



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

ITM

**“ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LA INDUSTRIA 4.0
EN EL PRONACES DE ENERGÍA Y CAMBIO
CLIMÁTICO”**

OPCIÓN

TESIS

PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRO EN PLANIFICACIÓN DE EMPRESAS Y

DESARROLLO REGIONAL

PRESENTA

ANDREA GUADALUPE SANDOVAL COCOM

ASESOR

JORGE CARLOS CANTO ESQUIVEL

COASESOR

ALÍ BASSAM

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO

24 DE NOVIEMBRE DE 2023



DEPENDENCIA: DIV. DE EST. DE POSG. E INV.

No. DE OFICIO: X-247/23

Mérida, Yucatán, 16/octubre/2023

ASUNTO: AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

**C. ANDREA GUADALUPE SANDOVAL COCOM
PASANTE DE LA MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN
DE EMPRESAS Y DESARROLLO REGIONAL
PRESENTE.**

De acuerdo al fallo emitido por su director **Jorge Carlos Canto Esquivel**, su coasesor **Alí Bassam** y la comisión revisora integrada por **Andrés Miguel Pereyra Chan**, **Ana María Canto Esquivel** y **Raúl Alberto Santos Valencia**, considerando que cubre los requisitos establecidos en el Reglamento de Titulación de los Institutos Tecnológicos le autorizamos la impresión de su trabajo profesional con la TESIS:

“ANÁLISIS PROSPECTIVO DE LA INDUSTRIA 4.0 EN EL PRONACES DE ENERGIA Y CAMBIO CLIMÁTICO.”

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®

"In Hoc Signo Vinces"

**JORGE ARTURO TELLO CETINA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



C.p. Archivo
JATC/AMPC/zac



DEDICATORIA

Con todo mi agradecimiento y amor a las personas que me sostuvieron, celebraron,
entendieron y apoyaron durante cada etapa de este proceso.

A mi madre Eugenia

A mis hijas Miranda y Natalia

Y a mi sobrina Sofía

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios, y el inmenso amor con el que me sostuvo a mí y a mi familia, que me ha dado la oportunidad de presenciar los más grandes milagros y que me dio sabiduría, resiliencia y determinación para culminar esta meta.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías CONAHCYT, por el apoyo durante los dos años de maestría.

Agradezco a mi director de tesis el Dr. Jorge Carlos Canto Esquivel, por todos sus conocimientos compartidos, su orientación y compromiso y la amena manera con la que trabajamos durante estos dos años.

A mi familia, a mis hermanos, a mi hermana Brillit por recordarme mi fortaleza y motivarme cada que lo necesité, a mi esposo por su ayuda al compartir conmigo de su experiencia, por su entendimiento y los buenos momentos, a mi hija Miranda, por su comprensión, su amor, sus porras, por disfrutar junto conmigo esta etapa y regalarme los momentos más dulces, a mi bebé Natalia, que aun no nace y me duplica la motivación para emprender la meta que sigue, a mi sobrina Sofía, quien estuvo siempre presente regalándonos risas y amor, a mi madre quien fue mi apoyo más grande durante estos dos años, y quien me enseñó a valorar y amar más.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes	1
1.2	Planteamiento del problema	8
1.3	Preguntas de investigación	11
1.3.1	Pregunta general.....	11
1.3.2	Preguntas específicas.....	11
1.4	Objetivos de la investigación.....	12
1.4.1	Objetivo general	12
1.4.2	Objetivos específicos.....	12
1.5	Justificación.....	12
1.6	Delimitación	14
2	MARCO TEÓRICO	16
2.1	Industria 4.0.....	16
2.1.1	Las revoluciones industriales.....	16
2.1.2	Pilares tecnológicos de la Industria 4.0	18
2.1.3	Aplicaciones de las tecnologías de la Industria 4.0	20
2.2	Cambio climático y CO2	22
2.2.1	Acuerdos internacionales sobre el cambio climático	27
2.2.2	Tecnologías de la Industria 4.0 para la disminución o mitigación de emisiones de CO ²	32

2.3	Modelo de innovación de la triple hélice.....	33
3	MARCO CONTEXTUAL.....	35
3.1	Cambio Climático. Situación actual en México	35
3.2	Programas Nacionales Estratégicos	35
3.2.1	PRONACES de Energía y Cambio Climático.....	37
4	METODOLOGÍA	45
4.1	Opciones metodológicas	45
4.1.1	Planeación prospectiva	45
4.1.2	Método Delphi.....	47
4.1.3	Método de Análisis Estructural	50
4.2	Tipo de investigación.....	51
4.2.1	Propósito de la investigación.....	51
4.2.2	Enfoque	52
4.2.3	Profundidad o Alcance	52
4.2.4	Amplitud.....	53
4.2.5	Horizonte temporal	53
4.2.6	Fuentes de información	53
4.2.7	Realidad para modificar	53
4.2.8	Sector de impacto	54
4.3	Elección metodológica	54
4.3.1	Grado de control de las variables.....	54

4.3.2	Etapas y cronología	54
4.4	Unidad de análisis.....	55
4.4.1	Definición de unidad de análisis y unidades de observación.....	55
4.4.2	Tamaño de la población	56
4.4.3	Procedimiento de muestreo de las unidades de análisis y unidades de observación.	56
4.4.4	Unidad de análisis. Listado.....	57
4.5	Definición conceptual de las variables	58
4.5	Técnicas e instrumentos de recolección de información	58
4.6	Panel de expertos y proceso del método Delphi.....	59
5	RESULTADOS	64
5.1	Selección y conformación del panel de expertos.....	64
5.2	Tecnologías de la Industria 4.0 para la disminución de CO2.....	71
5.3	Proceso iterativo de cuestionarios	72
5.4	Tecnologías que pueden contribuir con los objetivos del PRONACES.....	77
5.5	Análisis de las diferentes visiones del panel de expertos.....	84
5.6	Escenarios posible, probable y deseable	92
6	CONCLUSIONES	95
7	BIBLIOGRAFÍA.....	98

Índice de tablas

Tabla 2.1.....	31
Tabla 4.1.....	58
Tabla 4.2.....	63
Tabla 5.1.....	65
Tabla 5.2.....	71
Tabla 5.3.....	73
Tabla 5.4.....	76
Tabla 5.5.....	78
Tabla 5.6.....	79
Tabla 5.7.....	80
Tabla 5.8.....	80
Tabla 5.9.....	81
Tabla 5.10.....	81
Tabla 5.11.....	82
Tabla 5.12.....	82
Tabla 5.13.....	82
Tabla 5.14.....	83
Tabla 5.15.....	84
Tabla 5.16.....	85
Tabla 5.17.....	86
Tabla 5.18.....	87
Tabla 5.19.....	89

Tabla 5.20.....	90
-----------------	----

Índice de figuras

Figura 1.1	4
Figura 1.2	6
Figura 4.1	62
Figura 5.1	65
Figura 5.2	66
Figura 5.3	67
Figura 5.4	67
Figura 5.5	68
Figura 5.6	69
Figura 5.7	70
Figura 5.8	75

RESUMEN

El tema de Industria 4.0 es un concepto relativamente nuevo, el cual hace referencia a la cuarta revolución industrial y contempla avances tecnológicos basados principalmente en el gran almacenamiento de datos y el uso intensivo del internet. Se sustenta de nueve pilares tecnológicos, entre los que se encuentran el Internet de las Cosas y la Inteligencia Artificial, estas nueve tecnologías han sido adoptadas por diferentes países para dar solución a distintas problemáticas en diferentes sectores, una de las problemáticas que más nos aqueja como humanidad es el Cambio Climático que venimos experimentado. La Organización de las Naciones Unidas como parte de sus esfuerzos para combatir el Cambio Climático y otras problemáticas de carácter mundial crea la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible con 17 objetivos, México, por su parte crea los Programas Nacionales Estratégicos, una iniciativa del Gobierno mexicano conformada por 10 PRONACES que representan líneas de acción para combatir problemáticas que además son coincidentes con los objetivos de la agenda 2030. Entre estos se encuentra el PRONACES de Energía y Cambio Climático, el cual representa el tema de interés de la presente tesis. A través de una metodología prospectiva haciendo uso de la técnica Delphi, el objetivo principal de este trabajo investigativo es analizar las tecnologías de la Industria 4.0 para los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO² en la energía eléctrica para el año 2030, con base en la participación de expertos dentro del modelo de la triple hélice.

ABSTRACT

The topic of Industry 4.0 is a relatively new concept, which refers to the fourth industrial revolution and contemplates technological advances based mainly on large data storage and intensive use of the Internet. It is based on nine technological pillars, including the Internet of Things and Artificial Intelligence, these nine technologies have been adopted by different countries to solve different problems in different sectors, one of the problems that most afflicts us as humanity is the Climate Change that we have been experiencing. The United Nations, as part of its efforts to combat Climate Change and other global problems, creates the 2030 Agenda for Sustainable Development with 17 objectives, Mexico, for its part, creates the National Strategic Programs, an initiative of the Mexican Government made up of 10 PRONACES that represent lines of action to combat problems that also coincide with the objectives of the 2030 agenda. Among these is the PRONACES of Energy and Climate Change, which represents the topic of interest of this thesis. Through a prospective methodology using the Delphi technique, the main objective of this research work is to analyze the technologies of Industry 4.0 for the objectives of PRONACES for Energy and Climate Change regarding the reduction of CO² in electrical energy for the year 2030, based on the participation of experts within the triple helix model.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El primer paso para realizar una transformación es conocer dónde estamos para definir claramente a dónde queremos ir (Cardoso, Parra, Olivares, Martínez, 2020). El término Industria 4.0 tiene su origen en 2012 de un proyecto de estrategia en Alemania, y hace referencia a la cuarta revolución industrial. Para entender este concepto, es necesario contextualizarlo, haciendo una revisión de las primeras revoluciones industriales.

En 1760 se da inicio a la primera revolución industrial, en donde se caracterizó la producción mecánica a través del motor de vapor. Alrededor de 1870 llega la segunda revolución industrial, esta se representa por el uso de la electricidad y por la invención de la producción en masa. A inicios de la década de 1960 se inicia la tercera revolución industrial, donde los protagonistas fueron los servidores en 1970, la informática entre 1970 y 1980 y el internet en 1990. Se concluye así, que la primera revolución se caracterizó por el uso de vapor, la segunda por la electricidad y la tercera por la electrónica. Es a partir de esta tercera revolución industrial donde también empiezan a surgir nuevas carreras en los centros de educación superior, como son la informática y computación, para posteriormente ir desplegando carreras como TIC, mecatrónica, electricidad y electrónica. Posterior a estas revoluciones, llega la cuarta revolución industrial, la Industria 4.0. (Schwab,2016). Lo importante de esta cuarta revolución industrial es que no se trata de desarrollos, sino del encuentro de esos desarrollos. Y en ese sentido, representa un cambio de paradigma, en lugar de un paso más en la carrera tecnológica frenética. (Perasso, 2016).

Citando a Schwab (2016), la Industria 4.0 se basa en la revolución digital, caracterizándose por un internet más universal, y móvil, por sensores con más potencia y más pequeños, y por la Inteligencia Artificial y el aprendizaje de los robots. El alcance de esta cuarta revolución industrial es tan vasto como se quiera indagar. Industria 4.0 no solo son sistemas inteligentes conectados, contempla también avances en diferentes ámbitos como la secuencia genética, nanotecnología, energías renovables y computación cuántica. Se sostiene de pilares tecnológicos que contribuyen a su avance y desarrollo, estos pilares varían para muchos autores de la teoría. Para efectos de este trabajo se describe los siguientes nueve:

Robótica Colaborativa: Se prevé que en corto tiempo los robots sustituirán la mano de obra humana. Esto no quiere decir que ya no habrá empleos para personas, sin embargo, estos nuevos empleos contemplaran nuevas habilidades de las personas, como liderazgo, resiliencia y habilidades de Tics, ya que la robótica trabajara de manera flexible, cooperativa y autómata, sustituyendo las actividades laborales de los individuos.

Simulación: Permitirá analizar datos en tiempo real, trabajando y reproduciendo en conjunto el mundo físico y virtual.

Sistemas de Integración: Se basa en sistemas que monitorean y controlan procesos contribuyendo con la actividad humana.

Internet de las Cosas (IoT): De acuerdo con Sampietro (2020) IoT es un conjunto de sistemas de cómputo, máquinas mecánicas y digitales relacionadas con objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red de internet sin interacción con humano o computadora.

Manufactura Aditiva: Actualmente la manufactura aditiva consiste en la capacidad de fabricar piezas de plástico desde un molde virtual. En la Industria 4.0 la manufactura aditiva prevé aún más potencial. Según Cubo (2016) contribuirá en el avance y evolución del sector de salud, con la capacidad de crear tejidos humanos, a medida tales como huesos humanos o piel.

Big Data: Este pilar refiere a la agrupación de grandes volúmenes de datos, con el objetivo del análisis de información y contribuir en la toma de decisiones, así como en los procesos empresariales mediante algoritmos avanzados. (Sampietro, 2020).

Cloud Computing: Esta tecnología brinda la capacidad de acceder a archivos y programas a través de internet sin la necesidad de un almacenamiento físico. En el que no es necesario una gran infraestructura para guardar y acceder a grandes cantidades de información.

Realidad Aumentada: Consiste en generar una interfaz en la que se observe la realidad en un espacio preciso de utilización, a través de soporte digital, sensores, algoritmos y contenido digital. Una fusión del mundo real y el virtual para la generación de una realidad mixta en tiempo real.

Ciberseguridad: Ante la implementación de estas tecnologías, basadas principalmente en el internet, los sistemas se ven expuestos ante amenazas como: vulnerabilidad, virus, usuarios internos, ataques externos, contraseñas inseguras y fuga de datos. La ciberseguridad entonces es de gran relevancia para estas tecnologías, centrándose en la penetración de esta digitalización para la protección de los sistemas.

La Industria 4.0 revoluciona la organización de los procesos en las empresas, a través de la digitalización y automatización de sus procesos productivos y de gestión, convirtiéndolos en sistemas complejos e integrales de elementos interconectados e independientes (Sukhodolov, 2019). Ha sido un tema priorizado por muchos países, pues la adopción de sus tecnologías innovadoras beneficia la economía y el equilibrio estructural de una región. Estas tecnologías pueden ser direccionadas a diferentes sectores. Este trabajo pretende analizar las más adecuadas para uno de los programas nacionales establecidos en la república mexicana.

México ha implementado los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) para combatir problemáticas coincidentes con los planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su agenda 2030. Con el fin de devolver a la nación la soberanía en materias de seguridad, alimentación, salud, educación, protección de la vida, el ambiente y los ecosistemas, acceso al agua en calidad y cantidad, restauración de una vida rural digna y productiva, protección a los migrantes, preservación de la vida democrática en una sociedad compleja, entre otras (CONACYT, 2019)

Figura 1.1

PRONACES



Fuente: CONACYT (2019)

De acuerdo con el Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías (CONACYT, 2019) por su urgente importancia es necesaria la pronta participación de las instituciones de educación superior, los centros de investigación, los sectores públicos y las organizaciones privadas, a apoyar con responsabilidad las actividades de investigación humanística, social, científica o de desarrollo tecnológico necesarios para contribuir a los cambios en los diez PRONACES propuestos, los cuales son: salud, agua, educación, cultura, vivienda, energía y cambio climático, sistemas socio ecológicos, seguridad humana, agentes tóxicos y procesos contaminantes y soberanía alimentaria.

