiro programado de plantas de generación de acuerdo con la agenda programada por el PIIRCE (revisar sección [4.1.1.1.](#))

Este documento integra el análisis y planeación conforme a proyecciones estadísticas con suposiciones nacionales (e internacionales) con relativa certeza del futuro<sup>53</sup>. Cabe mencionar que las limitantes y características particulares varían por cada año de publicación y administración gubernamental. Este ejercicio mantiene los valores propuestos hasta el año de 2021, con las circunstancias particulares ponderadas hasta ese entonces

Año	Instalación CF	Instalación R	Retiro CF	Retiro R	Total CF	Total R
2024	815	381	129	99	23,027	31,064
2025	1,436	533	47	88	23,730	31,298
2026	1,325	133	23	57	23,643	30,922
2027	1,691	500	58	13	23,974	31,254
2028	2,010	445	104	6	24,247	31,153
2029	941	466	132	156	23,150	31,146
2030	842	131	80	155	23,103	30,863
2031	838	791	153	148	23,026	31,450
2032	1,681	365	14	68	24,008	31,163
2033	845	386	116	75	23,070	31,082
2034	1,470	434	8	171	23,803	31,238
2035	1,398	797	162	182	23,577	31,447
2036	1,369	401	15	178	23,695	31,198
2037	1,648	477	163	76	23,826	31,126
2038	693	167	57	198	22,977	30,922
2039	1,989	273	167	39	24,163	30,918
2040	1,615	596	156	78	23,800	31,252
2041	1,267	531	56	11	23,552	31,287
2042	1,461	309	174	61	23,628	30,947
2043	2,199	518	116	215	24,424	31,214
2044	1,883	517	135	63	24,089	31,194
2045	1,781	538	181	1	23,941	31,169
2046	1,014	593	125	45	23,230	31,280
2047	1,368	460	104	0	23,605	31,168
2048	1,629	509	107	172	23,863	31,214
2049	2,046	477	97	147	24,290	31,192
2050	1,834	357	68	70	24,107	31,101
2051	1,952	687	47	194	24,246	31,452
2052	755	472	161	137	22,935	31,123
2053	826	412	155	50	23,012	31,069
2054	1,574	494	204	2	23,711	31,102

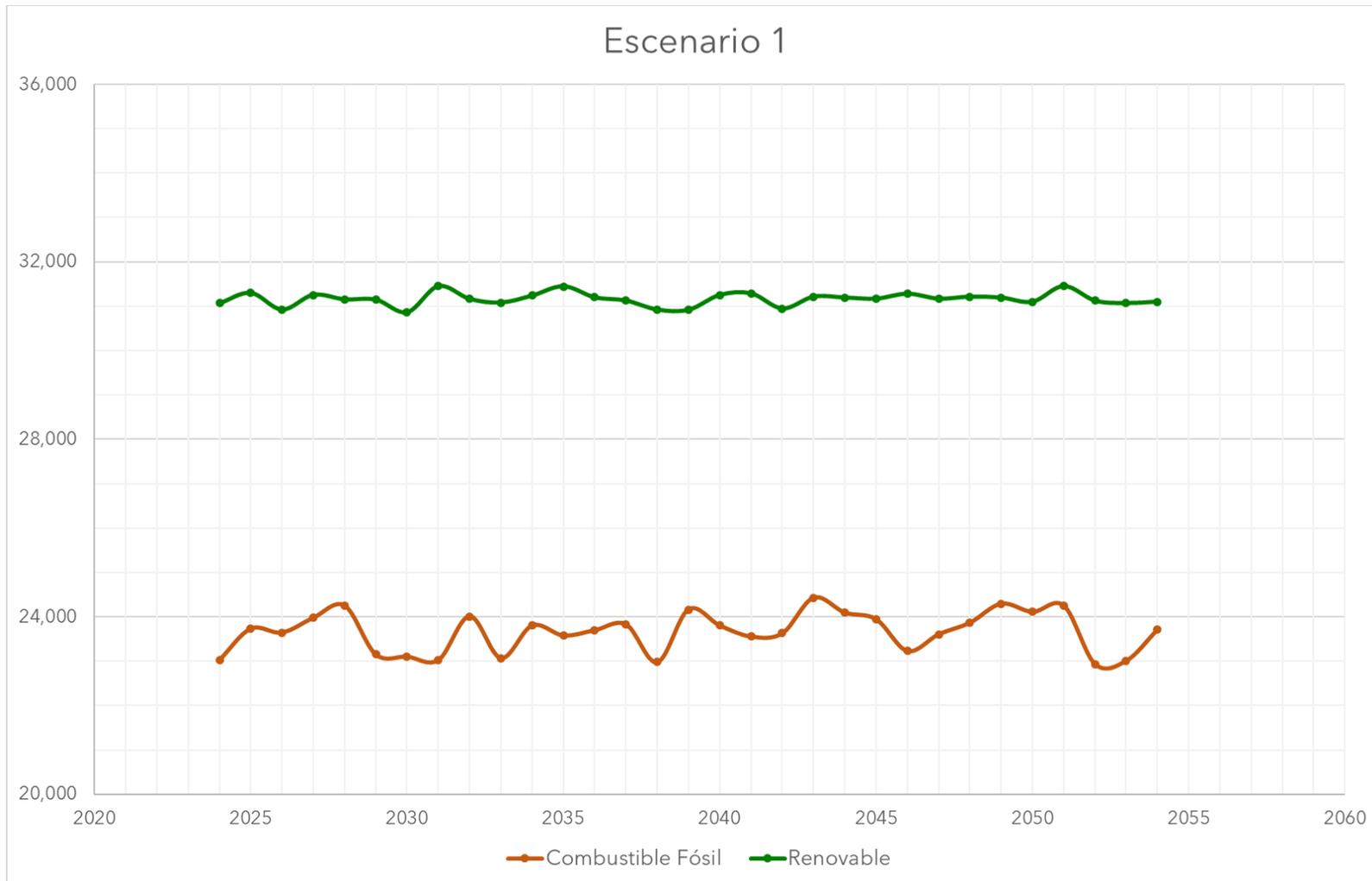
Instalación CF		Instalación R	
Media	1425.645	Media	456.4516
Error típico	79.63393	Error típico	28.13679
Mediana	1461	Mediana	472
Moda	#N/D	Moda	477
Desviación estándar	443.3829	Desviación estándar	156.659
Varianza de la muestra	196588.4	Varianza de la muestra	24542.06
Curstosis	-1.11775	Curstosis	0.77929
Coefficiente de asimetría	-0.17404	Coefficiente de asimetría	-0.07527
Rango	1506	Rango	666
Mínimo	693	Mínimo	131
Máximo	2199	Máximo	797
Suma	44195	Suma	14150
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza(95.0%)	162.6342	Nivel de confianza(95.0%)	57.463

Retiro CF		Retiro R	
Media	106.9032	Media	95.32258
Error típico	9.961793	Error típico	12.16079
Mediana	116	Mediana	76
Moda	47	Moda	#N/D
Desviación estándar	55.46492	Desviación estándar	67.70839
Varianza de la muestra	3076.357	Varianza de la muestra	4584.426
Curstosis	-1.0215	Curstosis	-1.29038
Coefficiente de asimetría	-0.26968	Coefficiente de asimetría	0.192264
Rango	196	Rango	215
Mínimo	8	Mínimo	0
Máximo	204	Máximo	215
Suma	3314	Suma	2955
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza(95.0%)	20.3447	Nivel de confianza(95.0%)	24.83564

**Figura 4.9a Datos planteados en el Escenario 1 (panel)**  
Elaboración propia.

<sup>53</sup> PRODESEN 2022- 2036 Capítulo, pág. 115



**Figura 4.9b Datos planteados en el Escenario 1 (gráfica)**  
**Elaboración propia**

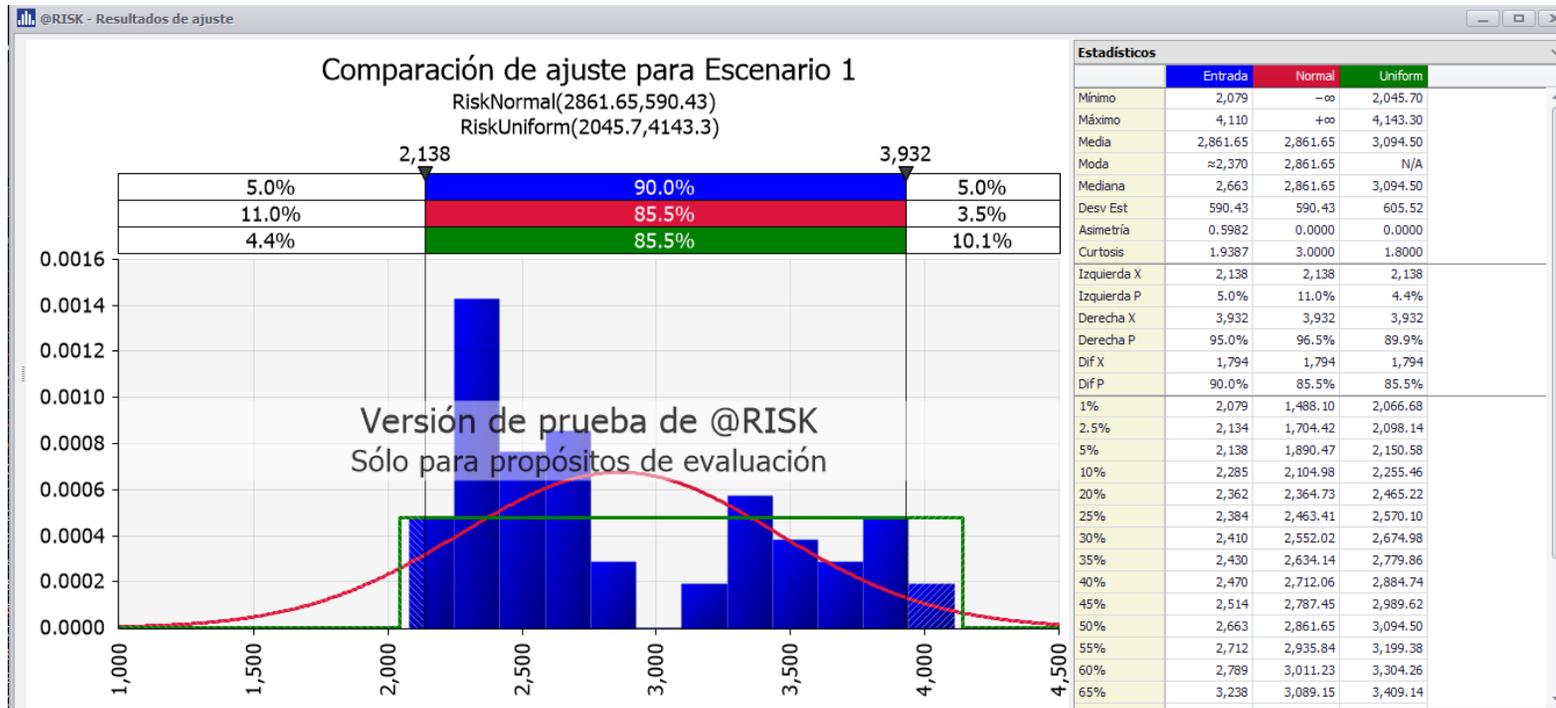


Figura 4.9c Ajuste de datos planteados en el Escenario 1  
Elaboración propia

### 4.2.3 Escenario 2.

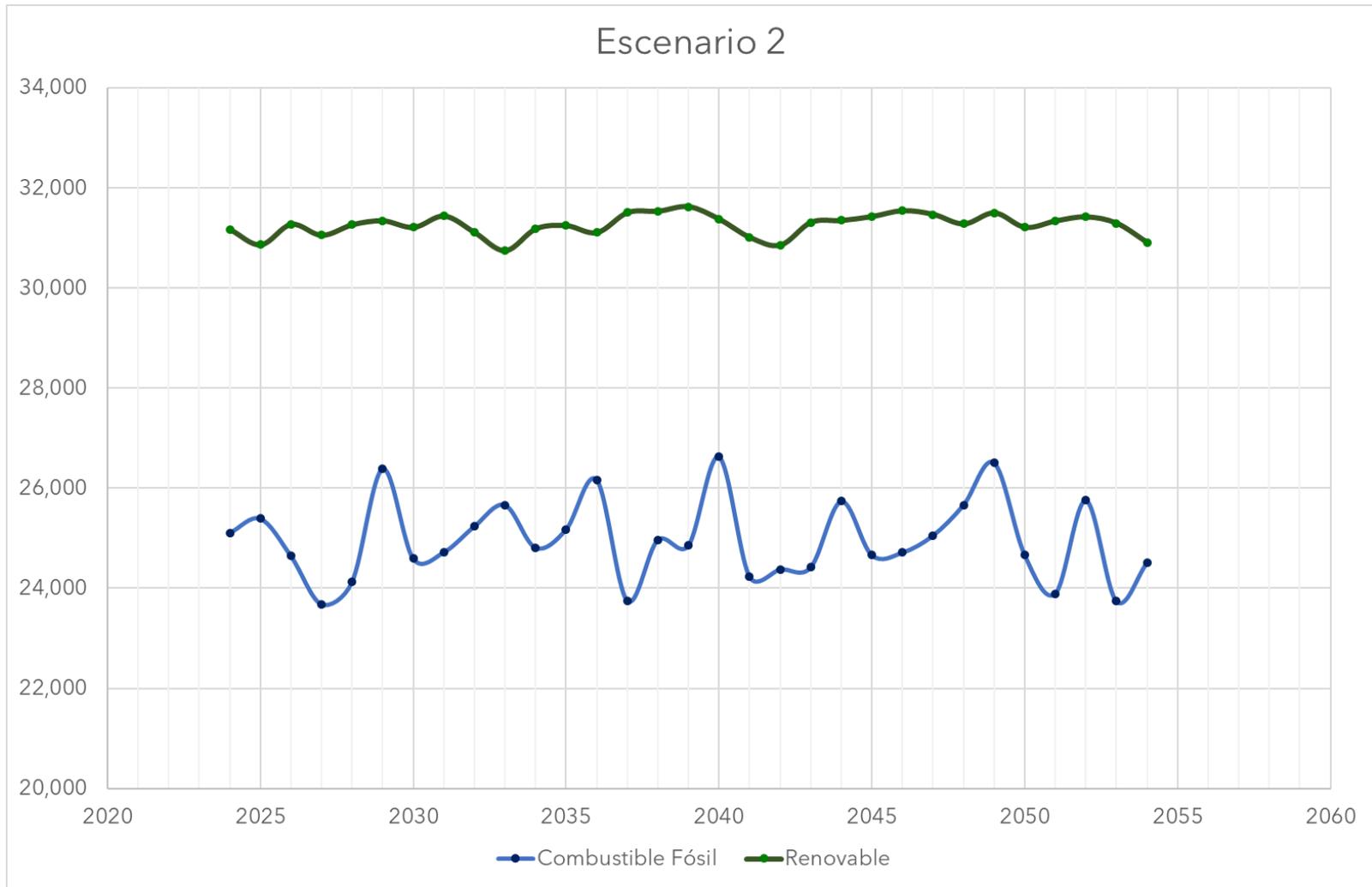
En este escenario se plantea mantener la tendencia en instalación de plantas con combustible fósil.

Es en este escenario donde se sostiene al alza la preferencia de uso/instalación de plantas generadoras con combustibles fósiles.

Año	Instalación CF	Instalación R	Retiro CF	Retiro R	Total CF	Total R
2024	2,902	491	135	23	25,108	31,168
2025	3,197	198	146	124	25,392	30,864
2026	2,308	464	4	186	24,645	31,272
2027	1,432	335	94	122	23,679	31,053
2028	1,788	454	3	22	24,126	31,263
2029	4,128	609	79	137	26,390	31,342
2030	2,271	417	19	96	24,593	31,210
2031	2,414	659	35	21	24,720	31,436
2032	2,941	339	44	72	25,238	31,107
2033	3,520	131	196	66	25,665	30,747
2034	2,601	500	130	112	24,812	31,182
2035	2,957	555	122	154	25,176	31,245
2036	3,835	303	8	199	26,168	31,107
2037	1,487	769	75	42	23,753	31,506
2038	2,633	725	5	143	24,969	31,532
2039	2,527	825	15	81	24,853	31,622
2040	4,296	570	9	84	26,628	31,373
2041	1,942	251	51	192	24,232	31,012
2042	2,144	152	105	133	24,380	30,859
2043	2,215	638	137	59	24,419	31,313
2044	3,520	657	121	139	25,740	31,348
2045	2,325	618	3	14	24,663	31,427
2046	2,452	809	79	165	24,714	31,542
2047	2,753	696	39	21	25,055	31,469
2048	3,333	477	9	57	25,665	31,280
2049	4,262	782	94	172	26,509	31,500
2050	2,361	437	37	194	24,665	31,212
2051	1,564	539	12	129	23,893	31,339
2052	3,536	729	121	174	25,756	31,420
2053	1,504	587	106	181	23,739	31,293
2054	2,364	295	197	141	24,508	30,910

Instalación CF		Retiro CF	
Media	2693.93548	Media	71.9354839
Error típico	145.974316	Error típico	10.5693751
Mediana	2527	Mediana	75
Moda	3520	Moda	3
Desviación estándar	812.750595	Desviación estándar	58.8477898
Varianza de la muestra	660563.529	Varianza de la muestra	3463.06237
Curtosis	-0.54671248	Curtosis	-0.78228064
Coefficiente de asimetría	0.39288197	Coefficiente de asimetría	0.47508994
Rango	2864	Rango	194
Mínimo	1432	Mínimo	3
Máximo	4296	Máximo	197
Suma	83512	Suma	2230
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza(95.0%)	298.119325	Nivel de confianza(95.0%)	21.5855436
Instalación R		Retiro R	
Media	516.483871	Media	111.451613
Error típico	35.2742518	Error típico	10.6612391
Mediana	539	Mediana	124
Moda	#N/D	Moda	21
Desviación estándar	196.398722	Desviación estándar	59.359267
Varianza de la muestra	38572.4581	Varianza de la muestra	3523.52258
Curtosis	-0.77061315	Curtosis	-1.21930913
Coefficiente de asimetría	-0.31656051	Coefficiente de asimetría	-0.22905985
Rango	694	Rango	185
Mínimo	131	Mínimo	14
Máximo	825	Máximo	199
Suma	16011	Suma	3455
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza(95.0%)	72.0396329	Nivel de confianza(95.0%)	21.7731549

Figura 4.10a Datos planteados en el Escenario 2 (panel)  
Elaboración propia.