Este trabajo se centrará en el PRONACES de Energía y Cambio Climático, el cual, con información de CONACYT (2019) basa sus principales problemáticas en el impacto ambiental que ha generado la producción y consumo de energía fósil, así como la desigualdad en el consumo y acceso a los servicios de energía existentes en la sociedad.

El Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático a través del CONACYT ha identificado cuatro ejes de acción: 1) movilidad sustentable, 2) industria, comercio y viviendas verdes, 3) sistemas energéticos rurales sustentables, y 4) generación de energía distribuida.

Desde un enfoque integral, en el Programa Nacional Estratégico de Transición Energética (PRONACES-TE) han identificado líneas estratégicas para abarcar estos ejes de acción las cuales se describen a continuación y se pueden observar de manera detallada en el esquema de la figura 1.2

- Ahorro energético en el sector de transporte por medio de un transporte público electrificado de calidad

- Descarbonización gradual del uso y generación de la energía en el sector industrial mediante la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de «calor verde» (biomasa y energía termo solar, entre otras), así como una mayor eficiencia energética que derive en una reducción absoluta del consumo total de energía.

- Impulso de fuentes renovables (fotovoltaica, termo solar, biomasa) para propósitos térmicos y eléctricos en los sectores residencial y comercial, así como eficiencia energética mediante el uso de equipos aptos para tal propósito, normas de aislamiento y ventilación en las edificaciones.

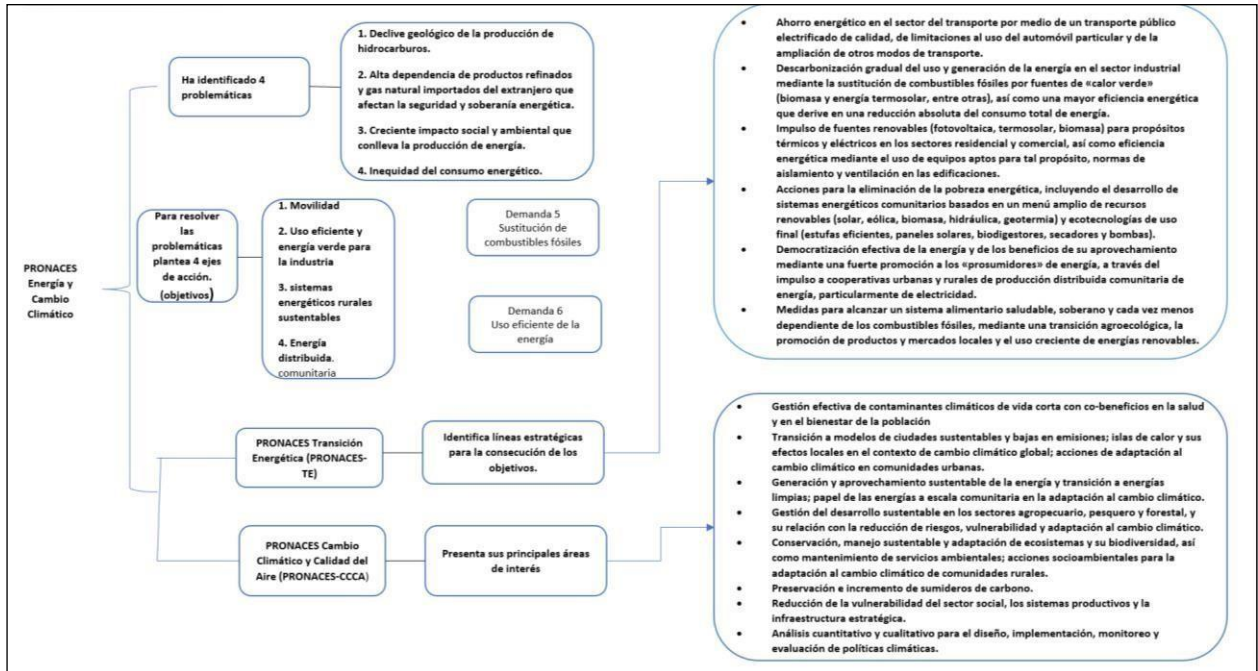
- Acciones para la eliminación de la pobreza energética, incluyendo el desarrollo de sistemas energéticos comunitarios basados en un menú amplio de recursos renovables (solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotermia) y ecotecnologías de uso final (estufas eficientes, paneles solares, biodigestores, secadores y bombas).

- Democratización efectiva de la energía y de los beneficios de su aprovechamiento mediante una fuerte promoción a los «prosumidores» de energía, a través del impulso a cooperativas urbanas y rurales de producción distribuida comunitaria de energía, particularmente de electricidad.

- Medidas para alcanzar un sistema alimentario saludable, soberano y cada vez menos dependiente de los combustibles fósiles, mediante una transición agroecológica, la promoción de productos y mercados locales y el uso creciente de energías renovables.

Figura 1.2

Esquema PRONACES de Energía Y Cambio Climático



Fuente: Elaboración propia con datos del CONACYT

Para contribuir al progreso de estos objetivos, la innovación juega un papel importante, pues citando a Chen y Dalhman, (2004), esta, (la innovación) es necesaria para el desarrollo y creación del uso de conocimiento, siendo una herramienta fundamental para ventajas competitivas.

Desde finales de la década de los ochenta, el tema de innovación ha sido participe en temas donde solo se contemplaba investigación y desarrollo en materia de ciencia y tecnología, y a partir de ahí se ha hablado de distintos modelos de innovación. Como parte de la evolución de estos modelos, se hizo presente el modelo de innovación de la Triple Hélice, el cual tiene su enfoque en la relación existente entre Universidad-Industria-Gobierno (Gonzales, 2009)

De acuerdo con Chang (2010) el objetivo del modelo de la Triple Hélice es identificar los mecanismos específicos y las relaciones institucionales con el fin de

transformar las condiciones para el continuo desarrollo de tecnología y crecimiento económico.

El eje universidad hace referencia a las actividades de los Institutos de Educación Superior y su contribución a la innovación empresarial, a través del conocimiento con los que egresan sus graduados.

Por su parte el eje industria, por sus frecuentes cambios, se ve en la necesidad de generar nuevos conocimientos. Este mecanismo se logra a través de la vinculación con las universidades con el objetivo del desarrollo de nuevas tecnologías, y por medio de incubadoras y transferencias tecnológicas (Chang, 2010).

En el modelo de la Triple Hélice (Gobierno-Empresa-Universidad) el Gobierno es un principal factor, siendo este, el que, de manera directa a través de legislación, instrumentos, e incentivos fiscales fomenta el dinamismo de la relación universidad-empresa (Chang, 2010). Con un rol benefactor, el Gobierno apoya la innovación también de manera indirecta, financiando centros de investigación.

1.2 Planteamiento del problema

A mediados del siglo XX se dio lugar al tema de crisis ambiental, que muestra la gravedad de los cambios en el planeta y como estos afectan la vida de todo ser vivo.

De acuerdo con CONACYT (2020) es en estos últimos 10 años donde ha habido una mayor concentración de CO². Esto, ha ocasionado cambios en la temperatura y fenómenos meteorológicos extremos, que han traído consigo no solo deterioros ambientales si no también problemas de economía y sociedad. Son las emisiones de CO² procedentes de

la quema de combustibles fósiles en la producción y consumo de energía eléctrica, la principal actividad de interferencia humana que más gases de efecto invernadero emite.

Ante las diferentes preocupaciones económicas sociales y ambientales, la Asamblea General de la Naciones Unidas establece una visión transformadora hacia la sostenibilidad de estos tres ejes. En 2015 se aprueba La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, basado en el compromiso de los países desarrollados y en desarrollo, para cambiar el estilo en el que se desenvuelven, mediante 17 objetivos con 169 metas que abarcan los ejes económico, ambiental y social. La Agenda 2030 es un plan de acción a favor de las personas, el planeta y la prosperidad, que también tiene la intención de fortalecer la paz universal y el acceso a la justicia. (ONU, 2015)

Los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados en la Agenda 2030 son: 1) fin de la pobreza, 2) hambre cero, 3) salud y bienestar, 4) educación y calidad, 5) igualdad de género, 6) agua limpia y saneamiento, 7) energía asequible y no contaminante 8) trabajo decente y crecimiento económico, 9) industria, innovación e infraestructura, 10) reducción de las desigualdades 11) ciudades y comunidades sostenibles, 12) producción y consumo responsable, 13) acción por el clima, 14) vida submarina, 15) vida de ecosistemas terrestres, 16) paz justicia e instituciones sólidas 17) alianzas para lograr los objetivos.

México, está comprometido con transformar sus modelos de investigación académica y convocar a todos los sectores involucrados a participar en un cambio fructífero, para ello, ha establecido los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) como iniciativa para organizar esfuerzos de investigación en torno a problemas nacionales concretos que, por su importancia estratégica y gravedad, requieren de una atención decidida y una solución integral, profunda y amplia, que además, coinciden con los

Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su agenda 2030. (CONACYT,2019)

Los 10 PRONACES que México ha establecido son: 1) salud, 2) agua, 3) educación, 4) cultura, 5) vivienda, 6) energía y cambio climático, 7) sistemas socioecológicos, 8) seguridad humana, 9) agentes tóxicos y procesos no contaminantes 10) soberanía alimentaria.

El PRONACES de Energía y Cambio Climático, tiene en su estructura el Programa Nacional Estratégico de Transición Energética (PRONACES-TE) y el Programa Nacional Estratégico de Cambio Climático y Calidad del Aire (PRONACES-CCCA) y ha identificado cuatro ejes de acción: 1) movilidad sustentable, 2) industria, comercio y viviendas verdes, 3) sistemas energéticos rurales sustentables 4) generación de energía distribuida.

De acuerdo con CONACYT (2020) El Programa Nacional Estratégico de Transición Energética, declara el Predicamento Energético Ambiental, Económico y Social que pretende abordar el PRONACES, en donde manifiesta que México enfrenta los siguientes problemas en materia de energía

1) Declive de los combustibles fósiles y alta dependencia de productos refinados y gas natural importados del extranjero que afecta la seguridad energética.

2) Impacto ambiental creciente que conlleva la producción y consumo de energía: uso y contaminación de agua, contaminación de suelos y aire, cambio climático.

3) Inequidad energética: más de 40 millones de familias de México, particularmente en localidades rurales, vive en pobreza energética. El decil más rico consume 7 veces más energía que el más pobre.

Los Programas Nacionales Estratégicos hace un llamado a contribuir a reducir la inequidad y asegurar el acceso universal a servicios energéticos dignos en zonas rurales y periurbanas, así como a lograr una mayor soberanía, seguridad e independencia energéticas en el país, reducir la pobreza y mitigar el cambio climático. Para ello, es necesaria la participación de las Instituciones de Educación Superior, las instituciones públicas y organizaciones privadas. También se enfatiza la necesidad de analizar y elaborar soluciones diferenciadas a nivel regional y local con las poblaciones interesadas.

(CONACYT,2019,2020)

1.3 Preguntas de investigación

1.3.1 Pregunta general

¿Cuáles son las tecnologías de la Industria 4.0 que identifican los agentes del modelo de la triple hélice para alcanzar los objetivos referentes a la reducción de emisiones de CO² en el PRONACES de Energía y Cambio Climático en los próximos 15 años en el Estado de Yucatán?

1.3.2 Preguntas específicas

1. ¿Cuáles son las tecnologías de la Industria 4.0 que pueden contribuir a la disminución de CO² en el sector eléctrico?

2. ¿En qué área del sector eléctrico es en el que se pueden implementar estas tecnologías?

3 ¿Qué porcentaje tendrá implementada las tecnologías de la Industria 4.0?

4 ¿En cuánto tiempo se verán implementadas estas tecnologías?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Analizar la prospectiva tecnológica de Industria 4.0 para los objetivos del Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático en el sistema eléctrico para la disminución de CO² en los próximos 15 años, con base en los participantes del modelo de la triple hélice.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar un directorio de los actores principales del modelo de la triple hélice
2. Identificar cuáles son las tecnologías que pueden contribuir con los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de emisiones de CO²
3. Analizar las diferentes visiones de los expertos para las tecnologías de la Industria 4.0
4. Describir los escenarios estratégicos posibles probable y deseable

1.5 Justificación

En México, la iniciativa de los PRONACES se presenta como un llamado a las Instituciones de Educación Superior, y las organizaciones de los sectores públicos y privados en ámbito federal, estatal o municipal a ser partícipes de actividades de investigación humanística, social, científica o de desarrollo tecnológico para el avance de

objetivos específicos, creados por preocupaciones económicas, sociales y ambientales.

(CONACYT,2019)

Los problemas en materia de energía que México presenta radican en problemas ambientales, como cambio climático y contaminación de agua y suelo, en la inequidad energética que se vive sobre todo en comunidades marginadas y en las escasas alternativas de energías amigables con el medio ambiente en aplicaciones de transporte, industria, comercio y hogares.

El uso irracional de combustibles fósiles que únicamente se ha visto en declive por el transcurso de la pandemia por SARS-COVID-19 (Anuario Estadístico Mundial de Energía, 2021) que actualmente se vive, trae consigo otras problemáticas, pues, este declive se ha dado principalmente por el acelerado crecimiento de megaproyectos basados en la generación de energías limpias, los cuales, la mayoría provienen de empresas extranjeras. Aunque el sector de los combustibles fósiles es uno de los sectores más contaminantes del mundo, esto pone en peligro la economía del país, y abre la visión a que se ha tenido un gran enfoque a contribuir en beneficio del medio ambiente mediante un drástico cambio de generación de energías eléctricas a energías renovables, y se han dejado de lado otras maneras de contribuir a un desarrollo sostenible.

Con base en CONACYT (2020) Existe la necesidad de articular propuestas y políticas en materia de calor industrial y transporte, a la par, existe muy poca investigación y desarrollo en temas de energías bajas en emisiones de carbono para comunidades marginadas.

Los beneficios de esta investigación se basan primeramente en contribuir al análisis para el desarrollo de los objetivos del PRONACE de Energía y Cambio Climático enfocados a contribuir a la mitigación de las emisiones de CO² ocasionado por la generación de energía mediante la investigación tecnológica de Industria 4.0.

La participación que se visualizara en este trabajo de los actores del modelo de la triple hélice (la universidad, empresa y gobierno) beneficia la transferencia de conocimiento de estos y al fomento de esta participación que es pieza clave para lograr un desarrollo sostenible.

1.6 Delimitación

El presente proyecto tendrá lugar de investigación en el Estado de Yucatán, contemplando la procedencia de los expertos de:

Instituciones de Educación Superior que impartan carreras en materia de energía.

- Universidad Autónoma de Yucatán: Ingeniería en Energías Renovables, Maestría y Doctorado en Energías Renovables.

- Centro de Investigación Científica de Yucatán: Maestría y Doctorado en Energías Renovables.

- Instituto Tecnológico de Mérida: Ingeniería Eléctrica.

Empresas generadoras de energía.

- Comisión Federal de Electricidad: Central Mérida II. Fuente de generación: Termoeléctrica Turbo Gas.

- AES México: Central Mérida III. Fuente de generación: Ciclo combinado.

- Vive Energía: Parque Eólico Península. Fuente de generación: Energía eólica.

Instituciones de Gobierno vinculadas al tema energético.

- Secretaría de Energía (SENER)
- Comisión Reguladora de Energía (CRE)
- Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Industria 4.0

La Industria 4.0 o industria inteligente es un concepto relativamente nuevo, que se puede definir como la introducción del intensivo uso del internet y tecnologías innovadoras digitales. Su origen se genera en Alemania y es un término que ha sido adoptado mundialmente como un referente conceptual a la cuarta revolución industrial. Esta etapa es caracterizada por el aumento en los volúmenes de datos, la potencia en los sistemas computacionales y la conectividad (Severino et al, 2019). Citando a Klaus Schwab autor de la obra “La cuarta revolución industrial” y fundador del foro económico mundial, mediante la fabricación de fábricas inteligentes la Industria 4.0 permite la personalización total de productos y la creación de nuevos modelos de operación. El alcance de esta cuarta revolución industrial es tan amplio que contempla ámbitos de secuencia genética, nanotecnología, energías renovables y computación cuántica (Schwab, 2016).

Se entiende entonces que la cuarta revolución industrial, es una era de la digitalización, donde las tecnologías más innovadoras se fusionan para dar como resultado avances tecnológicos para la mejora de diferentes sectores y ámbitos interactuando con modelos matemáticos, sistemas ciber físicos y biológicos.

2.1.1 Las revoluciones industriales

De acuerdo con Villas (2012) se denomina al término revolución a las transformaciones que presentan tres esenciales características: Producirse en un tiempo comparativamente corto; Transformar las estructuras: económica, política, social o cultural; e implicar un punto de no retorno a la situación anterior. La evolución de la industria

contempla cuatro revoluciones industriales en donde en cada una de estas se experimentaron cambios en el proceso de producción que como consecuencia genera nuevos métodos económicos y sociales en la civilización.

La primera revolución industrial inicia en 1760 reconocida por la introducción de equipos mecánicos provocados por máquinas de vapor. Estas máquinas eran conceptualizadas como la capacidad del vapor de agua para producir trabajo, sustituyendo la mano de obra y trayendo como consecuencia crecimiento al capital que no se había visualizado antes (Villas 2012)

En 1873 llega la segunda revolución industrial caracterizada por el uso de la electricidad. Durante la etapa de esta revolución se da la invención al teléfono y el desarrollo del automóvil, en 1908 se de inicio a la producción en serie de automóviles por parte de Henry Ford. Gracias a la energía eléctrica se permitió la extensión de las jornadas de trabajo y la división de tareas que impulsaron el desarrollo de la industria (Grudemi 2020).

La tercera revolución industrial inicia a principios de 1960. Esta fase contempla la introducción de la electrónica y se relaciona con el uso de ordenadores y el desarrollo de sistemas informáticos e internet. Esto permitió la interconectividad entre dispositivos y la producción automatizada. (Peralta, Martínez, Enríquez, 2020)

Como se ha mencionado, la llamada cuarta revolución industrial se originó en Alemania en el año 2012, como referencia a una estrategia de alta tecnología que se centra en la interconectividad, la automatización, el aprendizaje automático y los datos en tiempo real. De acuerdo con la UNAM (2018) la Industria 4.0 se marca por el uso de algoritmos de

Inteligencia Artificial, la posibilidad de procesar y almacenar grandes cantidades de datos de acceso universal, de transmitir ideas digitales a la realidad y de la conexión hacia el Internet de las Cosas.

2.1.2 Pilares tecnológicos de la Industria 4.0

La Industria 4.0 se sustenta de pilares tecnológicos, que pueden contribuir al desarrollo óptimo de los servicios, productos y procesos. Aquí se presentan el concepto de las nueve principales tecnologías habilitadoras de la cuarta revolución industrial.

Robótica Colaborativa: según Schwab (2016) se basa en el progreso de la robótica que pronto hará que la colaboración entre humanos y máquinas sea una realidad cotidiana, en donde los robots puedan tener acceso a la información de manera remota y conectarse a una red de otros robots, reflejando también una colaboración creciente entre hombre-máquina.

Simulación: se conceptualiza como una representación virtual para el diseño de nuevos productos o para configuraciones en operaciones. La simulación permitirá ajustar y representar de manera virtual el funcionamiento conjunto de máquinas, procesos y personas en tiempo real antes de ser puesto en marcha, lo que hará en un entorno controlado prevenir fallas, ahorrar tiempo y evaluar el resultado final (Severino et al, 2019).

Sistemas de Integración: esta tecnología se basa en la integración vertical y la integración horizontal; don la primera, hace referencia a la integración de funciones y departamentos de una organización a través de un flujo contante de información y datos, la integración vertical; refiere a la creación de una red integrando y optimizando el flujo de información y datos entre las partes interesadas externas de la organización.

Internet de las Cosas: de acuerdo con Sampietro (2020) es un sistema de dispositivos de computación relacionados, máquinas mecánicas y digitales, objetos, animales o personas que tienen identificadores únicos y la capacidad de transferir datos a través de una red, sin requerir de interacciones humano a humano o humano a computadora.

Manufactura Aditiva: es también conocida como la impresión 3D que permite fabricar piezas de distintos materiales, tomando un modelo virtual como diseño previo y sin hacer uso de moldes (Severino et al, 2019).

Big Data: de acuerdo con Severino (et al, 2019) citando a OECD (2016) el Big Data se refiere a datos de gran volumen y variedad, estructurados y no estructurados con máxima velocidad para generarse, acceder, procesar y analizar.

Cloud Computing: esta tecnología brinda la oportunidad de acceder a información procesada en tiempo real y desde cualquier sitio (Sampietro, 2020) basándose en la utilización de servicios de software y almacenamiento sin necesidad de acceder a infraestructura.

Realidad Aumentada: esta tecnología innovadora utiliza en entorno físico para compartir datos e información en tiempo real. Ofreciendo recursos visuales para facilitar la toma de decisiones, complementando el entorno real con elementos digitales (Sampietro, 2020).

Ciberseguridad: se presenta como una herramienta para proteger y lograr que todas las tecnologías de la Industria 4.0 logren una adecuada función, contemplando que en la medida en que sean más los dispositivos, máquinas y personas conectadas, se valorará la

oferta de herramientas preventivas que permitan detectar, anticipar neutralizar amenazas sobre los sistemas de información en esta nueva era de la digitalización (Severino et al, 2019).

2.1.3 Aplicaciones de las tecnologías de la Industria 4.0

Una de las principales aplicaciones donde se puede observar la Robótica Colaborativa es en la industria automotriz. Como según Pineda (2020) es el caso de Continental Automotive Nogales, que un principio implemento robots colaborativos que reemplazaban procesos como atornillado y ensamble y hoy por hoy se encuentran en busca del desarrollo de robots operadores que se puedan comunicar con una o más estaciones y pueda dar indicaciones.

La aplicación de la simulación actualmente está siendo aplicada en ámbitos de producción industrial, logística, transporte, servicios, entre otros, caracterizándose por modelar sistemas. En la ingeniería industrial su utilización permite simular un sistema real, realizar un análisis de eficiencia, generar una simulación de solución óptima para por último implementarlo (Álvarez, 2019).

Un ejemplo de aplicación de sistema de integración es la transferencia automatizada de unidades de trabajo de la empresa Bimbo, la cual de acuerdo con el Tecnológico de Monterrey (2021) tiene sus plantas integradas de manera horizontal provocando así que toda la información se distribuya por toda la cadena de valor, trazando rutas que generen más ganancias a la empresa. Con la automatizada integración vertical se pueden unir las unidades de producción, aumentando la productividad, además de hacer más eficiente el uso de los recursos.

Se considera al Internet de las Cosas como la base de la Industria 4.0, sus aplicaciones, al igual que el resto de las tecnologías innovadoras, tienen gran alcance. Citando a Ynzunza, Izar, Bocarando, Aguilar Y Larios (2017). Algunas de las aplicaciones de IoT son las máquinas, productos, ciudades y servicios inteligentes, que se basan en el apoyo del internet, redes inalámbricas, y de telecomunicaciones. En el alcance de la aplicación para fabricas inteligentes los dispositivos contarán con capacidades de decisión, estarán conectados a sistemas de manufactura y gestión y podrán ser operados por individuos o mediante inteligencia artificial.

En la Manufactura Aditiva es la impresión de un objeto físico en material de resina, metal, plástico, entre otros. Una de sus grandes aplicaciones es en el sector aeroespacial donde se utiliza para crear estructuras ligeras. El área médica es otro sector importante de aplicación, un ejemplo de ello es la impresora 3D Digital Anatomy que tiene la capacidad de crear modelos suaves para simular vías respiratorias, hígados y corazones (Castro, 2020).

Como ya se vio en el anterior apartado, Big Data consiste en la obtención, clasificación, gestión y análisis de grandes volúmenes de datos y al igual que muchas de las tecnologías ya definidas, su aplicación puede ser en todo tipo de sector. Sus aplicaciones se centran en los siguientes enfoques: identificar y clasificar datos, descubrir interacciones entre los datos, predecir probabilidades, descubrir demandas ocultas y sintetizar información (Santander Universidades, 2020).

El uso de la realidad aumentada en la industria actual está presente en gran parte de aplicaciones, en las cuales la intervención física en si no es necesaria, pero la adquisición y el manejo de la información que se necesita tiene que ser en tiempo real, al igual que la

seguridad, tal como menciona Yaguez (2011). Ejemplo de ello es el uso de sistemas “wearables” que ayuda al soporte de tareas específicas de un modo no invasivo dando como resultado la realización de tareas más rápidas, precisas y seguras.

De acuerdo con Gustavo Parés, director general de NDS *Cognitive Labs*, la implementación de Cloud Computing en las empresas de América va por buen camino, arrojando datos de valor de 180.000 millones de dólares en la región. Parés, también señala los alcances de la tecnología Cloud Computing: 1) reducción de costos, 2) respaldo y confianza, 3) escalabilidad 4) tecnología siempre actualizada.

La implementación de sistemas tecnológicos cada vez más avanzados y a su vez más inteligentes, significa que los negocios no solo deben ser capaces de identificar las herramientas que mejor satisfacen sus necesidades para invertir, sino comprender las oportunidades y los cambios que traen consigo a la industria. Entender la importancia que trae a la infraestructura social el conectar sistemas, empresas y máquinas, recoger grandes cantidades de datos, etc. Todo esto trae consigo la responsabilidad de otorgar la seguridad adecuada para este tipo de sistemas, donde el concepto de Ciberseguridad entra en juego, tal y como menciona Alejandro Sánchez (2019). Como se aprecia, las tecnologías de la Industria 4.0 son aplicativas a cualquier tipo de sector, es por ello, que muchos países, apuestan por la investigación y aplicación tecnológica para la resolución de sus problemáticas económicas, sociales y ambientales.

2.2 Cambio climático y CO²

Una de las problemáticas a la que enfrenta la humanidad y a la que se le está prestando más atención, es al calentamiento global; ocasionado por la actividad humana y la pervivencia del CO² en la atmósfera, y que por su gravedad representa una emergencia

planetaria. El cambio climático es la variación global del clima de la tierra, debido a causas naturales ya la acción humana. Estas variaciones se perciben a diversas escalas de tiempo y a parámetros climáticos: como son temperatura, precipitaciones, nubosidad etc. (Gobierno de España, 2015). Los efectos del cambio climático propician el calentamiento atmosférico de la tierra, aumento de fenómenos extremos; como sequías, inundaciones e incendios, y variaciones en la temperatura. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático como el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmosfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables.

La Comisión Europea establece que las consecuencias del Cambio Climático afectan a todas las regiones del mundo y que estas se basan en el derretimiento del hielo polar y el aumento del nivel del mar, en algunas regiones se ven afectadas por fenómenos meteorológicos extremos y cambiantes, mientras que otras regiones registran olas de calor y sequias también extremas. Estas consecuencias propician un riesgo para la salud humana, y los daños a la infraestructura que refieren costos a la sociedad que afectan la economía, además de los daños a las especies naturales que el cambio climático ocasiona.

El cambio climático ocurre por la acción de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El efecto invernadero es un fenómeno natural por el que algunos gases retienen parte de la energía solar reflejada, absorbiéndola, transformándola molecularmente y produciendo un aumento de la temperatura (Valdivielso, 2020). La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático reconoce seis gases de efecto invernadero: bióxido de

carbono (CO²), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆).

De acuerdo con la ONU (2015) en 1992 se dio lugar a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) como primer paso para afrontar este enorme problema. En 1997, 83 países firmaron y 46 ratificaron el Protocolo de Kyoto, este protocolo obliga jurídicamente a los países desarrollados que son parte para cumplir unas metas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. El Acuerdo de París en 2015, agrupa a todas las naciones del mundo, bajo una causa común, realizar esfuerzos para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos, el principal objetivo del acuerdo de París es mantener el aumento de la temperatura mundial en este siglo por debajo de los 2 °C con respecto a los niveles preindustriales y proseguir con los esfuerzos para limitar aún más el aumento de la temperatura a 1.5 °C. En 2019 se llevó a cabo la cumbre sobre la acción climática, un importante evento que reunió a líderes mundiales, del sector privado y la sociedad civil con la finalidad de respaldar, incrementar y acelerar el proceso multilateral en la acción climática, la cumbre se centró en las áreas donde el trabajo y la cooperación internacional, para poner freno al cambio climático donde puede ser más efectiva; la industria pesada, soluciones ecológicas, ciudades, energía, resiliencia e inversiones para el cambio climático.

La tierra recibe radiación solar, desprende calor y parte de ese calor se queda atrapado como consecuencias de los GEI presentes en la atmosfera. Uno de los principales gases con efecto invernadero es el dióxido de carbono (CO²). Cuando el carbón se mezcla con oxígeno se convierte en dióxido de carbono (CO²), su ciclo ha funcionado desde hace miles de años dentro de un equilibrio natural; los seres humanos lo exhalamos al respirar, es

útil para las plantas para su proceso de fotosíntesis y también proviene de otras fuentes naturales como la descomposición orgánica, los incendios forestales y las erupciones volcánicas. El problema está en que a estas fuentes naturales de dióxido de carbono se les ha añadido las de actividad humana. La quema de combustibles fósiles, para el desarrollo de la economía ha generado un desequilibrio extremo en las emisiones de CO² (Aunión y Planelles, 2019).