**Figura 4.10b Datos planteados en el Escenario 2 (gráfica)**  
**Elaboración propia.**

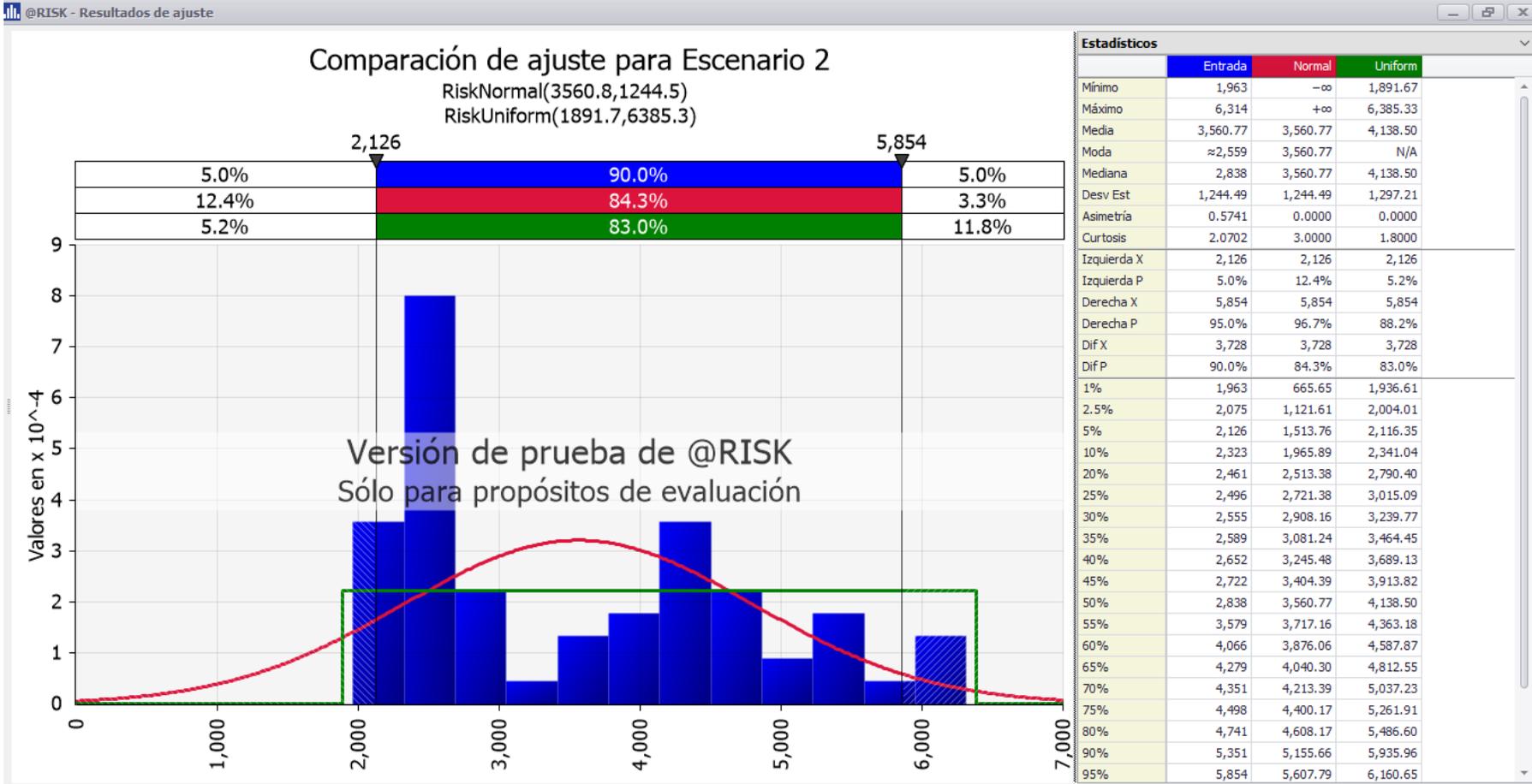


Figura 4.10c Ajuste de los datos planteados en el Escenario 2  
Elaboración propia.

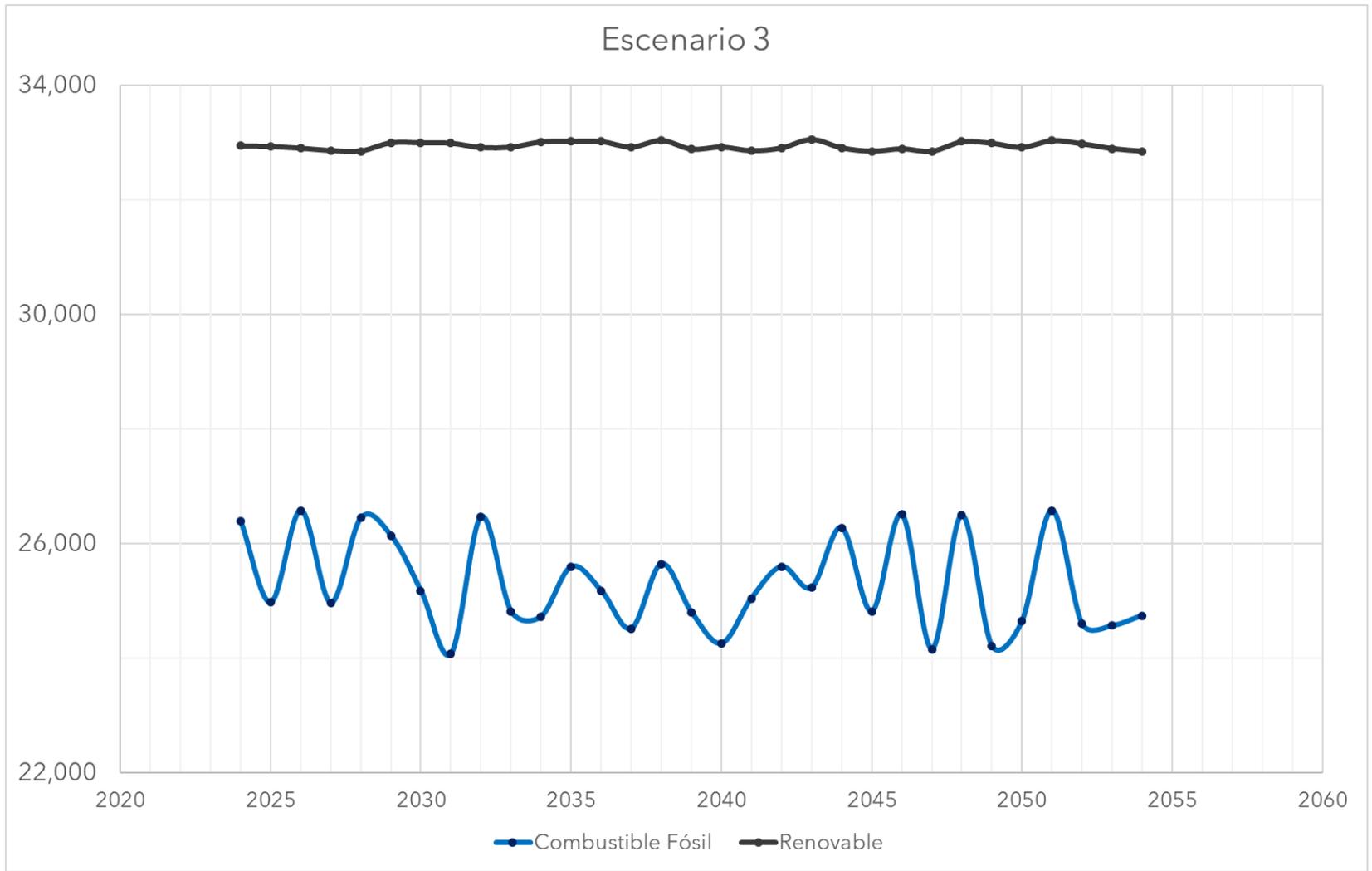
#### 4.2.4 Escenario 3.

En este escenario se plantea mantener la tendencia en instalación de plantas de tecnologías limpias Finalmente, en este ejercicio se da preferencia a las plantas generadoras que se catalogan como tecnologías limpias o con baja emisión de GEI.

Año	Instalación CF	Instalación R	Retiro CF	Retiro R	Total CF	Total R
2024	130	4,285	234	99	26,392	35,196
2025	336	2,677	47	88	24,971	33,577
2026	243	4,258	23	57	26,576	35,127
2027	204	2,683	58	13	24,966	33,508
2028	472	4,208	104	6	26,445	35,026
2029	299	3,933	132	156	26,142	34,901
2030	572	2,917	80	155	25,178	33,884
2031	168	1,886	153	148	24,074	32,846
2032	447	4,136	14	68	26,463	35,016
2033	522	2,591	116	75	24,816	33,478
2034	171	2,392	8	171	24,725	33,375
2035	199	3,415	162	182	25,594	34,409
2036	587	2,852	15	178	25,178	33,842
2037	203	2,337	163	76	24,515	33,225
2038	204	3,362	57	198	25,646	34,372
2039	377	2,630	167	39	24,804	33,481
2040	277	2,071	156	78	24,256	32,961
2041	290	2,760	56	11	25,045	33,583
2042	284	3,429	174	61	25,596	34,302
2043	110	3,007	116	215	25,232	34,034
2044	247	4,071	135	63	26,277	34,946
2045	575	2,654	181	1	24,814	33,467
2046	185	4,292	125	45	26,508	35,149
2047	101	1,921	104	0	24,158	32,733
2048	404	4,262	107	172	26,496	35,246
2049	343	1,969	97	147	24,213	32,928
2050	118	2,371	68	70	24,644	33,253
2051	431	4,282	47	194	26,576	35,288
2052	413	2,420	161	137	24,600	33,369
2053	568	2,379	155	50	24,565	33,241
2054	563	2,606	204	2	24,743	33,420