Las emisiones de CO² y la actividad humana empiezan a relacionarse en el año 1750 gracias a la abundancia de carbón y la era de la mecanización, en 1781 con la llegada de la máquina de vapor, y la primera revolución industrial, empiezan a necesitarse cantidades crecientes de vapor y las emisiones de dióxido de carbono empiezan a crecer. Para el año 1824 se descubre el efecto invernadero, Joseph Fourier, y John Tyndall y Svante Arrhenius determinan con bases científicas que, las emisiones de gases invernadero provenientes de la quema de combustibles fósiles y deforestación resultará en el calentamiento de Tierra; actualmente, el dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero con más relevancia. En 1850 se da inicio al uso del petróleo como combustible y materia prima para procesos industriales; actualmente, El petróleo es responsable de 1/3 de las emisiones globales a finales de siglo. Para 1880 se construye la primera botella de gas de alta presión que resultó en la explotación industrial del gas natural; en el presente, el gas natural es responsable de 1/3 de las emisiones globales a finales de siglo. En 1908 con el modelo T Ford, se inicia la producción en serie de manufactura de coches; hoy en día, un siglo más tarde, más de cien millones de personas son propietarios de coches; el transporte de carretera genera el 17% de las emisiones globales de dióxido de carbono. Para el año 1950 se identifica una explosión en el número de gente que viaja en avión; actualmente, la

aviación es responsable del 3% de las emisiones globales de dióxido de carbono y sigue en aumento. En 1970 se registra un desplome en las emisiones de gases de efecto invernadero del sector transporte, en ese mismo año se observa un aumento de uso de energía en trabajo y hogares, el crecimiento rápido del uso de energía contribuye a grandes emisiones de dióxido de carbono. En 1990 se da el Primer Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) que manifestó que las emisiones de las actividades humanas estaban aumentadas substancialmente las concentraciones atmosféricas de gases de invernadero. A partir de año 2000 se habla de la urbanización y la energía; más de la mitad de la población mundial vive en áreas urbanas responsables del 70% del consumo global de energía primaria. 2800 millones de personas nuevas llegarán a los núcleos urbanos por el 2050, con un consumo alto de energía (GLOBAL CARBON ATLAS, 2018).

De acuerdo con datos del GLOBAL CARBON ATLAS, la comunidad científica ha colaborado para explorar diferentes futuros para la sociedad con respecto al cambio climático: en un escenario donde la temperatura aumenta entre 0.9°C y 2.3°C (1.6°F - 4.1°F): para este escenario científicos pronosticaron que en el 2020 las emisiones de carbono alcanzan el máximo a partir de donde empiezan a disminuir rápidamente, con reducciones del 50% para el 2050, con esto la sociedad consigue descarbonizarse a finales de este siglo, con la posibilidad de que se necesitan tecnologías que remueven dióxido de carbono de la atmosfera.

En un escenario donde la temperatura aumenta 1.7°C y 3.2°C (3.1°F – 5.8°F): las naciones han evolucionado rápidamente con una economía verde y han perdido su

dependencia en los combustibles fósiles. La temperatura global sobrepasará los 2C con consecuencias grandes para los ambientes naturales y humanos.

Para el escenario donde la temperatura aumenta entre 2.0°C y 3.7°C (3.6°F – 6.7°F) las sociedades adoptan varias estrategias para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Gracias al desarrollo de políticas del clima, las emisiones de dióxido de carbono empiezan a disminuir después del 2100. La mitigación es demasiado lenta para prevenir cambios grandes en los ambientes naturales y humanos alrededor del mundo.

En el escenario más catastrófico donde la temperatura aumenta entre 3.2°C y 5.4°C (5.9°F – 9.7°F) no hay mitigación, y las sociedades continúan como antes. Se vive en un mundo energéticamente muy intenso basado en combustibles fósiles que cada día son más caros. La seguridad energética de las naciones tiene grandes retos. La cobertura de bosques tropicales es muy reducida debido a su conversión a cultivos. A finales de este siglo, la temperatura global es casi 5°C por encima de los niveles preindustriales, los patrones climáticos se han intensificado, y el mundo es un lugar muy diferente al de antes. Hay grandes cambios en los ambientes naturales y humanos. El coste de la adaptación al cambio climático excede el coste de mitigación al Cambio Climático.

2.2.1 Acuerdos internacionales sobre el Cambio Climático

Siendo el Cambio Climático una problemática de carácter global se han ido introduciendo elementos internacionales en torno a las negociaciones sobre el cambio climático. De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (OMM) fue en 1979 cuando por primera vez se consideró el cambio climático como una amenaza real para el planeta, dando lugar a la Primera Conferencia Mundial sobre el Clima celebrada en Ginebra por la OMM donde se tratan temas referentes al calentamiento global y las consecuencias

de este en la humanidad. Esta conferencia se concluye con un llamado a los gobiernos el mundo anticiparse a los efectos negativos del cambio climático que la presencia y la actividad humana pudieran ocasionar. Con la misma intención se crea, regido por la Organización Meteorológica Mundial, el Programa Mundial sobre el Clima (PMC) el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y el Consejo Internacional para la Ciencia (ICSU).

En 1988 la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crearon el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) con el objetivo de que expertos en materia de cambio climático presenten estrategias realistas que se puedan estimar de acuerdo con la evolución de la magnitud y cronología de los cambios climáticos. Es así, como el IPCC publica su Primer Informe de Evaluación en 1990.

Para el año 1992 se realiza la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD) también conocida como la Cumbre de la Tierra de la cual emanó la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, la cual contó con 150 países participantes. Para dar pie a que en 1994 entre en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en 1995 se publica el segundo informe del IPCC.

En el año 1997 basándose en los principios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático los países industrializados por primera vez adquirieron compromisos concretos y un calendario de actuación contra el cambio climático y es así como se adopta el protocolo de Kioto, el cual entra en vigor en 2005, donde estos países desarrollados adoptan el compromiso de reducir las emisiones de gases

de efecto invernadero en un 5,2% antes de 2012 respecto a los niveles de 1990, mientras que los países menos desarrollados se comprometían en llevar un inventario de todas sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

Para el año 2000 se crean los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) de la ONU donde los 189 países miembros acordaron 8 propósitos para reducir la pobreza y mejorar la vida de las personas de pocos recursos para el 2015. Seguido de este evento en 2001 se publica el tercer informe del IPCC.

En 2006 se adopta el Programa de Trabajo de Nairobi donde su objetivo es ayudar a los países menos desarrollados de la CMNUCC a mejorar su comprensión y evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático, y adoptar decisiones informadas. En 2007 se publica el cuarto informe del IPCC.

En el año 2010 se adoptan los Acuerdos de Cancún donde las partes acordaron apoyar a los países en desarrollo a enfrentar el cambio climático. Dos años después, en 2012 entra en vigor en México la Ley General de Cambio Climático, a la par, se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). En 2015, tras el quinto informe de IPCC en 2014, se crea la agenda 2030 de la ONU con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, en busca de que, con estos 17 objetivos, en los próximos 15 años, los países intensificarán sus esfuerzos para poner fin a la pobreza, reducir la desigualdad y luchar contra el cambio climático. La agenda 2030 entra en vigor en 2016.

El 12 de diciembre de 2015 se aprobó el acuerdo de París sobre cambio climático en donde las naciones asumen compromisos para mantener la temperatura global por debajo de los 2°C dejando como ampliando este objetivo a los 1.5°C. De la misma manera este

acuerdo obliga a los países que se encuentran en él a presentar contribuciones actualizadas de cambio climático con el fin de ir progresivamente avanzando hasta lograr el objetivo meta. El acuerdo de París entra en vigor en el año 2016, mismo año en el que México ratifica este mismo.

Con motivo de lograr la libre participación y acceso a la información pública en materia ambiental en América Latina y el Caribe se crea el Acuerdo de Escazú el cual se celebra el 4 de marzo de 2018. Este es un documento que se vincula la Declaración sobre la Aplicación del Principio 10 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible de 2012 que distingue que el mejor modo de abordar los temas climáticos es con la participación de todas las personas. El acuerdo de Escazú promueve la transparencia, la rendición de cuentas y la gobernanza ambiental en el quehacer público (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2021).

El funcionamiento del acuerdo de París contempla un lapso de cinco años donde las medidas que debiesen ser ejecutadas por los países se vuelven cada vez más ambiciosas. En el año 2020 se presentan las contribuciones determinadas a nivel nacional (NDC), planes de acción climática a largo plazo centradas en bajas emisiones de gases de efecto invernadero a cargo de los países (ONU, 2021).

Los informes del IPCC se publican en ciclos de seis o siete años tras un arduo trabajo científico. El quinto informe como se menciona anteriormente fue publicado en 2014. Tras este trabajo científico, el IPCC publica informes especiales que se detallan con una breve explicación en la tabla 2.1

Tabla 2.1
Informes del IPCC

Fecha	Nombre	Descripción
Octubre 2018	Calentamiento global de 1.5°C	Impacto del calentamiento global de 1.5°C. Enfatizando las trayectorias que debían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero.
Agosto 2019	El cambio climático y la tierra	Sobre el cambio climático, la desertificación, la degradación de las tierras, la gestión sostenible de las tierras, la seguridad alimentaria y los flujos de gases de efecto invernadero en los ecosistemas terrestres.
Septiembre 2019	El océano y la criosfera en un clima cambiante	Destaca la importancia de la educación para mejorar la cultura general sobre el cambio climático, los océanos y la criosfera.
Mayo 2019	Perfeccionamiento de 2019 de las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006	Actualización de la metodología utilizada por los gobiernos para estimar sus emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.

Fuente elaboración propia con base a informes del IPCC

Inicialmente el IPCC contemplaba la fecha de 2021 para la publicación del su sexto informe, sin embargo, debido a la pandemia por COVID-19 se retrasó unos meses, para ser publicado el 28 de febrero de 2022 en el que se manifiesta que este es el momento de justo de actuar y llegar al 2030 con la reducción de las emisiones a la mitad. También se destaca en este sexto informe la importancia de una transición en el sector energético reduciendo de forma tajante el uso de combustibles fósiles, extender la electrificación, mejorar la eficiencia energética y utilizar combustibles alternativos. Señala (el informe) que para evitar los 2°C es necesario que a nivel mundial las emisiones de gases de efecto

invernadero alcancen el punto máximo en 2025 como año límite para ser reducido en un 43% en el año 2030 (IPCC,2022).

2.2.2 Tecnologías de la Industria 4.0 para la disminución o mitigación de emisiones de CO²

El objetivo para reducir las emisiones de CO² no puede ser alcanzado solo por gobiernos trabajando de manera independiente, se necesita la participación de las universidades, organizaciones privadas, así como la participación de la ciudadanía en general.

Por mucho tiempo la innovación tecnológica estuvo motivado por el interés de competitividad y desarrollo económico, sin embargo, la vinculación entre innovación tecnológica y la búsqueda para alcanzar los objetivos medioambientales han ganado protagonismo en los últimos años. Es necesario un cambio tecnológico a gran escala en las próximas décadas para alcanzar el objetivo internacional de estabilizar los niveles atmosféricos de gases de efecto invernadero (GEI). Para lograrlo, las tecnologías actuales con elevadas emisiones de GEI, especialmente las tecnologías energéticas basadas en los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) habrán de reemplazarse con nuevas tecnologías que emitan una cantidad menor o nula de gases de efecto invernadero (Rubín, 2010)

Desde el punto de vista económico todas las organizaciones tienen un principal interés en la disminución del consumo de energía eléctrica, básicamente porque esto significa que se utiliza de manera eficiente la energía y por ende la reducción en las emisiones de CO² es menor. Desde este punto de vista, la eficiencia energética incluye todo

tipo de procedimiento que lleve a un funcionamiento óptimo. Así como lo menciona Bolio (2017), quien mediante la implementación de un sistema de adquisición de datos en tiempo real logra un ahorro de 40 % en la utilización de aire comprimido en una planta Bosch.

Una de las principales ventajas que proporciona el uso de nuevas tecnologías, tiene que ver con el uso óptimo energético, enfocado en el uso inteligente de todos los recursos mediante las infraestructuras TI, Cloud Computing, 5G o Internet de las Cosas (Comastri, 2017). Parte de la reducción en las emisiones, son el uso de fuentes de energía renovables, específicamente la gestión de este tipo de energía, aparte de su autogeneración que, a pesar de no representar un ahorro energético, si logra por defecto la disminución de estas emisiones (Ojea, 2021)

En cuanto a la Fabricación Aditiva mediante técnicas de diseño personalizado y con una flexibilidad de imaginación que la impresión 3D puede otorgar, se pueden lograr sistemas de alta complejidad además del uso de materiales especiales como lo son el uso de nanomateriales (grafeno, nanotubos de carbono y MOF) en combinación con membranas, para lograr el proceso de captura y separación de CO² como lo son los desarrollados en Aimplas, Instituto Tecnológico del Plástico, quienes mediante el uso de este tipo de tecnologías y la instalación de puntos estratégicos lograran resultados sin precedentes mediante la disminución de la emisiones CO² por parte de industrias cerámicas, petroquímicas y siderúrgicas (Comastri, 2017).

2.3 Modelo de innovación de la triple hélice

El modelo de innovación de la triple hélice es un modelo abocado la innovación propuesta por los investigadores Loet Leydesdorff y Henry Etzkowitz en el año 1977 y se basa en tres ejes; industria, universidad y gobierno. El modelo de la triple hélice se asemeja

a un modelo espiral, confrontando al modelo típico lineal de innovación fomentando el trabajo conjunto de estas organizaciones institucionales que solían operar de manera individual (Viale y Chingole, 2021).

El modelo de innovación de la triple hélice es un modelo abocado la innovación propuesta por los investigadores Loet Leydesdorff y Henry Etzkowitz en el año 1977 y se basa en tres ejes; industria, universidad y gobierno. El modelo de la triple hélice se asemeja a un modelo espiral, confrontando al modelo típico lineal de innovación fomentando el trabajo conjunto de estas organizaciones institucionales que solían operar de manera individual (Viale y Chiglione, 2021).

Así mismo Etzkowitz y Leydesdorff proponen tres diferentes aspectos del modelo de la triple hélice (Garza, Hernández, Sánchez, 2013).

Modelo 1) El estado abarca a la industria y la academia y es quien dirige las relaciones entre las esferas institucionales.

Modelo 2) Este separa a cada uno de los agentes en una esfera institucional con una fuerte división de fronteras entre ellos.

Modelo 3) El mundo académico, el gobierno y la industria en conjunto, son la generación de una infraestructura de conocimientos en función de la interrelación de las esferas institucionales, con organizaciones híbridas emergentes.

Para Gómez (2020) el modelo de la triple hélice resulta eficiente en análisis de procesos y políticas de innovación, así como en innovaciones basadas en conocimiento, haciendo este modelo útil para las soluciones de problemas y desarrollo de carácter económico y social.

3 MARCO CONTEXTUAL

3.1 Cambio Climático. Situación actual en México

Las características geográficas y climáticas de México y los factores socioeconómicos como la desigualdad y pobreza hacen de México un país con alta vulnerabilidad ante los efectos de cambio climático los cuales empiezan a ser cada vez más tangibles. De acuerdo con el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA,2020) en México se pueden observar los siguientes impactos: Las temperaturas promedio a nivel nacional aumentaron en 0.85°C y las temperaturas invernales en 1.3°C , se ha reducido la cantidad de días más frescos desde los años 60 del siglo pasado y hay más noches cálidas, la precipitación pluvial ha disminuido en la región sureste del país desde hace medio siglo. Del mismo modo como consecuencia del cambio climático se visibilizan el aumento de huracanes, sequías, deslaves, temperaturas extremas y lluvias torrenciales, inundaciones e incendios que hasta hoy han ocasionado altos costos económicos y sociales. Así como especies en peligro de extinción, bosques fragmentados que derivan en una reducción de calidad y cantidad de hábitats silvestres. Ante esta situación México promueve los Programas Nacionales Estratégicos como parte de una iniciativa para abarcar el Cambio Climático y otros problemas como la pobreza y el hambre que aquejan a nuestra nación.