Instalación CF		Instalación R	
Media	323.967742	Media	3066.32258
Error típico	28.1214908	Error típico	148.055529
Mediana	290	Mediana	2760
Moda	204	Moda	#N/D
Desviación estándar	156.573834	Desviación estándar	824.338296
Varianza de la muestra	24515.3656	Varianza de la muestra	679533.626
Curtosis	-1.15020804	Curtosis	-1.31713043
Coefficiente de asimetría	0.3488891	Coefficiente de asimetría	0.36560185
Rango	486	Rango	2406
Mínimo	101	Mínimo	1886
Máximo	587	Máximo	4292
Suma	10043	Suma	95056
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza(95.0%)	57.4317461	Nivel de confianza(95.0%)	302.369728
Retiro CF		Retiro R	
Media	110.290323	Media	95.3225806
Error típico	10.7563628	Error típico	12.1607855
Mediana	116	Mediana	76
Moda	47	Moda	#N/D
Desviación estándar	59.8888935	Desviación estándar	67.708388
Varianza de la muestra	3586.67957	Varianza de la muestra	4584.42581
Curtosis	-0.81385907	Curtosis	-1.29038487
Coefficiente de asimetría	-0.05701192	Coefficiente de asimetría	0.19226441
Rango	226	Rango	215
Mínimo	8	Mínimo	0
Máximo	234	Máximo	215
Suma	3419	Suma	2955
Cuenta	31	Cuenta	31
Nivel de confianza(95.0%)	21.9674235	Nivel de confianza(95.0%)	24.8356372

Figura 4.11a Datos planteados en el Escenario 3 (panel)  
Elaboración propia.



**Figura 4.11b Datos planteados en el Escenario 3 (gráfica)  
Elaboración propia.**

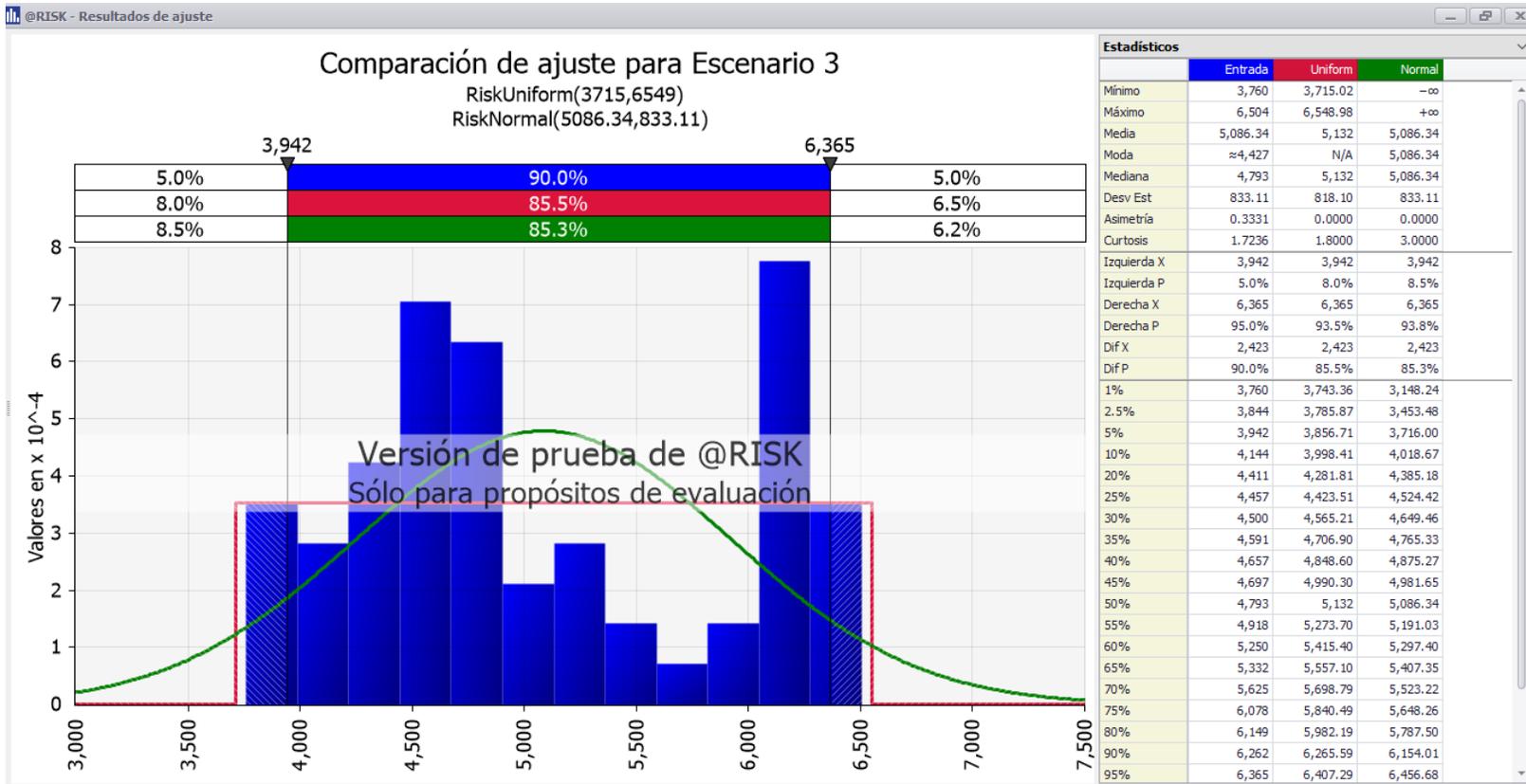


Figura 4.11c Ajuste de los datos planteados en el Escenario 3  
Elaboración propia.

### 4.3 Limitantes encontradas.

Este modelo únicamente hace énfasis en el porcentaje de participación por tipo de tecnología; de modo que se trata de un sistema mono nodal que no aborda la parte de transmisión y distribución hacia el usuario final.

- ✓ Suposición de independencia entre los participantes y sus relaciones
- ✓ Alcance limitado de las variables
- ✓ Convergencia y tamaño de la muestra de datos obtenida/generada
- ✓ Incertidumbre inherente en todo el proceso
- ✓ Modelación precisa: retrato idéntico a las relaciones reales en el sector
- ✓ Calibración y validación
- ✓ Comunicación e interpretación

#### 3.2.1 Limitantes teóricas-técnicas.

- **Consideraciones éticas:** Garantizar que las simulaciones se llevan a cabo de forma ética, teniendo en cuenta los posibles sesgos, la imparcialidad y la privacidad.
- **Juicio experto e interpretación:** Las simulaciones Monte Carlo requieren el juicio de expertos para determinar la estructura adecuada del modelo, las variables de entrada y las distribuciones. La interpretación de los resultados también depende de la pericia y la comprensión de las limitaciones del modelo.
- **Sensibilidad a los parámetros de entrada:** Las simulaciones Monte Carlo son sensibles a la elección de los parámetros de entrada y a las suposiciones. Pequeños cambios en estos parámetros pueden conducir a resultados significativamente diferentes. Realizar análisis de sensibilidad puede ayudar a identificar los factores influyentes y mejorar la comprensión del comportamiento del modelo.

#### 3.2.2 Limitantes informáticas.

- **Complejidad computacional:** La simulación de sistemas complejos puede ser exigente desde el punto de vista computacional. A medida que aumenta el número de componentes, interacciones y variables, los requisitos computacionales de la simulación crecen exponencialmente. La ejecución de simulaciones con un gran número de elementos o durante periodos prolongados puede requerir una potencia de cálculo considerable, cuyo acceso puede resultar caro o lento.

- **Incertidumbre y análisis de sensibilidad:** Las simulaciones están sujetas a diversas fuentes de incertidumbre, como la incertidumbre de los parámetros de entrada, la incertidumbre de la estructura del modelo y la variabilidad estocástica. Llevar a cabo un análisis de sensibilidad exhaustivo para comprender los efectos de estas incertidumbres en los resultados de la simulación puede ser todo un reto. Requiere identificar los parámetros clave, cuantificar su incertidumbre y evaluar cómo se propagan los cambios en esos parámetros a través del modelo.

### 3.2.3 Limitantes geográficas.

Las simulaciones de este tipo suelen requerir grandes cantidades de datos para dar formato y estructura al modelo y validar sus resultados. Obtener datos completos y de alta calidad supuso una dificultad considerable, ya que la base de datos obtenidos de los documentos de los portales de gobierno y organismos internacionales tienen imprecisiones debido a la variación de recursos naturales (hídricos), infraestructura y normatividad con los que cuenta el país.

#### 4.3.3.1 Sectorización de modelos

Después de hacer el análisis y simulación se encontraron las siguientes ventanas de oportunidad para un estudio más preciso:

- Gestión de la complejidad: La sectorización permitiría descomponer la complejidad propia del sistema en partes manejables, lo que simplificaría la comprensión y representación del proceder del sistema.
- Modularidad y reutilización: Cada tipo de tecnología, entidad federativa, central eléctrica y cada sector puede desarrollarse y probarse de forma independiente, lo que permite crear componentes reutilizables que pueden integrarse en simulaciones o modelos a mayor escala.
- Paralelismo y escalabilidad: La sectorización también permitiría la computación paralela y las simulaciones distribuidas. Esto para reducir significativamente el tiempo de simulación y mejorar la escalabilidad para sistemas más grandes y complejos.

### 3.2.4 Indicadores de error.

Se detectaron algunas áreas de oportunidad para futuros ejercicios de simulación:

**Errores sistemáticos:** Aparecen a partir de sesgos o imprecisiones en la estructura del modelo, los supuestos o los datos de entrada.