3.2 Programas Nacionales Estratégicos

Con información del CONACYT, (2020) los Programas Nacionales Estratégicos se basan en abarcar con investigación problemáticas que por su gravedad debes ser atendidas con prontitud. El principal objetivo de los PRONACES investigar la causa de los problemas para darles una solución, los PRONACES se abordan de manera

multidimensional tomando en consideración los conocimientos teórico-prácticos más avanzados generados por las humanidades, ciencias y tecnologías. Son especialistas sobresalientes en cada área de los PRONACES y con trayectoria de incidencia social quienes los plantean. Estos programas incentivan la colaboración de la comunidad académica y tecnológica para la involucración de manera eficiente de los recursos públicos en pro de la población y el ambiente, de la misma manera los objetivos planteados en los PRONACES coinciden con los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por la ONU en su agenda 2030.

Con el fin de comprender lo complejo de las problemáticas planteadas, sus determinaciones y estructuras, y con la conveniente intención de buscar acompañamiento entendible y profundo a la causa del problema se establecen los Proyectos Nacionales de Investigación e Incidencia (PRONAI). Los PRONAI, son propuestas de equipos que deberán demostrar experiencia en gran campo de investigación social y disciplinaria., así como contribuciones al desarrollo de políticas públicas en temas de sustentabilidad desde un enfoque socioecológico. Todos los PRONAI son evaluados por expertos mundiales, y se desarrollan desde distintas instituciones de México. Los PRONAI tienen como eje articulador que el objetivo principal busque la profundidad y raíz de la problemática, Los objetivos generales y específicos deben corresponder al objetivo principal de incidencia, lo mismo que los marcos político-epistémicos adoptados (CONACYT, 2020)

El Gobierno de México plantea 10 Programas Nacionales Estratégicos

1. Agentes tóxicos y procesos contaminantes
2. Agua

3. Cultura
4. Educación
5. Energía y cambio climático
6. Salud
7. Seguridad humana
8. Sistemas socioecológicos
9. Soberanía alimentaria
10. Vivienda.

3.2.1 PRONACES de Energía y Cambio Climático

En el lugar número cinco se encuentra el Programa Nacional Estratégico de Energía y Cambio Climático., el cual se divide en dos temas de importancia mundial; Transición Energética y Cambio Climático y Calidad del Aire. El objetivo de este PRONACES es abordar y dar soluciones a las problemáticas que presenta México en tema de energía y el enorme reto de cambio climático que se enfrenta a nivel mundial. Estas problemáticas identificadas se presentan como:

1. Declive geológico de la producción de hidrocarburos.
2. Alta dependencia de productos refinados y gas natural importados del extranjero que afectan la seguridad y soberanía energética.
3. Creciente impacto social y ambiental que con lleva la producción de energía
4. Inequidad del consumo energético

El Cambio Climático que se experimenta es ocasionado principalmente por el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero, provocado por la actividad humana, en donde sobresale la quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Esto ha provocado que esta sea la década con mayores emisiones de CO² en los últimos 10 años, también un incremento en el nivel del mar, el cual ha subido 20 cm desde 1900, la temperatura también ha incrementado en los últimos 125,000 años y los fenómenos meteorológicos son cada vez más extremos, frecuentes e intensos (CONACYT, 2020)

De acuerdo con el Banco Mundial (2018) México ocupa la decimosegunda posición en la lista de los principales países emisores de dióxido de carbono, por debajo de China, Estados Unidos, India, Federación de Rusia, Japón, Alemania, República de Corea, República Islámica de Irán, Indonesia, Canadá y Arabia Saudita. El CONACYT a través de una infografía rescata del sexto informe del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) las actividades necesarias para reducir las emisiones y limitar el calentamiento a 1.5°C. Dichas actividades son: 1) Eliminar progresivamente la dependencia los combustibles fósiles, 2) transitar hacia un modelo energético, descentralizado, regional, democrático, diversificado y basado en energías verdes, 3) orientar las economías hacia otras nociones de desarrollo, respetando los límites ambientales, 4) Promovemos alternativas de movilidad centradas en el transporte público, 5) creando alianzas entre los diferentes gobiernos del mundo estableciendo acuerdos conforme a responsabilidades históricas y en pro de las necesidades de los distintos países.

Ante tales circunstancias climáticas y de alcances de transformación energética, el gobierno de México mediante el PRONACES de Energía y Cambio Climático ha identificado cuatro ejes de acción con sus respectivos objetivos.

1. Movilidad sustentable

- Implementación de transporte público electrificado de calidad
- Limitaciones al uso del coche particular
- Ampliación de otros modos de transporte
- Intervenciones urbanas en términos de infraestructura y conectividad
- Planeación y gestión integral de los traslados

2. Energía verde y eficiente para el sector industrial, comercial y residencial.

- Alternativas de energías sostenibles, renovables, eficientes y accesibles para las aplicaciones térmicas y eléctricas en la industria, comercio y hogares
- Cogeneración eficiente de calor y electricidad en industrias.
- Ahorro energético a través de tecnología eficiente para iluminación, refrigeración, aire acondicionado y otros usos finales

3. Sistemas energéticos rurales sustentables

- Aprovechamiento de fuentes renovables locales para cubrir necesidades básicas de energía: cocción, calentamiento de agua, refrigeración, confort térmico
- Alternativas de ecotecnologías y fuentes energéticas renovables locales

- Estas alternativas deben además ser robustas, accesibles, diversas y culturalmente apropiadas para los pobladores

4. Generación de energía distribuida

- Generación de energía en el sitio de consumo mediante fuentes renovables de energía local (solar, eólica, biomasa, hidráulica).
- Creación de cooperativas locales de “prosumidores” (productores y consumidores) de electricidad en áreas rurales y urbanos

Como se ha mencionado al inicio de este subtema el PRONACES de Energía y Cambio Climático, internamente se encuentra dividido en dos temas de interés estrechamente ligados entre sí, trabajando hacia el logro de los objetivos antes mencionados. A continuación, se aborda el PRONACES-TE y PRONACES-CCCA de acuerdo con la información del CONACYT (2020)

3.2.1.1 PRONACES de Transición Energética

El declive de la producción de hidrocarburos y el aumento en las importaciones de los principales petrolíferos son retos que se encuentra enfrentando México en temas de energía en la actualidad, aunado al creciente impacto ambiental a nivel mundial ocasionado por la producción y consumo de energía fósil. De el mismo modo, las problemáticas centrales que tiene México en torno al mismo tema es el mal manejo en la producción y consumo energético y la desigualdad en el consumos y acceso a servicios de energía.

Ante tales problemáticas globales y centrales, el gobierno de México plantea a través del Programa Nacional Estratégico de Transición Energética (PRONACES-TE) los objetivos para lograr una Transición Energética Sostenible (TES). La TES debe impulsar

acciones integrales contemplando una mayor participación energética nacional de las energías renovables a la par de una reducción en la demanda de consumo energético. La TES debe también trabajar en reducir la inequidad energética existente y asegurar el acceso universal a servicios energéticos dignos en zonas rurales y periurbanas. Por otro lado, fomentar la democratización en la generación de energía y proyectos locales basados en la generación distribuida de energía y el uso de fuentes renovables en comunidades. De acuerdo con CONACYT (2020) esta Transición Energética Sustentable ayudará a lograr en México una mayor soberanía, seguridad e independencia energética al mismo tiempo contribuirá a la reducción de la pobreza y la mitigación del Cambio Climático.

El PRONACES-TE con información del CONACYT identifica líneas estrategias para lograr una Transición Energética Sustentable:

- Ahorro energético en el sector del transporte por medio de un transporte público electrificado de calidad, de limitaciones al uso del automóvil particular y de la ampliación de otros modos de transporte.
- Descarbonización gradual del uso y generación de la energía en el sector industrial mediante la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de «calor verde» (biomasa y energía termosolar, entre otras), así como una mayor eficiencia energética que derive en una reducción absoluta del consumo total de energía.
- Impulso de fuentes renovables (fotovoltaica, termosolar, biomasa) para propósitos térmicos y eléctricos en los sectores residencial y comercial, así como eficiencia energética mediante el uso de equipos aptos para tal propósito, normas de aislamiento y ventilación en las edificaciones.

- Acciones para la eliminación de la pobreza energética, incluyendo el desarrollo de sistemas energéticos comunitarios basados en un menú amplio de recursos renovables (solar, eólica, biomasa, hidráulica, geotermia) y ecotecnologías de uso final (estufas eficientes, paneles solares, biodigestores, secadores y bombas).
- Democratización efectiva de la energía y de los beneficios de su aprovechamiento mediante una fuerte promoción a los «prosumidores» de energía, a través del impulso a cooperativas urbanas y rurales de producción distribuida comunitaria de energía, particularmente de electricidad.
- Medidas para alcanzar un sistema alimentario saludable, soberano y cada vez menos dependiente de los combustibles fósiles, mediante una transición agroecológica, la promoción de productos y mercados locales y el uso creciente de energías renovables.

3.2.1.2 PRONACES Cambio Climático y Calidad del Aire

Uno de los mayores retos que se enfrenta a nivel global es el cambio climático resultado principalmente de irracionales patrones de producción y consumo de energía, que traen como consecuencias efectos del cambio climático que ponen en riesgo la salud y la calidad de vida humana, poniendo también en riesgo a los ecosistemas, los sectores productivos y la infraestructura estratégica.

Por temas de ubicación geográfica, topografía y características socioeconómicas, México queda inmensamente vulnerable a los efectos de cambio climático. En destacadas proyecciones de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático se prevé que durante próximos 20 años el norte y sur del país tendría un incremento de temperatura anual de 2°C, mientras que el sureste, centro y costa del pacifico

experimentarían decrementos de al menos 10% para mediados de este siglo. Efectos de desastres meteorológicos, constituyen grandes riesgos para la viabilidad de los sistemas agroalimentarios, la conservación de los ecosistemas, la salud y el bienestar de las personas y los sectores productivos.

De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGYCEI 2019), se tuvo un dato superior a los 734 millones de toneladas de dióxido de carbono de emisiones nacionales, donde más de 70% de la quema de combustibles fósiles para la generación de energía. Por tales motivos para el mundo es prioritario el tema de cambio climático, y para México la adaptación al cambio climático se debe abordar desde la observación, entendimiento y participación, además de incluir la identificación y proyección de impactos, la reducción de riesgos y vulnerabilidad específica y el aumento de la capacidad adaptativa en las poblaciones.

El PRONACES CCCA abarca también el tema de la calidad del aire, haciendo referencia a la contaminación tanto del aire, como de agua y suelos, y que conllevan a grandes problemas ambientales y de salud. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) con datos de 2016 la contaminación atmosférica de todo el mundo provoca cada año 3.7 millones de defunciones prematuras a causa de fuentes urbanas y rurales a nivel global, también existe una estrecha relación entre la contaminación atmosférica y daños crónicos y agudos a la salud humana.

Las principales áreas de interés del PRONACES-CCCA son:

- Gestión efectiva de contaminantes climáticos de vida corta con co-beneficios en la salud y en el bienestar de la población.

- Transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones; islas de calor y sus efectos locales en el contexto de Cambio Climático global; acciones de adaptación al cambio climático en comunidades urbanas.
- Generación y aprovechamiento sustentable de la energía y transición a energías limpias; papel de las energías a escala comunitaria en la adaptación al Cambio Climático.
- Gestión del desarrollo sustentable en los sectores agropecuario, pesquero y forestal, y su relación con la reducción de riesgos, vulnerabilidad y adaptación al Cambio Climático.
- Conservación, manejo sustentable y adaptación de ecosistemas y su biodiversidad, así como mantenimiento de servicios ambientales; acciones socioambientales para la adaptación al Cambio Climático de comunidades rurales.
- Preservación e incremento de sumideros de carbono.
- Reducción de la vulnerabilidad del sector social, los sistemas productivos y la infraestructura estratégica.
- Análisis cuantitativo y cualitativo para el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de políticas climáticas.

Por su complejidad, importancia y gravedad el PRONACES de Energía y Cambio Climático aborda manera articulada los temas de energía, cambio climático y calidad del aire buscando promover reflexión y acciones específicas para promover un sistema energético más sostenible.

4 METODOLOGÍA

4.1 Opciones metodológicas

De acuerdo con Ortega (2008) los métodos de investigación orientados a la prospectiva se pueden agrupar en tres tipos fundamentalmente: Métodos de expertos (basado en las opiniones de conocedores del problema que se quiere analizar); métodos explorativos (basado en datos históricos que se pueden extrapolar al futuro) y métodos de correlación (basados en la identificación de factores relevantes y su evolución hacia el futuro).

4.1.1 Planeación prospectiva

Según la etimología, *perspectivo* refiere en latín a *prospectare* que se define como mirar a lo que está por venir. Los primeros aportes a la prospectiva surgen en 1940, sin embargo, es en la década de los 60's cuando se empieza a consolidar por el inicio de intereses de la academia, empresas y entes de gobierno y privados en formalizar una profesión dedicada al futuro (Medina, Becerra y Castaño, 2014). En 1957 el latín Gastón Berger se apropió del término *prospicere* (mirar a lo lejos) para enfatizar la diferencia de otros estudios con los que se centraban en predecir, pronosticar y provisionar (Sañudo, 2016).

Según Miklos y Tello (2017) La prospectiva, se fundamenta sobre el supuesto de que no basta con conocer con entendimiento el futuro, sino en la habilidad de también poder concebir futuros alternos, para la elección de uno y su positiva construcción. Miklos y Tello (2007) también señalan lo que las investigaciones del futuro deben pretender:

- Definir y analizar alternativas futuras

- Examinar las implicaciones de nuestros planteamientos hipotéticos
- Prepararnos para los cambios manteniendo una actitud abierta.
- Brindar información relevante en una perspectiva a largo plazo.

La prospectiva es un análisis estratégico y estructurado acerca de las alternativas futuras y toma en cuenta visiones de futuros probables, innovadoras, y con posibilidades de realización, no es un trabajo que se pueda realizar de manera aislada, ya que no es una especulación individual sobre imágenes futurísticas. La prospectiva considera el trabajo en grupo, donde sobresale la capacidad de articular la opinión de expertos que necesitan sinergia en torno a una visión compartida del futuro y tiene la finalidad de tomar las mejores decisiones para el desarrollo de la sociedad e involucra términos de anticipación y construcción del futuro (CEPAL, 2014).

Miklos y Tello definen la planeación como la toma anticipada de decisiones, y citando a Ackoff (1993) la planeación debe sugerir lo siguiente:

1. Debe ser necesaria cuando el hecho futuro que deseamos implica un conjunto de decisiones interdependientes (sistema de decisiones).
2. Es algo que se lleva cabo antes de efectuar una acción (toma anticipada de decisiones).
3. Es un proceso que se dirige hacia la producción de uno o más futuros deseados y que no es muy probable que ocurran a menos que se hagan algo al respecto (prospectiva y planeación).

La planeación perspectiva como instrumento, tiene su esencia en no aceptar que el futuro está totalmente predeterminado por lo que brinda la posibilidad de crear, descubrir,

diseñar y construir futuros convenientes, factibles y deseables. Se sostiene de tres pilares: visión de largo plazo, cobertura holística y aspiración al consenso, estos tres términos deben trabajar en conjunto en disyuntivas y escenarios alternativos a partir de interrogante como: ¿Hacia dónde ir?, ¿por dónde conviene ir? ¿cómo? ¿cuándo? ¿con qué y con quién? (Sañudo, 2016).

4.1.2 Método Delphi

La planeación prospectiva basa su consistencia en sus métodos, los cuales entre los más usados se encuentran más usados se destacan el de Escenarios, el Delphi, el Morfológico, el Mactor, el del Análisis Estructural y el Ábaco de Reignier. A continuación, se analizarán dos perspectivas del método Delphi de acuerdo con dos diferentes autores.

Según Antonio Alanís Huerta (2020): De acuerdo con el autor el método Delphi tiene el propósito de buscar la convergencia de opciones de acuerdo con un tema particular, y considera su uso apropiado en lapsos de mediano a largo plazo. El autor señala 3 etapas para este método, el planteamiento del problema, las preguntas y los expertos. Al ser un método que se sustenta en la opinión calificada de expertos, el planteamiento del problema y sus preguntas reviste la etapa fundamental. En la etapa de los expertos el autor resalta su importancia dado que la buena elección de informantes y expertos depende la calidad del trabajo resultante. Así mismo, que estos deben conservar el anonimato y preferentemente los cuestionarios deben resolverse vía correo electrónico y en todo caso, las opiniones sean registradas de manera individual, en entrevista personal e independiente. En esta primera vuelta del cuestionario los expertos deben analizar su respuesta y redefinirlas en caso de que sea necesario, el procedimiento puede repetirse con un máximo de 4 veces esperando que en la quinta vuelta el experto de su respuesta final. Se sugiere el uso de herramientas

estadísticas tales como medidas de tendencia central o de dispersión con el objetivo de precisar los desacuerdos entre las respuestas (Huerta, 2020).

De acuerdo con Ernesto López Gómez (2018) y tras una recopilación de diferentes fundamentos metodológicos sobre la técnica Delphi, el autor considera los siguientes parámetros metodológicos a considerar: a) selección y conformación de expertos, b) número de expertos, c) calidad del panel, d) proceso iterativo en rondas, e) criterios a considerar para la finalización del proceso: consenso y estabilidad.

Selección y conformación del panel de expertos: Como el anterior autor, López también señala la importancia de la selección de expertos y citando a Ludwig (1997) señala que no aceptable una selección de expertos aleatoria o sin fundamentos y resalta como requisito básico considerar los antecedentes y experiencia de los expertos en el tema a evaluar. Se recomienda también que exista un plazo de 2 semanas para el primer contacto previos al primer cuestionario, en lo que los expertos muestran disposición de participar ya sumen el compromiso (Delbecq et al, 1975). En cuestión del número de expertos el autor ofrece algunas propuestas entorno al número deseable; sugiere que cuanto mayores expertos participen más fiabilidad tendrá el estudio, por otro lado, también se puede considerar factores como el objeto de estudios, los objetivos que se quieran alcanzar y los recursos con los que se cuenten. También cita algunas propuestas como la de Gordon (1994) quien sugiere una selección de participantes entre 15 y 35 y Landeta (1999) quien considera entre 7 y 30 participantes. En tema de calidad del panel López señala que la calidad de este tipo de trabaja se basa en los criterios aplicados para la selección y conformación de expertos, tomando factores como los antecedentes del experto, la información recibida, la investigación desarrollada y la experiencia profesional. El proceso

iterativo en rondas López lo considera como esta interacción entre el administrados del Delphi y los expertos que conforman el panel. Esta etapa inicial de contacto requiere de una adecuada elaboración del diseño del cuestionario tomando en cuenta el objeto y los objetivos de la investigación. En temas del número de rondas el autor cita a Worthen y Sanders (1987) quienes indican que aunque el proceso puede durar varias rondas, se empieza a visibilizar la estabilidad y disminución de respuestas a partir de la tercera ronda, en todo caso es recomendable prefijar el número de rondas y hacérselo saber al expertos con el objetivo de considerar las dimensiones del estudio y el grado de compromiso que se espera en participación.

Es importante mantener la naturaleza de las preguntas, la integración de las respuestas individuales y el *feedback* en todo el proceso. Autores como Best (1974) y Novakowski y Wellar (2008) señalan que la explicación de los expertos con argumentos y razones producen resultados más precisos, mientras que Hallowell y Gambates (2010) contradicen esta afirmación haciendo referencia al trabajo de Rowe y Wright (1999) donde se observó que los estudios Delphi carentes de razones e incluyendo una síntesis estadística arrojan resultados más exactos producto de la directividad de la interacción. A continuación, se hace énfasis en lo que López señala referente a este tema quien cita a Hung, Altschuld y Lee (2018) señalando que se obtiene un información más rica y valiosa con las preguntas abiertas en la primera ronda, tras esta primera se puede entonces formular un cuestionario para jerarquizar, comparar o estimar y que pueda ser presentado de tal manera que se pudiera desarrollar con él un proceso estadístico. Se hace tal énfasis pues es la técnica para trabajar en el proceso interactivo en el método Delphi de este trabajo de investigación.

En la fase criterios para la finalización el Delphi: consenso y estabilidad, citando a Martínez (2003) el autor define el consenso como la respuesta a la propia filosofía de la técnica que busca la convergencia entre las opiniones de los participantes, y la estabilidad como la técnica para decidir la finalización del proceso tras una comparación de las respuestas de las rondas aplicadas.

4.1.3 Método de Análisis Estructural

El método de análisis estructural es, fundamentalmente, una herramienta para la estructuración y organización de ideas. Este método puede ser utilizado para ayudar en la reflexión y en la toma de decisiones, para montar un proyecto de planificación prospectiva, pues facilita la búsqueda y precisión de variables para impulsar el desarrollo de los sistemas organizacionales. (Alanís, 2018)

De acuerdo con Alanís (2018) la primera etapa del método consiste en depurar el conjunto de variables que caracterizan al sistema estudiado: variables internas y externas. Consiste en una técnica de análisis de sistemas, que al permitir detectar relaciones “escondidas” y descomponer el sistema en subsistemas, puede ayudar a reconocer lo que de otra forma no era perceptible (Martins, 2017).

De acuerdo con Martins (2017) las etapas el análisis estructural este compuesto por las siguientes etapas:

- Listado/identificación de todas las variables y actores fundamentales en el sistema, internos (endógenos) o externos (exógenos).

- Análisis retrospectivo (de su evolución pasada) y actual del sistema, de forma a identificar los agentes de cambio, o sea, los factores portadores de futuro.
- Revisión del listado preliminar de variables y actores donde se inicia la elaboración de una matriz de análisis estructural, cruzando las variables para identificar la influencia de cada una sobre las restantes (en cuanto a su “motricidad” y dependencia) e identificando las variables-clave (explicativas, de unión, de resultado o autónomas)

Una de las ventajas del análisis estructural es que permite que los integrantes vean más allá de la apariencia estructural del sistema, proveniente del trabajo en equipo que promueve este método, otra de las ventajas es la facilidad con la que los resultados se pueden cruzar con la de otros métodos posibilitando también una lectura cualitativa de las matrices de datos. Por otro lado, la limitante de esta metodología es la subjetividad con que se pueden determinar las variables internas y externas. Recae en la capacidad de reflexión y la sensibilidad del equipo el separar las variables de gran relevancia con las de menos importancia para un estudio adecuado (Alanís, 2018).

4.2 Tipo de investigación

Investigación prospectiva

4.2.1 Propósito de la investigación

El propósito de la presente investigación es analizar la prospectiva de la Industria 4.0 en el sector eléctrico para el objetivo del PRONACES de Transición Energética y Calidad del aire, a través de la metodología de prospectiva Delphi aplicada a expertos en el

área de energía del modelo de la triple hélice. Con el objetivo de establecer los escenarios posibles, probables y deseables en torno al tema de estudio. De acuerdo con el objetivo central de la presente investigación, esta es una investigación básica, ya que pretende generar conocimiento sobre la prospectiva futura.

4.2.2 Enfoque

La presente investigación será de tipo cuantitativa pues contempla variables como tiempo y porcentaje, al mismo tiempo que analizará las respuestas recolectadas de manera estadística con el objetivo de buscar un consenso entre estas. De acuerdo con Rus (2021) La investigación cuantitativa es aquella que utiliza métodos cuantitativos e inferencia estadística con el objetivo de extrapolar los resultados de una muestra a una población.

4.2.3 Profundidad o Alcance

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010), la investigación descriptiva pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre las variables a las que se refieren y es útil para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de los fenómenos, suceso, comunidad, contexto o situación. Dado que el objetivo de esta investigación es describir los escenarios posible, probable y deseable de acuerdo al análisis prospectivo de la Industria 4.0 para los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático. La presente investigación es una investigación con alcance descriptivo.

4.2.4 Amplitud

La presente investigación tiene una amplitud de estudios de caso, ya que contempla la descripción de las perspectivas futuras de un grupo de expertos de área energética divididos en el modelo de la triple hélice: público, privado, académico.

4.2.5 Horizonte temporal

Dado que el análisis de los escenarios que esta investigación pretende describir es contemplado para lapsos de años posteriores, la presente investigación tiene un horizonte temporal de prospectiva.

4.2.6 Fuentes de información

Las fuentes de información serán documental en un principio, haciendo uso de libros, artículos e investigaciones pasadas, posteriormente la recolección de información será por trabajo de campo, por medio de la recolección de opiniones de expertos en energía a través de cuestionarios virtuales.

4.2.7 Realidad para modificar

Esta investigación contempla trabajar con las siguientes realidades:

1. Realidad natural: pues busca que en un futuro se pueda por medio de las tecnologías de la Industria 4.0, disminuir las emisiones de CO² en el ámbito eléctrico.
2. Realidad organizacional: pues se trabajará con el modelo de la triple hélice lo cuales son universidad, organizaciones privadas y organizaciones públicas.

4.2.8 Sector de impacto

El presente trabajo investigativo busca tener un impacto en el objetivo del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO² y en la implementación futura de avances tecnológicos por lo que su sector de impacto es ambiental, tecnológico.

4.3 Elección metodológica

La metodología con la que se trabajará será el método de prospectiva Delphi. Tomando en consideración la perspectiva de los autores Landeta (1999) y López (2018).

4.3.1 Grado de control de las variables

El proyecto es no experimental, pues no se modifican o alteran las variables y es transversal, pues se realiza la observación y el registro de datos en un momento único en el tiempo.

4.3.2 Etapas y cronología

Las etapas que implicara el trabajo de campo serán las siguientes:

1. Creación de un directorio de posibles participantes en el método Delphi
2. Primer contacto con los expertos seleccionados para la participación vía correo electrónico. Enviando información detallada sobre la investigación en la que participaran, las etapas que contemplara, con el objetivo de que adquieran compromiso con el proyecto.
3. Realización de una pregunta abierta, donde libremente los expertos puedan animarse a argumentar, razonar y extender su punto de vista.
4. Analizar la primera pregunta y celebración del primer cuestionario.

5. Circulación y obtención de la primera ronda de preguntas
6. Interpretación y análisis estadístico del primer cuestionario.
7. Realización del segundo cuestionario
8. Circulación y obtención del segundo cuestionario
9. Interpretación y análisis estadístico de la respuesta final y conclusiones
10. Elaboración de los escenarios probable, posibles y deseables.

4.4 Unidad de análisis

Utilización del modelo de la triple hélice (Universidad, Empresa y Gobierno)

4.4.1 Definición de unidad de análisis y unidades de observación

Unidad de análisis: la Industria 4.0 en el área eléctrica según expertos del sector académico. Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación en Mérida, Yucatán.

Unidad de observación: académicos que impartan materias tales como energías renovables o ingeniería eléctrica, ya sea a nivel T.S.U, Maestría y/o Doctorado. Así como a colaboradores de centros de investigación.

Unidad de análisis: la Industria 4.0 en el área eléctrica según expertos del sector privado: Organizaciones privadas de giro energético. Empresas privadas que se dediquen a la generación de energía, proyectos de ingeniería de giro energético y empresas de instalaciones eléctricas a nivel industrial en Mérida, Yucatán.

Unidad de observación: trabajadores, directivos y colaboradores de organizaciones privadas en el sector energético, que cuenten con un mínimo de 5 años en su puesto.

Unidad de análisis: la Industria 4.0 en el área eléctrica según expertos del sector público, organizaciones privadas en el área energético en Mérida, Yucatán.

Unidad de observación: trabajadores, directivos y colaboradores de organizaciones públicas en el sector eléctrico, que cuenten con un mínimo de 5 años en su puesto.

4.4.2 Tamaño de la población

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2016) una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones. Citando a López (2018) y su recopilación de análisis sobre el método Delphi se rescata que mientras más grande sea el número de análisis mayor fiabilidad de las respuestas habrá. Tomando a consideración que con forme avance las etapas los expertos probablemente dejen de mostrar interés y vayan desistiendo, se prevé alcanzar una base de datos con 200 contactos, de los cuales se trabajara con la cantidad que propone Landeta (1999) que son de 15 a 30 participantes.

4.4.3 Procedimiento de muestreo de las unidades de análisis y unidades de observación

El muestreo de la presente investigación será no probabilístico ya que según Sampieri (2016) la elección de los elementos en este tipo de muestreo no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o los propósitos del investigador.

De acuerdo con los fines de la investigación lo tipos de muestreo a utilizar serán: muestreo intencional o por juicio y muestreo por bola de nieve. Ya que según lo define

Arias (2006) el muestreo intencional es aquel donde los elementos maestres son escogidos en base a criterios o juicios preestablecidos por el investigador. De acuerdo con Atkinson y Flin (2001) el muestro por bola de nieve una técnica para encontrar al objeto de investigación. En la misma, un sujeto le da al investigador el nombre de otro, que a su vez proporciona el nombre de un tercero, y así sucesivamente.

4.4.4 Unidad de análisis. Listado.

Instituciones de Educación Superior y Centro de Investigación que contemplen en su plan académico materias relacionadas a la energía.

- Universidad Autónoma de Yucatán: Ingeniería en Energías Renovables, Maestría y Doctorado en Energías Renovables.
- Centro de Investigación Científica de Yucatán: Maestría y Doctorado en Energías Renovables.
- Instituto Tecnológico de Mérida: Ingeniería Eléctrica.
- Universidad Tecnología Metropolitana: T.S.U Instalaciones Eléctricas Eficientes e Ingeniería en Energías Renovables.

Empresas privadas de giro energético:

- AES México: Central Mérida III. Fuente de generación: Ciclo combinado.
- Vive Energía: Parque Eólico Península. Fuente de generación: Energía eólica.