- I. **Datos de entrada sesgados:** Los datos de entrada no son representativos de las condiciones del mundo real, los resultados pueden estar sistemáticamente sesgados.
- II. **Estructura del modelo:** Este modelo falla en la exactitud del sistema subyacente, de las relaciones y dependencias importantes entre las variables, lo que puede introducir errores sistemáticos.

- III. **Simplificaciones y suposiciones:** Simplificar sistemas complejos o hacer suposiciones poco realistas puede conducir a errores sistemáticos.

Para abordar y mitigar las áreas de oportunidad, pueden emplearse varias estrategias, como:

- **Análisis de sensibilidad:** La realización de análisis de sensibilidad ayuda a identificar las variables influyentes y a evaluar el impacto de los cambios en los parámetros de entrada sobre los resultados. Esto puede ayudar a comprender la solidez de la simulación y a identificar posibles fuentes de errores.
- **Validación del modelo:** La validación de los resultados de la simulación con datos históricos, pruebas empíricas o la opinión de expertos puede ayudar a identificar y corregir errores sistemáticos.
- **Mejorar la calidad de los datos:** Garantizar datos de alta calidad, fiables y representativos para definir las variables de entrada es crucial para reducir los errores. Mejorar los procesos de recopilación, verificación y validación de datos pueden mejorar la precisión de la simulación.
- **Iteraciones y convergencia:** Aumentar el número de iteraciones o muestras en la simulación puede mejorar la precisión y reducir los errores aleatorios.
- **Revisión y verificación por expertos:** La participación de expertos en el desarrollo y la interpretación de la simulación puede ayudar a identificar errores, validar supuestos y mejorar la fiabilidad de los resultados.

#### 4.4 Conclusiones del capítulo.

Esto permite una comprensión más detallada de la dinámica del sistema y facilita el desarrollo de modelos de simulación precisos y eficientes.

Para hacer frente a estos retos se requiere una colaboración interdisciplinaria, metodologías rigurosas, procesos de validación sólidos y una comprensión clara de las limitaciones y los supuestos de las simulaciones.

A pesar de las limitaciones antes mencionadas, las simulaciones Monte Carlo, incluidas las realizadas con el software @RISK, siguen siendo herramientas valiosas para analizar incertidumbres y explorar la gama de posibles en la parte de finanzas y gestión de proyectos. En los tres ejercicios, se encontraron valores similares en cuanto a los ajustes estadísticos.

Escenario	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
<b>Entrada</b>	90.0%	90.0%	90.0%
<b>Normal</b>	85.5%	84.3%	85.5%
<b>Uniforme</b>	85.5%	83.0%	85.3%

A pesar de tener variaciones mínimas, los tres escenarios tienen sustento suficiente para ser viables por el SEN.

Es esencial ser consciente de estas limitaciones y utilizar las simulaciones con criterio, teniendo en cuenta sus puntos fuertes y débiles.

Al comprender y abordar estos errores, las simulaciones Montecarlo pueden aportar información valiosa sobre las incertidumbres y los riesgos asociados a los sistemas complejos y los procesos de toma de decisiones.

En general, la sectorización de modelos proporciona un enfoque estructurado para manejar sistemas complejos en simulaciones, permitiendo un análisis más manejable y sistemático del comportamiento del sistema.

Sin embargo, es importante señalar que la **sectorización de modelos** también introduce algunos retos: garantizar una representación precisa y unas interacciones adecuadas entre sectores, abordar posibles problemas de límites y gestionar la integración de diferentes sectores son algunos de los desafíos que deben abordarse cuidadosamente durante el proceso de sectorización.

# Capítulo 5

---

## CONCLUSIONES.

Este trabajo busca fomentar el aumento en el uso de energías renovables sobre los combustibles fósiles.

El diseño de escenarios es un proceso iterativo ya que implica la toma de decisiones intencionadas y revisiones frecuentes, por lo tanto complejo, además de fundamental para cualquier ejercicio de planeación.

Las decisiones estratégicas que se tomen con relación a los elementos que lo integran: las metas y los objetivos establecidos, identificación de los participantes y sus características, así como la construcción del caso y su integración determinarán la importancia del modelo y, por tanto, el valor de un escenario simulado. De esta manera el tiempo que se dedique a considerar cada elemento y las relaciones entre ellos garantizará que el escenario sea adecuado para la puesta en marcha y aumentará la probabilidad de cumplir los objetivos planteados.

Dado el gasto asociado a la simulación inmersiva, corresponde al simulador y su equipo considerar si las mismas metas y objetivos pueden alcanzarse utilizando una herramienta menos costosa. Para ser lo más eficaz posible, el facilitador y líder de la simulación debe identificar claramente los objetivos generales, de modo que, cuando la toma de decisiones se enrede y complique durante el proceso de diseño, las opciones sean coherentes con el objetivo prioritario en mente.

### 5.1 Conclusiones por la parte de planeación

En el Capítulo 2 se revisó la Metodología de Sistemas Suaves (MSS) y los resultados luego del ejercicio de creación de escenarios con diferente porcentaje de participación del método de generación de energía son:

- El pensamiento sistémico analiza la suma de los componentes en su conjunto para lograr un objetivo de forma abstracta. Para ello se han creado nuevos modelos de sistemas que interpretan el mundo real para conocerlo, responder a él, resolver problemas y mejorar las correlaciones con las que interactúan entre sí.
- El objetivo principal de la MSS es reflejar el mundo de una manera inclusiva y sistémica, desde la identificación de problemas hasta la implementación de cambios. Además, aborda la subjetividad de los asuntos humanos de una manera guiada por el rigor intelectual con el objetivo de lograr mejoras a través de cambios en el sistema.
- Los resultados de las teorías (sus paradigmas, modelos y técnicas) se prueban utilizando una metodología adecuada (en el mundo real a través de intervención, influencia y observación). Y gracias a ello se están formulando mejores métodos, técnicas y modelos.

- El pensamiento sistémico duro y suave ve la realidad como un mundo sistémico y un proceso de investigación en forma de "sistemas". Los ingenieros que utilizan sistemas duros enfrentan distintos problemas, mientras que aquellos que usan sistemas blandos enfrentan arreglos desordenados o inadecuados.
- Se utiliza una metodología adecuada para probar los resultados de las teorías (sus paradigmas, modelos y técnicas) en el mundo real mediante intervención, influencia u observación. Esto ha llevado a la creación de métodos, técnicas y modelos mejorados.
- Al utilizar la MSS es posible proporcionar los recursos, herramientas y soluciones necesarios para restaurar el orden en un sistema complejo o inmanejable. Esencialmente, este método especifica los requisitos y objetivos del sistema desarrollado para permitir la identificación, validación y selección de modelos alternativos mediante la aplicación de criterios relacionados con los objetivos.
- El uso de etapas permite formular estructuras mentales para resolver el problema, tales como:
  - percibir la situación problemática (**niveles 1 y 2**),
  - construir sistemas adecuados para el mundo real (**niveles 3 y 4**),
  - comparar los modelos para analizar los cambios (**niveles 5 y 6**) y
  - seleccionar la acción para mejorar la situación (**nivel 7**).

## 5.2 Conclusiones por parte del caso de aplicación y nuevos modelos de negocio.

- La creación de nuevos modelos de negocio dentro y fuera del sector energético incluyen la recombinación de modelos existentes: la aparición de nuevos modelos globales y **ultra locales** (*muy focalizados a nivel local*), y la ampliación de los límites del mercado energético tradicional a servicios de valor añadido (energía verde, movilidad electrónica, etc.).
- Los líderes del sector energético deben construir modelos de negocio **altamente relevantes** para sostener el valor social y económico, generar beneficios y permitir una competitividad progresiva. El éxito futuro de los modelos de negocio existentes y nuevos puede evaluarse utilizando los *escenarios energéticos mundiales*.
- Los modelos empresariales disruptivos surgen con rapidez y crecen exponencialmente si se dan las condiciones adecuadas. Esta disrupción amenaza con obstaculizar el funcionamiento y el rendimiento de los modelos de negocio actuales. Por lo tanto, las partes interesadas deben ser capaces de identificar las tendencias críticas y traducirlas en estrategias (administrativas y gubernamentales en los tres niveles) para mitigar los riesgos futuros
- El ritmo acelerado de los avances de las nuevas tecnologías y los motores no tecnológicos están transformando rápidamente algunos sectores energéticos. La digitalización y las energías renovables son factores importantes (pero no los únicos) de alteración, disturbio o desequilibrio de la innovación del modelo de negocio energético. Entre los **impulsores no tecnológicos**

figuran las preferencias sociales, el régimen político del mercado de la energía y las políticas no energéticas.

- La alteración de los modelos de negocio afecta a las empresas existentes y a las partes interesadas en el sector de la energía en general. Los actores de la industria energética, inversores, reguladores y gobiernos deben cooperar y preparar un camino crítico que permita a sociedades enteras prosperar en esta gran transición.
- Las **políticas gubernamentales** pueden desempeñar un papel clave en la evolución del sistema energético permitiendo y dirigiendo la innovación del modelo empresarial de una manera que sea:
  - tecnológicamente neutra, y
  - atendiendo a los riesgos emergentes de modelos de negocio energético más globales y **ultra locales** utilizando un marco de evaluación adecuado que refleje objetivos claros y a largo plazo.
- Cada vez se dispone de nuevos marcos emergentes y multidimensionales para evaluar la innovación de los modelos de negocio y su papel en la promoción del suministro y el uso sostenibles de la energía en beneficio de todos.
- El éxito de los **modelos de negocio** también se ve **determinado por las condiciones geográficas e hídricas locales** y la evolución de los sistemas energéticos globales y locales.
- Las **políticas futuras, el comportamiento de los consumidores y la evolución de la tecnología** fomentarán la adopción de modelos de negocio específicos a escala mundial. Estos paradigmas sólo prosperarán en una región o país si se dispone de recursos y socios locales.
- Se identificaron tres modelos de negocio que pueden fomentar la sostenibilidad ambiental:
  - Proveedores de **inteligencia energética**;
  - Plataformas que proporcionan **previsiones de generación potencial de energía** a partir de los recursos renovables; y,
  - Plataformas que **conecten a los actores de las energías renovables** para acelerar su desarrollo.
- Actualmente, la industria energética mexicana está siendo moldeada por las reformas gubernamentales para definir **la combinación de energía primaria, los planes clave de**

**inversión en infraestructura y el grado de participación privada a lo largo de la cadena de valor.** Por lo tanto, el gobierno tiene la responsabilidad de fomentar la innovación, permitir la implementación de modelos de negocio y optar por facilitar la adopción de paradigmas desarrollados fuera del país.