Organizaciones públicas del sector energía:

- Comisión Federal de Electricidad

- Secretaría de Energía (SENER)
- Comisión Reguladora de Energía (CRE)
- Centro Nacional de Control de Energía (CENACE)

4.5 Definición conceptual de las variables

Tabla 4.1

Variables

Variable	Definición operacional
Tiempo	Tiempo en años en el que se verá la implementación de la industria 4.0 en el sector energético.
Porcentaje	Grado de aportación de la industria 4.0 al sector energético.
Fase	Área de impacto dentro de la estructura del sector eléctrico.
Ambiental	Objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO ₂

Fuente: Elaboración propia

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de información

La presente investigación está basada en la técnica Delphi la cual de acuerdo con Huerta (2018) es un método de predicción con una serie de técnicas de prospección con el objetivo de identificar la convergencia de opiniones de acuerdo con un tema particular y considera tres etapas para este método: el planteamiento del problema, las preguntas y los expertos. Por su parte, López (2018) estima los siguientes parámetros metodológicos a considerar: a) selección y conformación de expertos, b) número de expertos, c) calidad del panel, d) proceso iterativo en rondas, e) criterios a considerar para la finalización del proceso: consenso y estabilidad.

Para efecto de este trabajo se seguirán las etapas de Antonio Alanís Huerta (2018) el cual sobre estas señala que al ser un método que se sustenta en la opinión calificada de expertos, el planteamiento del problema y sus preguntas reviste la etapa fundamental. En la etapa de los expertos el autor resalta su importancia dado que la buena elección de informantes y expertos depende la calidad del trabajo resultante. Así mismo, que estos deben conservar el anonimato y preferentemente los cuestionarios deben resolverse vía correo electrónico y en todo caso, las opiniones sean registradas de manera individual, en entrevista personal e independiente.

Técnica

Se hará uso de las encuestas como técnica, la cual de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2016) consiste en un conjunto de preguntas respecto a una o más variables a medir y es muy utilizada en diferentes investigaciones con enfoque cuantitativo.

Instrumento

El instrumento a utilizar en esta investigación será el cuestionario, el cual de acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010) en éste las variables están operacionalizadas como preguntas. Éstas no solo deben tomar en cuenta el problema que se investiga sino también la población que las contestará y los diferentes métodos de recolección de información, definiendo al cuestionario como un conjunto de preguntas respecto de una o más variables a medir.

4.6 Panel de expertos y proceso del método Delphi

Tomando en cuenta lo que plantea Antonio Alanís Huerta (2018) el método Delphi tiene tres bases que reúnen ciertas características para su utilización: El planteamiento del

problema, las preguntas y los expertos. El autor señala la importancia del planteamiento del problema y las preguntas a las cuales hace referencia como la parte fundamental y sugiere un uso virtual para estos, sobre los expertos resalta que debe haber una buena elección de estos y mantener el anonimato durante el proceso con fines de asegurar la calidad del mismo. Siguiendo estas tres bases del autor se relata la manera en la que se abarcan cada uno durante el proceso investigativo de la presente tesis.

Del planteamiento del problema: La manera en la que se cimienta el proceso realizado es a través de entablar una problemática global, el cambio climático, donde México con fines de abarcarlo crea como una de sus estrategias el PRONACES de Energía y Cambio Climático, este entre sus objetivos tiene la disminución o mitigación del CO² que se genera a través de la generación y consumo de energía eléctrica y plantea la necesidad de crear alianzas y avance tecnológico, de investigación y proyectos sociales que puedan dar cumplimiento a sus objetivos. Siguiendo lo anterior, se plantea como problema a resolver para el proceso Delphi el análisis del futuro tecnológico de Industria 4.0 de la energía eléctrica en Yucatán y su relación con los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO².

De los expertos: Con respecto a estos, se toma a consideración al autor Ernesto López Gómez (2018) quien, al igual que Huerta (2018), también hace énfasis en la importancia de su selección para la conformación del panel añadiendo criterios como números de expertos y calidad del panel. Citando a Ludwing (1997) López señala que no es válida una selección de expertos sin fundamentos y recomienda tomar en cuenta criterios como la experiencia y antecedentes del tema en cuestión para su selección. En cuanto al número expertos el autor cita a Gordon (1994) y a Landeta (1999) quienes sugieren un

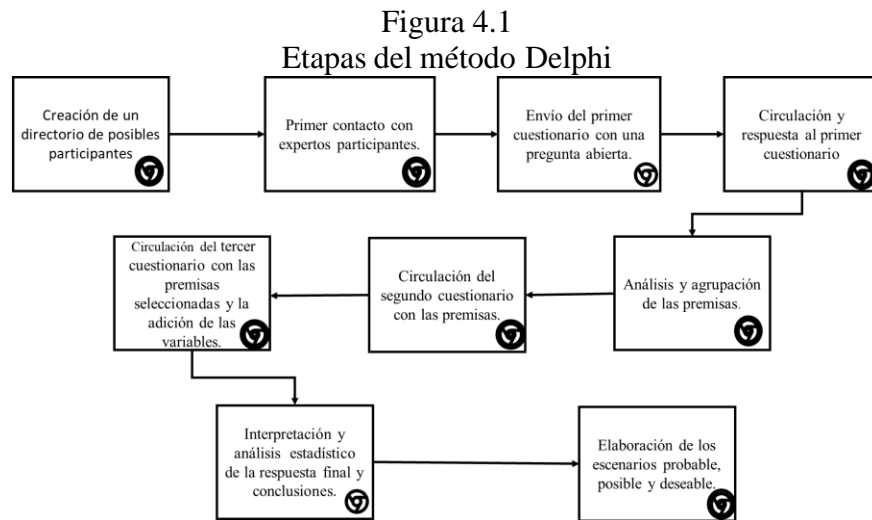
numero de elección de entre 15 y 35 participantes y 7 y 30 participantes respectivamente. Aunado a los criterios que sugiere el autor se toma en cuenta que los expertos seleccionados se encuentren dentro del modelo de análisis de la triple hélice (academia, empresa y gobierno).

De las preguntas: Sobre las preguntas del cuestionario Huerta (2018) menciona la importancia para la calidad del panel que estas sean a través de cuestionarios virtuales y que sean respondidas de manera independiente y en forma anónima, el autor también habla de un proceso de diferentes preguntas entabladas en el primer cuestionario y una redefinición de las respuestas por parte de los expertos dando como número de repetición hasta cuatro veces, mientras que Ernesto López Gómez (2018) citando a Hung et al (2018) señala que realizar una pregunta abierta en el primer resulta más enriquecedor para el método, dejando el diseño del cuestionario para una ronda posterior y basado en las respuestas de la pregunta abierta. Se toma entonces para el diseño del método Delphi que se implementó la idea de Huerta (2018) y se realizan los cuestionarios de manera virtual y en anonimato por otro lado, se toma de López (2018) la idea de que el primer cuestionario enviado sea con una pregunta abierta y envía con una indicación para que sea respondido a través de premisas.

Con el fin de no limitar las visiones de los expertos el cuestionario número uno se envía con la instrucción de que se respondido a través de premisas, donde, haciendo uso de su experiencia y conocimiento lo expertos participantes puedan entablar premisas sobre el futuro de sector eléctrico en todas o cualquiera de sus etapas (generación, transmisión, distribución y consumo) indicando las tecnologías o las tecnologías de la industria 4.0 que pueden contribuir a esto. Para eso el diseño del cuestionario número uno, estuvo compuesto

de una pequeña introducción sobre el trabajo investigativo que se está realizando, los conceptos clave: industria 4.0, prospectiva, PRONACES y premisa, las instrucciones para dar respuesta y la indicación de cómo deben estar compuestas las premisas.

Las etapas del método Delphi difieren para distintos autores, aunque principalmente se basan en una selección de expertos, cuestionarios, tiempos de espera y análisis. El método Delphi que se utilizó consto de nueve etapas, las cuales se pueden observar en la figura 5.1 y que se explican en la tabla 5.1.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2

Descripción del procedimiento de las etapas del método Delphi

Etapas	Procedimiento
Creación de un directorio de posibles participantes	Se realizó por medio de un registro de contactos a través del método por conveniencia y bola de nieve, incluyendo en el mismo criterio de selección. Se registran 35 personas.
Primer contacto con expertos participantes	Se envía a los expertos seleccionados para conformar el panel de expertos a través de correo electrónico una explicación detallada del trabajo investigativo en cuestión, así como tiempos y etapas del procesos y datos de contacto, con el fin de adquieran compromiso con el estudio.
Envío del primer cuestionario con una pregunta abierta	Se realiza a través de una indicación para ser respondida en forma de premisas (5) siguiendo la estructura de: tecnología propuesta+ acción o impacto+ campo o área de aplicación.
Circulación y envío del primer cuestionario	Tiempo de espera de respuesta 2 semanas, de los 31 expertos seleccionados en el registro responden 13.
Análisis y agrupación de las premisas	Las premisas recibidas se agrupan de acuerdo aquellas que tengan las misma idea o concepto.
Circulación del segundo cuestionario con las premisas	Se envía al panel de experto las premisas ya agrupadas con el fin de que estes respondan que tan de acuerdo o en desacuerdo se encuentran con las premisas. Tiempo de espera de respuesta 2 semanas, responden los mismos 13 expertos.
Circulación del tercer cuestionario con las premisas seleccionadas y la adición de las variables	Se diseña el tercer cuestionario con preguntas que respondan a las variables tiempo, fase, porcentaje, ambiental y tecnologías para cada premisa.
Interpretación y análisis estadístico de la respuesta final	A través del software IBM Stadistic Grafic se realiza el análisis estadístico de cada una de las premisas que los expertos determinaron, por medio de tablas cruzadas de las variables tiempo/tecnología y porcentaje/objetivo y el análisis de frecuencia de la variable fase.
Conclusión y elaboración de escenarios	Siguiendo el criterio propio para la elaboración de cada escenario, se establecen los escenarios posible, probable y deseable.

Fuente: Elaboración propia

5 RESULTADOS

Como se ha mencionado en el capítulo anterior las unidades de análisis para esta investigación fueron las instituciones de estado de Yucatán dentro del modelo de innovación de la triple hélice (academia, empresa y gobierno), mientras que, las unidades de observación fueron los expertos en temas energéticos que se encuentran dentro de este mismo modelo. Para poder llegar al análisis final el proceso abarcó una selección de expertos con criterios a considerar, tres rondas de cuestionarios virtuales, siendo el primero con una pregunta abierta y un análisis final. Se presenta en este apartado a través de la estructura de los objetivos específicos las características del método Delphi, los parámetros metodológicos utilizados, así como las etapas que conformaron el método Delphi para este trabajo investigativo. Del mismo modo en cada apartado se explica el proceso que se siguió y las referencias expuestas en los marcos teórico y contextual.

5.1 Selección y conformación del panel de expertos

Para conformar el panel de expertos del método Delphi se procedió en primer lugar con la creación de un directorio de posibles participantes a través de un registro por medio de selección por conveniencia y bola de nieve. En la base de datos se obtuvo un registro de 35 participantes. Para el diseño del registro se realizó criterios de selección con el fin de poder analizar y depurar para la conformación del panel de expertos. Se obtuvo entonces que, de los 35 en el registro, 31 personas fueron consideradas como expertas arrojando los siguientes datos: el 80.6 % fueron hombres, mientras que el 19.4% fueron mujeres (ver tabla 5.1).

Tabla 5.1

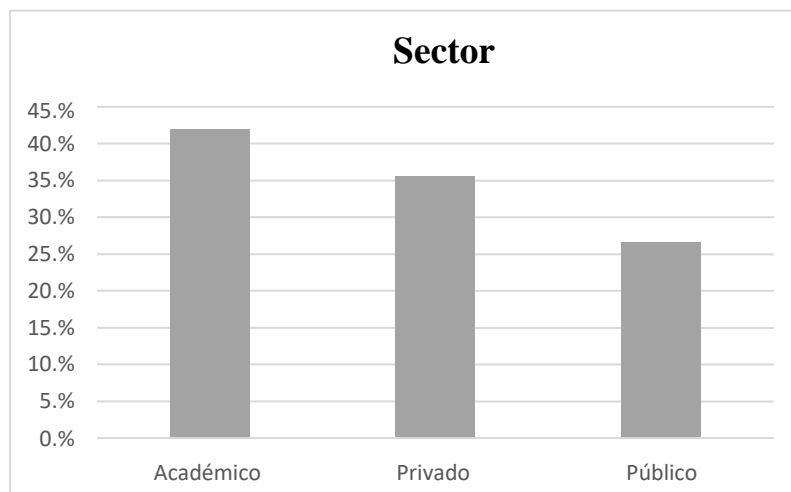
Base de expertos			
	Hombres	Mujeres	Total en el panel
Público	5	2	7
Privado	9	2	11
Académico	11	2	13
Total	25	6	31

Fuente: Elaboración propia

Para poder incluir a los expertos en el registro con criterios de selección, tales como: el sector al que pertenece dentro del modelo de la triple hélice, último grado de estudios, área de estudios, área de desempeño laboral. Tendiendo como resultado que, de los 31 expertos seleccionados para la conformación de panel el sector académico es el que tiene más porcentaje con 41.9% (ver figura 5.1). En cuanto al último grado de estudios se tienen expertos de licenciatura, maestría, doctorado y postdoctorado, siendo el grado de licenciatura el que abarca el 41.9% (ver figura 5.2), mientras que, en el área de conocimiento el 83.9% de los expertos refiere que se encuentran dentro de área e ingeniería, manufactura y construcción (ver figura 5.3). En la figura 5.4 se puede observar la gráfica de acuerdo con los años de experiencia en el área en cuestión donde el 74.2% dijo tener 5 años o más.