### 5.3 Trabajos futuros

A partir de la simulación realizada, se identifican algunos puntos relevantes:

A nivel macro, la **simulación ignora los sesgos en la demanda esperada** y no tiene en cuenta las prácticas culturales. Si la demanda es limitada y reducida, se puede aprovechar para regionalizar la simulación y producir cifras más relevantes para el comportamiento real de los subsistemas.

Regionalizar el consumo de la población civil y abordar problemas a nivel informático y/o administrativo puede mejorar la aceptación por parte de los usuarios de los cambios que benefician tanto a los consumidores como a la red eléctrica.

Los modelos de negocios de este sector se han transformado, lo que ha llevado a nuevas investigaciones sobre cómo los **gobiernos, los organismos reguladores y las empresas privadas deberían prepararse para este cambio significativo.**

Como consecuencia a la modificación de modelos de negocio en el sector se han identificado nuevas interrogantes/preguntas relativas a cómo los **gobiernos, las entidades reguladoras y las empresas privadas deben prepararse** para esta gran transición, además estos mismos argumentos podrían ser relevantes para otros sectores, entre ellas:

- ¿**Qué tendencias** de otras industrias se pueden incorporar al sector energético?
- ¿**Qué inversiones en infraestructura y recursos deberían priorizarse** para prepararse para la implementación de modelos de negocios emergentes?
- ¿En qué segmentos de la cadena de valor debería el gobierno **augmentar la inversión para el desarrollo de tecnologías innovadoras** y la identificación de **nuevos modelos operativos**?

# Anexos

---

---

## Anexo 1 Simulación MONTECARLO.

La simulación Montecarlo es una técnica utilizada para modelar la distribución de probabilidades de un sistema o proceso complejo en el que intervienen múltiples variables inciertas (McFarland, 2011). Recibe su nombre del Casino de Montecarlo, en Mónaco, donde los juegos de azar implican resultados aleatorios.

En un ejercicio de simulación Montecarlo, se plantea un gran número de escenarios generados aleatoriamente y se analizan sus resultados para estimar la probabilidad de distintos resultados de interés. La simulación utiliza un modelo del sistema o proceso que tiene en cuenta las relaciones entre las distintas variables y las reglas que rigen sus interacciones (Rubinstein, 2016).

Simulando miles de escenarios distintos y analizando sus resultados, la simulación puede proporcionar una estimación de la probabilidad de alcanzar distintos niveles de rentabilidad o de incurrir en distintos niveles de pérdidas.

La simulación Montecarlo genera aleatoriamente valores para cada variable del modelo basándose en su distribución de probabilidad. Estos valores se introducen en el modelo, que calcula el resultado del sistema basándose en ellos. Este proceso se repite muchas veces, con diferentes conjuntos de valores aleatorios generados cada vez, para crear una distribución de posibles resultados.

El resultado de una simulación Montecarlo suele ser un histograma o un gráfico de distribución de probabilidades que muestra la frecuencia de los distintos resultados. Ross (2013) invita a hacer un análisis de esta distribución, de esta manera podemos estimar la probabilidad de obtener distintos resultados en diversas condiciones e identificar el riesgo asociado a las distintas decisiones.

La simulación Montecarlo es una herramienta para quién lleva el mando [*call the shots*] (Glasserman, 2004) ya que nos permite emitir juicios informados en condiciones de incertidumbre. Al modelar los posibles resultados de diferentes decisiones, se puede comprender mejor los riesgos y oportunidades asociados a cada elección y conducir acciones más informadas.

De acuerdo con Robert y Casella, (2004) la simulación Montecarlo también se basa en suposiciones sobre las distribuciones de probabilidad de las variables de entrada. Si estos supuestos son incorrectos, los resultados de la simulación pueden ser sesgados o inexactos. Por lo tanto, es importante considerar cuidadosamente los supuestos en los que se basa el modelo y validarlos con datos empíricos siempre que sea posible.

A pesar de estas limitaciones, la simulación Montecarlo es una poderosa herramienta para la toma de decisiones en una amplia gama de campos. Fishman (2013) aporta que, al proporcionar una estimación probabilística de los resultados de escenarios diferentes, la simulación Montecarlo puede ayudar a reducir la incertidumbre y fundamentar la ejecución de planes y acciones en entornos complejos e inciertos.

## Referencias Anexo 1.

1. Ascher, U., & Petzold, L. (1998). Computer methods for ordinary differential equations and differential-algebraic equations. SIAM.
2. Fishman, G. (2013). Monte Carlo: Concepts, algorithms, and applications. Springer
3. Glasserman, P. (2004). Monte Carlo methods in financial engineering. Springer
4. McFarland, J. (2011). Monte Carlo simulation and finance. CRC Press.
5. Robert, C. & Casella, G. (2004). Monte Carlo statistical methods. Springer
6. Ross, S. (2013). Introduction to probability models. Academic press.
7. Rubinstein, R, & Kroese, D. (2016). Simulation and the Monte Carlo method. Wiley & Sons.
8. Saltelli, A., Chan, K., & Scott, E. M. (Eds.). (2000). Sensitivity analysis. John Wiley & Sons.

## Anexo 2 Datos obtenidos del PRODESEN.

	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Tecnología					
Hidroeléctrica	12,612	12,612	12,612	12,612	12,614
Geotermoeléctrica	899	899	899	951	976
Eoloeléctrica	3,898	4,866	6,050	6,504	6,977
Fotovoltaica	171	1,878	3,646	5,149	5,955
Bioenergía	374	375	375	378	378
<b>Suma Limpia renovable</b>	<b>17,954</b>	<b>20,629</b>	<b>23,582</b>	<b>25,594</b>	<b>26,899</b>
Nucleoeléctrica	1,608	1,608	1,608	1,608	1,608
Cogeneración Eficiente	1,322	1,709	1,710	2,305	2,305
<b>Suma Limpia no renovable</b>	<b>2,930</b>	<b>3,317</b>	<b>3,318</b>	<b>3,913</b>	<b>3,913</b>
<b>Total Limpia</b>	<b>20,883</b>	<b>23,946</b>	<b>26,900</b>	<b>29,506</b>	<b>30,812</b>
Porcentaje	31	33	34	36	36
Ciclo combinado	25,340	27,393	30,402	31,948	33,640
Térmica convencional	12,665	12,315	11,831	11,809	11,793
Turbogás	2,960	2,960	2,960	3,545	3,744
Combustión interna	739	880	891	850	701
Carboeléctrica	5,463	5,463	5,463	5,463	5,463
<b>TOTAL</b>	<b>68,050</b>	<b>72,958</b>	<b>78,447</b>	<b>83,121</b>	<b>86,153</b>

Tabla A2.1<sup>54</sup>  
Elaboración propia con datos de SENER 2021

54

PRODESEN 2017- 2031

PRODESEN 2018- 2032

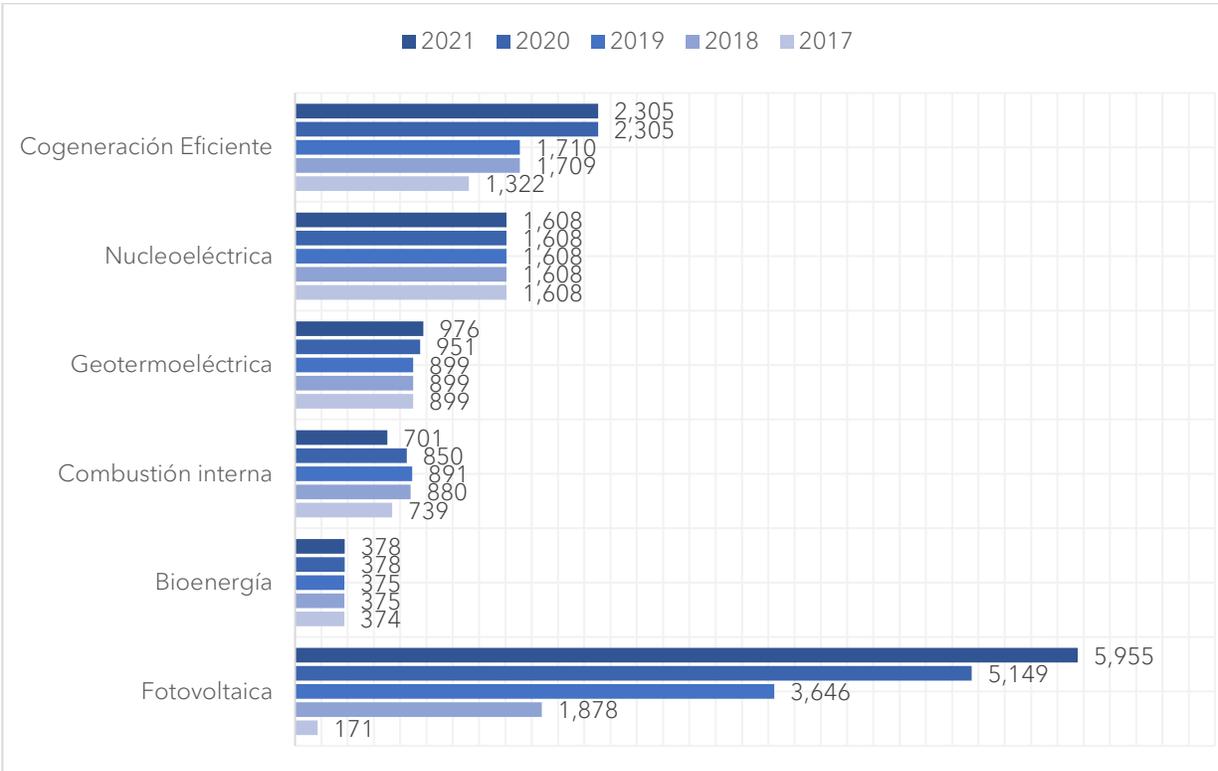
PRODESEN 2019- 2033

PRODESEN 2020- 2034

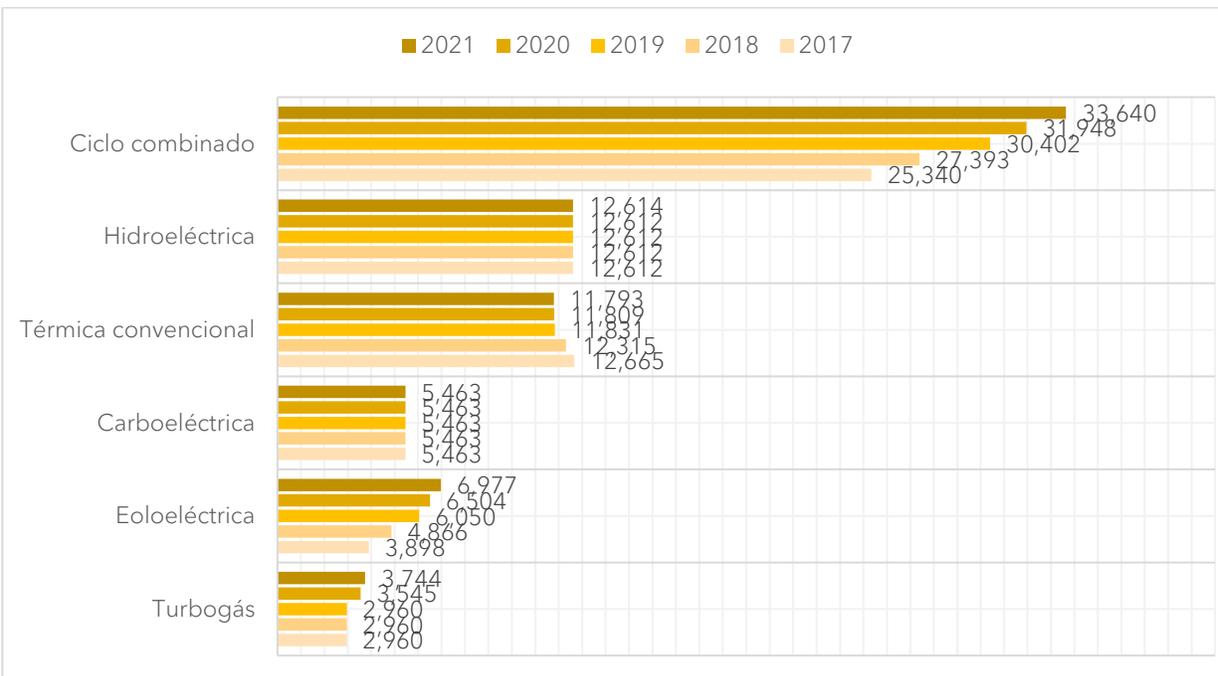
PRODESEN 2021- 2035

Disponibles desde <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Prodesen.aspx>

## A.1 Desarrollo de la producción de energía eléctrica por tipo de tecnología.



**Figura A2.1**  
Elaboración propia con datos de SENER 2021



**Figura A2.2**

Elaboración propia con datos de SENER 2021

**A.2 Estadística descriptiva por tipo de generación (1)**

<i>Hidroeléctrica</i>		<i>Geotermoeléctrica</i>		<i>Eololéctrica</i>		<i>Fotovoltaica</i>	
Media	12612.4	Media	924.8	Media	5659	Media	3359.8
Error típico	0.4	Error típico	16.2861905	Error típico	562.761051	Error típico	1057.88437
Mediana	12612	Mediana	899	Mediana	6050	Mediana	3646
Moda	12612	Moda	899	Moda	#N/D	Moda	#N/D
Desviación estándar	0.89442719	Desviación estándar	36.417029	Desviación estándar	1258.37196	Desviación estándar	2365.50136
Varianza de la muestra	0.8	Varianza de la muestra	1326.2	Varianza de la muestra	1583500	Varianza de la muestra	5595596.7
Curtosis	5	Curtosis	-1.83646121	Curtosis	-1.23860582	Curtosis	-1.45933638
Coefficiente de asimetría	2.23606798	Coefficiente de asimetría	0.86861377	Coefficiente de asimetría	-0.62879446	Coefficiente de asimetría	-0.39187551
Rango	2	Rango	77	Rango	3079	Rango	5784
Mínimo	12612	Mínimo	899	Mínimo	3898	Mínimo	171
Máximo	12614	Máximo	976	Máximo	6977	Máximo	5955
Suma	63062	Suma	4624	Suma	28295	Suma	16799
Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5
Nivel de confianza(95.0%)	1.11057804	Nivel de confianza(95.0%)	45.2177138	Nivel de confianza(95.0%)	1562.47516	Nivel de confianza(95.0%)	2937.15788
<i>Bioenergía</i>		<i>Nucleoeléctrica</i>		<i>Cogeneración Eficiente</i>		<i>Ciclo combinado</i>	
Media	376	Media	1608	Media	1870.2	Media	29744.6
Error típico	0.83666003	Error típico	0	Error típico	191.085688	Error típico	1506.51603
Mediana	375	Mediana	1608	Mediana	1710	Mediana	30402
Moda	375	Moda	1608	Moda	2305	Moda	#N/D
Desviación estándar	1.87082869	Desviación estándar	0	Desviación estándar	427.280587	Desviación estándar	3368.67226
Varianza de la muestra	3.5	Varianza de la muestra	0	Varianza de la muestra	182568.7	Varianza de la muestra	11347952.8
Curtosis	-2.89795918	Curtosis	# DIV/0!	Curtosis	-1.88230629	Curtosis	-1.5840868
Coefficiente de asimetría	0.38180177	Coefficiente de asimetría	# DIV/0!	Coefficiente de asimetría	-0.04619335	Coefficiente de asimetría	-0.3091679
Rango	4	Rango	0	Rango	983	Rango	8300
Mínimo	374	Mínimo	1608	Mínimo	1322	Mínimo	25340
Máximo	378	Máximo	1608	Máximo	2305	Máximo	33640
Suma	1880	Suma	8040	Suma	9351	Suma	148723
Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5
Nivel de confianza(95.0%)	2.32294064	Nivel de confianza(95.0%)	0	Nivel de confianza(95.0%)	530.538922	Nivel de confianza(95.0%)	4182.75907
<i>Térmica convencional</i>		<i>Turbogás</i>		<i>Combustión interna</i>		<i>Carboeléctrica</i>	
Media	12082.6	Media	3233.8	Media	812.2	Media	5463
Error típico	175.389167	Error típico	170.594373	Error típico	38.7032298	Error típico	0
Mediana	11831	Mediana	2960	Mediana	850	Mediana	5463
Moda	#N/D	Moda	2960	Moda	#N/D	Moda	5463
Desviación estándar	392.182101	Desviación estándar	381.460614	Desviación estándar	86.5430529	Desviación estándar	0
Varianza de la muestra	153806.8	Varianza de la muestra	145512.2	Varianza de la muestra	7489.7	Varianza de la muestra	0
Curtosis	-0.88719729	Curtosis	-2.45085835	Curtosis	-2.57746056	Curtosis	# DIV/0!
Coefficiente de asimetría	1.03199118	Coefficiente de asimetría	0.76092259	Coefficiente de asimetría	-0.58643574	Coefficiente de asimetría	# DIV/0!
Rango	872	Rango	784	Rango	190	Rango	0
Mínimo	11793	Mínimo	2960	Mínimo	701	Mínimo	5463
Máximo	12665	Máximo	3744	Máximo	891	Máximo	5463
Suma	60413	Suma	16169	Suma	4061	Suma	27315
Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5
Nivel de confianza(95.0%)	486.958395	Nivel de confianza(95.0%)	473.645911	Nivel de confianza(95.0%)	107.457393	Nivel de confianza(95.0%)	0

### A.3 Estadística descriptiva por tipo de generación (2)

<i>Total Limpia</i>		<i>Suma Limpia renovable</i>		<i>Suma Limpia no renovable</i>	
Media	26409.4	Media	22931.6	Media	3478.2
Error típico	1814.13813	Error típico	1632.94405	Error típico	191.085688
Mediana	26900	Mediana	23582	Mediana	3318
Moda	#N/D	Moda	#N/D	Moda	3913
Desviación estándar	4056.53618	Desviación estándar	3651.37389	Desviación estándar	427.280587
Varianza de la muestra	16455485.8	Varianza de la muestra	13332531.3	Varianza de la muestra	182568.7
Curtosis	-1.36514331	Curtosis	-1.38866421	Curtosis	-1.88230629
Coefficiente de asimetría	-0.42810528	Coefficiente de asimetría	-0.46167495	Coefficiente de asimetría	-0.04619335
Rango	9929	Rango	8945	Rango	983
Mínimo	20883	Mínimo	17954	Mínimo	2930
Máximo	30812	Máximo	26899	Máximo	3913
Suma	132047	Suma	114658	Suma	17391
Cuenta	5	Cuenta	5	Cuenta	5
Nivel de confianza(95.0%)	5036.85494	Nivel de confianza(95.0%)	4533.77951	Nivel de confianza(95.0%)	530.538922

# Bibliografía complementaria

---

## Capítulo 1

- i. Agerton M., Dawson L. (2015) Mexico's Energy Reform: Implications for North America in Energy Policy
- ii. BID (2019). Implications on Climate Targets on oil production and fiscal revenues in Latin America and the Caribbean.
- iii. Black S. et. al. (2021) A Comprehensive Climate Mitigation Strategy for Mexico. Consultada el 23 de febrero de 2023 desde [elibrary](#)
- iv. Glover D., Sarma M. Overbye T. (2007) Power System Analysis and Design. Cengage Learning
- v. IEA (2021) Mexico Energy Outlook
- vi. IEA (2021). Net-zero by 2050. Obtenido el 23 de enero de 2023 en [referencia](#)
- vii. IEA (2022). World Energy Outlook 2022.
- viii. Lawrence E. (2014) Renewable Energy Integration: Practical Management of Variability, Uncertainty, and Flexibility in Power Grids. Academic Press
- ix. León E. (2017) Mexico's Energy Reforms: Background, Implementation, and Challenges in Energy Research & Social Science
- x. Smil, V. (2010). Myths and Realities: bringing science to the energy policy debate.
- xi. Smil, V. (2017). Energy and Civilization: a history.
- xii. Smil, V. (2017). Oil. A Beginner's guide.
- xiii. Van de Graaf, T. (2019) A new world: the geopolitics of the energy transformation. En Global Commission on the Geopolitics of Energy Transformation.
- xiv. Weedy B., Cory B. Jenkins N. (2012) Electric Power Systems. Wiley and Sons
- xv. World Energy Council. (2019). World Energy Insights Brief 2019. GLOBAL ENERGY SCENARIOS COMPARISON REVIEW. Obtenido el 23 de enero de 2023 desde [referencia](#)
- xvi. Zarco J. (26 de septiembre de 2022) Acelerar la inclusión de tecnologías limpias es obligado para la transición energética. PV Magazine. Consultado el 2 de marzo de 2023 desde [referencia](#)

## Capítulo 2

- i. Ackoff R. (2006). Why Few Organizations Adopt Systems Thinking. Systems Research and Behavioral Science. Wiley InterScience.
- ii. Ackoff R. (1973). Operations Research. Science in the Systems Age: beyond IE, OR, and MS. University of Pennsylvania.
- iii. Boaventura, J. & Fischmann, A. (2008). Is your vision consistent? Futures.
- iv. Burt & Van der Heijden (2008). "Towards a framework to understand purpose in Futures Studies: The role of Vickers' Appreciative System. Futures.
- v. Chermack, T. & Walton, J. S. (2006) Scenario planning as a development and change.
- vi. Clemens R. (2009). Environmental Scanning and Scenario Planning a 12-month perspective on applying The Viable Systems Model to Developing Public Sector Foresight.
- vii. De Geus, A. P. (1988). Planning as learning. Harvard Business Review.
- viii. Dortmans P. J. & Eiffe, E. (2004) An examination of future scenarios using historical analogy. Futures.
- ix. Fixler, D. J. y Siegel, D. (1999). Outsourcing and productivity growth in services. Structural Change and Economic Dynamics.
- x. Floyd J. (2008). Towards an integral renewal of systems methodology for future studies. Futures.
- xi. Johnston, R. y Clark, G. (2005). Service Operations Management: Improving Service Delivery Pearson Education.
- xii. Jouvenel de, H. (2000) A Brief Methodological Guide to Scenario Building. Technological Forecasting and Social Change.
- xiii. Lo Presti, A. (1996). Futures research and Complexity: a critical analysis from the perspective of social science. Futures
- xiv. Mahmud, Jaizuluddin. (2002) City foresight and development planning case study: Implementation of scenario planning in formulation of the Bulungan development plan. En: Futures
- xv. Miklos, T, & Tello, M. (2007). Planeación Prospectiva: Una estrategia para el diseño del futuro. Limusa
- xvi. Mintzberg, H. (1994). The Rise and Fall of Strategic Planning. Simon and Schuster Inc.
- xvii. Naazneen H. (2016), Scenario analysis and political science, Oxford University Press Blog.
- xviii. Ochoa, R. (1997). Método de los sistemas. Cuadernos de planeación y sistemas No.10. México: Facultad de Ingeniería.
- xix. Ogilvy, J. (2015), Scenario Planning and Strategic Forecasting, Stratfor.

- xx. Pearce, J., Freeman, E. y Robinson, R. (1987). The tenuous link between formal strategic planning and financial performance. *Academy of Management Review*,
- xxi. Phadnis, S. (2012). *Influencing managerial cognition and decisions using scenarios for long-range planning*. Cambridge, MIT.
- xxii. Piirainen, K. & Lindqvist, A., (2010). Enhancing business and technology foresight with electronically mediated scenario processes. *Foresight*, Consultada el 16 de marzo de 2023 desde [referencia](#).
- xxiii. Postmaa, T. & Liebl, F., (2005). How to improve scenario analysis as a strategic management tool? *Technological Forecasting and Social Change*. Consultado el 23 de enero de 2023 desde: [referencia](#)
- xxiv. Rasmussen, L. (2011). *Facilitating Change: Using Interactive methods in organizations, communities and networks*. Denmark: Polyteknisk.
- xxv. Ricard, L. & Borch, K., (2012). *From Future Scenarios to Roadmapping: A Practical Guide for Exploring Innovation and Strategy*. European Foresight Platform.
- xxvi. Sakhuja S., Jain V. (2012). *Service Supply Chain: An Integrated Conceptual Framework: Proceedings of the 45th International Conference on Computers & Industrial Engineering*.
- xxvii. Sapio, B., (1995). S E A R C H (Scenario Evaluation and Analysis Through Repeated Cross Impact Handling) a new method for scenario analysis with an application to the Videotel service in Italy. *International Journal of Forecasting*.
- xxviii. Saurin, R. y Ratcliffe, J. (2011) Using an adaptive scenarios approach to establish strategies for tomorrow's workplace. En: *Foresight*
- xxix. Schmenner, R. (1995). *Service Operations Management*. Prentice-Hall.
- xxx. Schwartz, P. (1991). *The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World*. Nueva York, NY.
- xxxi. Sengupta S. (2013). 10 Supply Chain Trends for the Next 10 Years. Consultada el 25 de enero de 2023 desde: [referencia](#)
- xxxii. Soliva, R. & Hunziker, M., (2009). Beyond the visual dimension: Using ideal type narratives to analyse people's assessments of landscape scenarios. *Land Use Policy*. Consultada el 25 de enero de 2023 desde: [referencia](#)
- xxxiii. Straton, A. (2010). *Exploring and Evaluating Scenarios for a River Catchment in Northern Australia Using Scenario Development, Multi-criteria Analysis and a Deliberative Process as a Tool for Water Planning*. *Water Resources Management*. Consultado el 23 de enero de 2023 desde: [referencia](#)
- xxxiv. Therond, O. (2009). Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework. *Environmental Science & Policy*,

- xxxv. Tonn, B. (2005). Imprecise probabilities and scenarios. Futures. Consultado el 23 de enero de 2023 desde [referencia](#)
- xxxvi. Voros, J. (2003). A generic foresight process framework. Foresight. Consultado el 23 de enero de 2023 desde [referencia](#)

## Capítulo 3

- i. Acosta A. (2011). La crisis energética y las energías alternativas. Instituto de Estudios en Regulación Minera, Petrolera y Energética. Obtenido el 28 de enero de 2023 desde [referencia](#)
- ii. Bayraktar B. (1980) Energy Policy Planning. NATO Conference Series 9.
- iii. Black S. Krabaeva K., Perry I. (2021) A Comprehensive Climate Mitigation Strategy for Mexico. IMF International Monetary Fund.
- iv. Campbell, C. (2015). Oil Age: Energy in Transition. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences.
- v. D. Luenberger D. (1995) Microeconomic Theory. New York: McGraw Hill. Office of Gas and Electricity Markets.
- vi. Haigh R. and Bagwell. J. (2000) An Overview of the New Electricity Trading Arrangements. Obtenido el 28 de enero de 2023 desde [referencia](#)
- vii. Kahane A. (2012) Transformative Scenario Planning, BK
- viii. Mulvaney, D. (2020). Sustainable Energy Transitions, Springer
- ix. Schlabbach J., Rofalski K. (2002) Power System Engineering. Planning, Design, and Operation of Power and Equipment. Wiley VCH.
- x. Schwenker R., Wulf T. (2013) Scenario-Based Strategic Planning. Springer Gabler
- xi. Schweppe F., Caramanis, R., Tabors et al. (1988) Spot Pricing for Electricity. Boston: Kluwer.
- xii. Stremke S. (2013) Sustainable energy Landscapes. Designing, Planning and Development. CRC Press
- xiii. Zheng T., Litvinov E. (2011) On Ex Post Pricing in the Real-Time Electricity Market. IEE Trans. on Power Systems.

Not all those who wander are lost