Figura 5.1

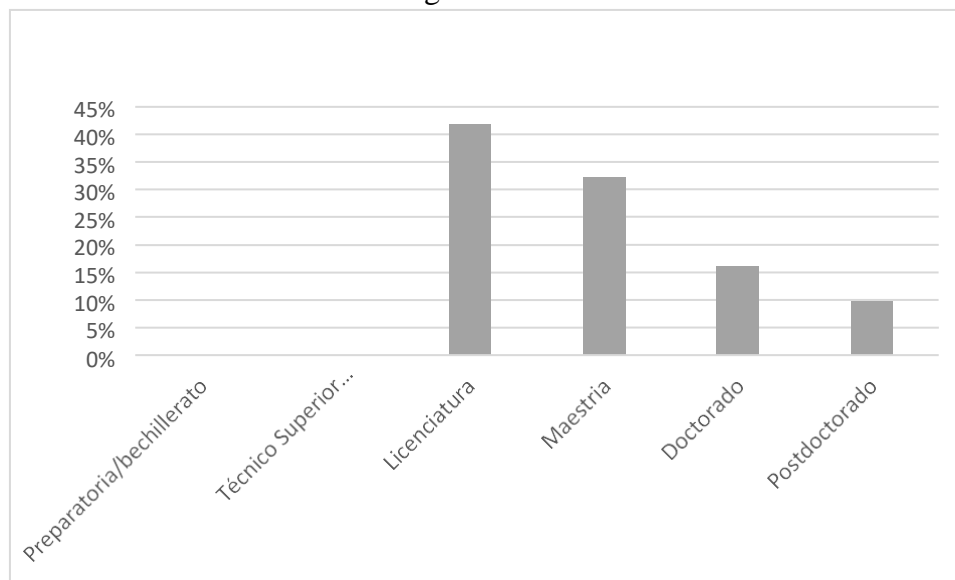
Sector en el que se desempeña dentro del modelo de triple hélice



Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

Figura 5.2

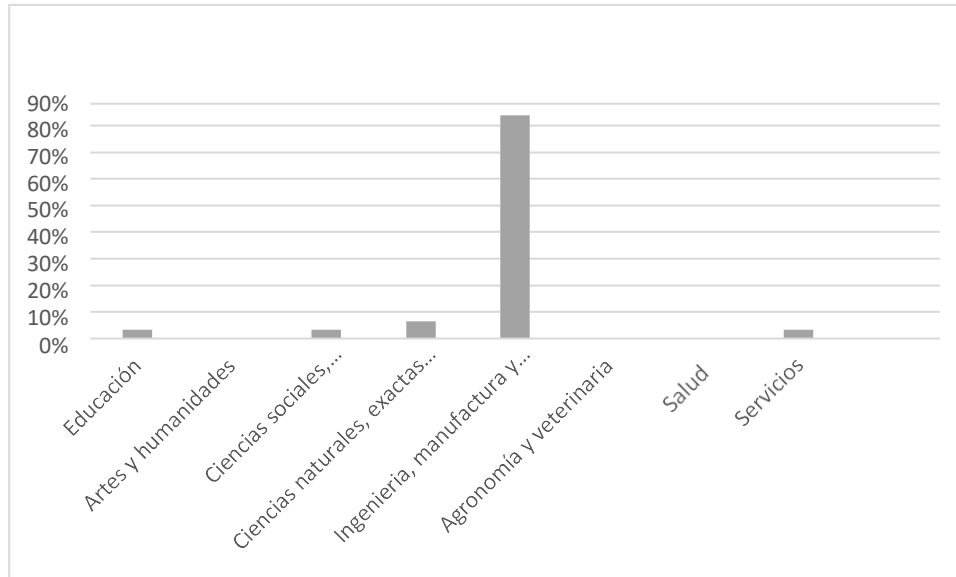
Último grado de estudios



Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

Figura 5.3

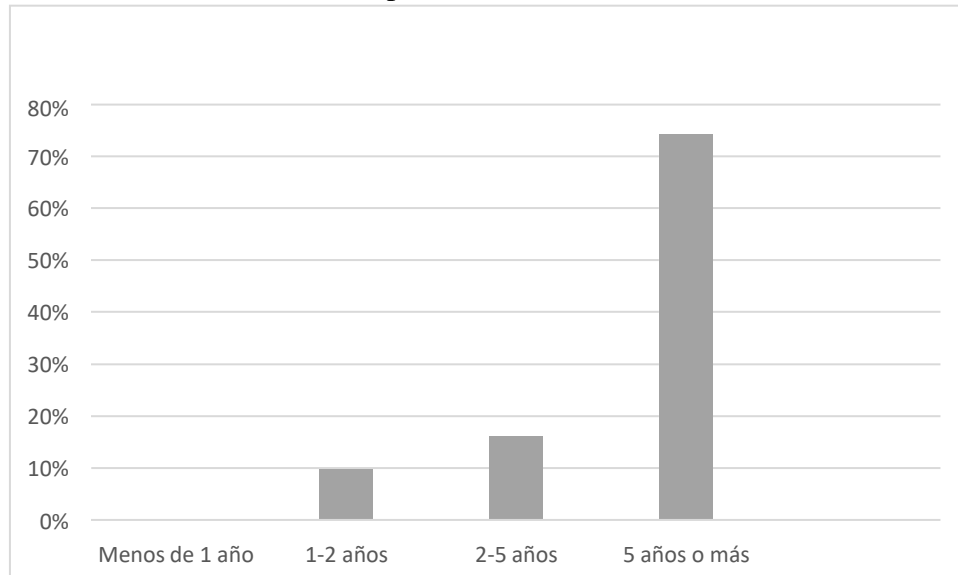
Área de estudios



Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

Figura 5.4

Años de experiencia en el área

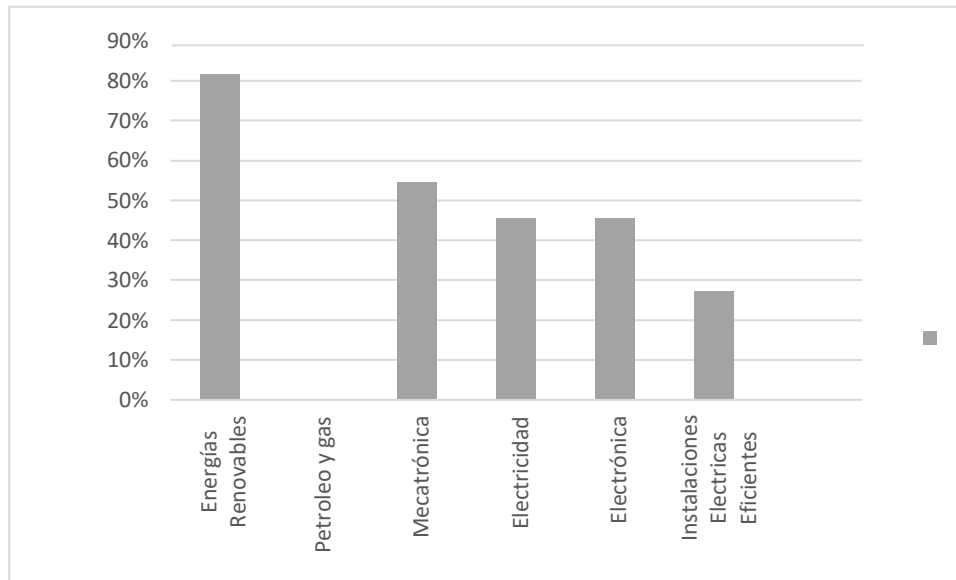


Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

De igual manera se recabaron datos sobre sus conocimientos de temas de Industria 4.0 y PRONACES aunque se hace en esto último la mención de que los criterios sobre el conocimiento de las áreas actúan como respuesta mas no como un criterio de selección de expertos, puesto que los actores para la conformación del panel deben ser expertos en conocimientos de energía dentro del modelo de la triple hélice; por lo tanto, que los actores no conozcan sobre temas de Industria 4.0 y PRONACES es también una respuesta de estudio. En cuanto a conocimiento sobre temas de Industria 4.0 el 67.7% dijo sí relacionarse con el tema mientras que 32.3% restante dijo que no. Con respecto al conocimiento sobre los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) el 64.5% de los expertos dijo si conocer del tema mientras que 35.5% dijo desconocerlo. Del mismo modo, del porcentaje que dijo conocer PRONACES el 72.7% aseguró conocer o haber trabajado con el PRONACES de Energía y Cambio Climático y 3 de los expertos mencionaron ser colaboradores de algún PRONACES.

Los expertos del sector académico fueron 13, de los cuales, el 61.5% dijo ser profesor y el 38.5% investigador. En la figura 5.5 se puede observar la relación de experiencia de las áreas académicas referentes al tema energético de los expertos del sector académico.

Figura 5.5
Áreas de experiencia del sector académico

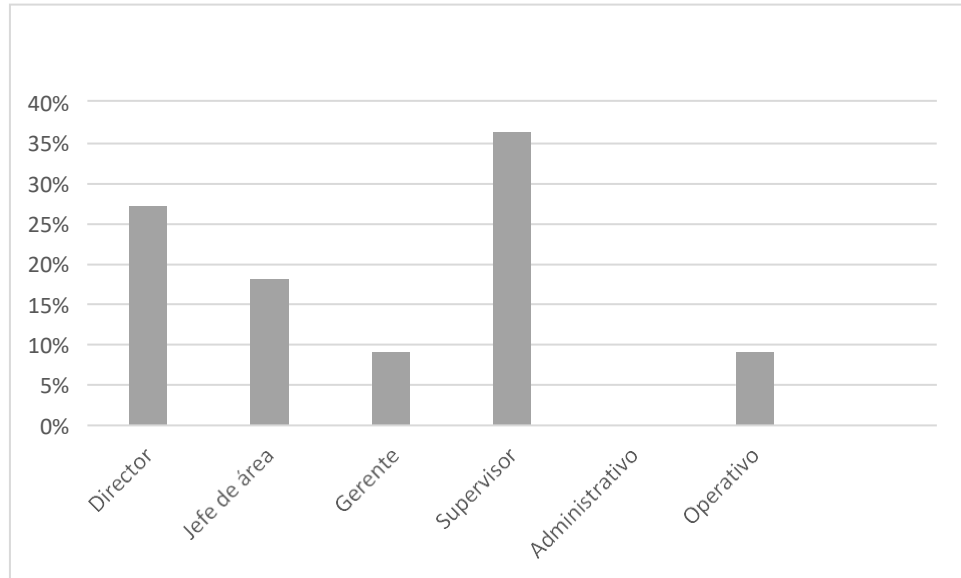


Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

El número de expertos participantes del sector privado dio como resultado 11 de los cuales el 72.7% dijo estar laborando directamente con temas energéticos mientras que, 27.3% dijo haber laborado con el tema en cuestión. En la figura 5.6 se puede observar el cargo o puesto de los expertos del sector privado.

Figura 5.6

Cargo/puesto donde se desempeña. Sector privado

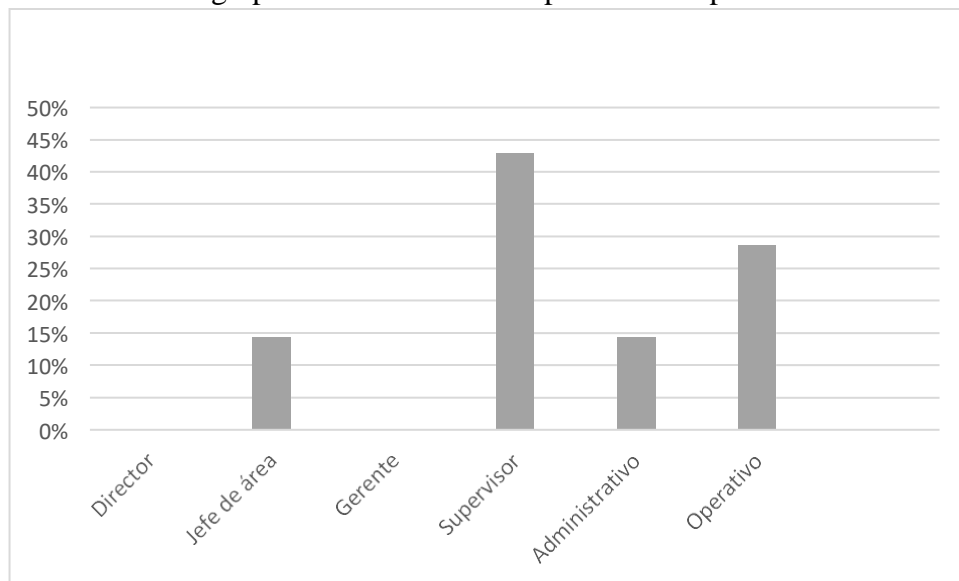


Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

En la figura 5.7 se puede observar que en cuanto al sector público estos fueron 7, de los cuales el 100% dijo desempeñarse en empresas referentes a temas energético siendo el cargo de supervisor el que ocupa el 42.9%.

Figura 5.7

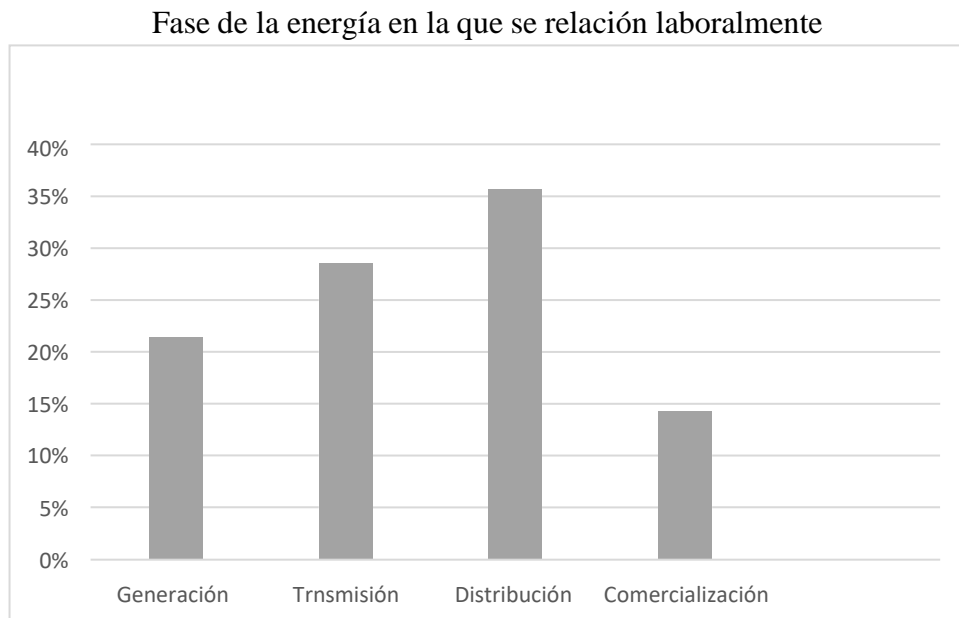
Cargo/puesto donde se desempeña. Sector público



Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

En cuanto a la fase del sistema eléctrico nacional en el que se desempeña laboralmente esta fue una preguntada general tanto para el sector público como el privado. Teniendo un total de respuestas de 18 expertos. En la figura 5.8 se observan los porcentajes a los que perteneces los expertos del sector público y privado dentro de las fases del sistema eléctrico nacional (generación, transmisión, distribución y consumo).

Figura 5.8



Fuente: Elaboración propia con base a datos recopilados

5.2 Tecnologías de la Industria 4.0 para la disminución de CO2

Una vez seleccionado el panel de expertos, se procedió a una revisión bibliográfica con el fin de alcanzar el objetivo dos de la presente investigación: analizar las tecnologías de la Industria 4.0 que pueden ayudar a disminuir o mitigar las emisiones de co2 en la energía, el resultado se presenta a continuación en la tabla 5.2.

Tabla 5.2

Tecnologías para la disminución de CO2

Autor	Tecnologías	Impacto
Comastri, (2017)	Cloud computing Internet de las Cosas	Uso óptimo energético e inteligente de recursos de infraestructura
Conde (2017)	Internet de las Cosas	Eficiencia Energética
Cosmatri (2017)	Impresión 3D	Proceso de captura y separación de Co2
Ojeda (2021)	Fuente renovables	Gestión y autogeneración

Fuente: Elaboración propia con base a autores

Con esta información se realiza la primera intervención con el panel de expertos seleccionados él envió detallado del trabajo investigativo, así como los tiempos y formas con el objeto de que conozcan el trabajo en cuestión y adquieran compromiso con este.

5.3 Proceso iterativo de cuestionarios

Después del primero contacto con el panel de expertos se envía el primer cuestionario virtual con la indicación de ser respondido con 5 premisas por cada participante. Iniciando con un breve recordatorio de los fines del proyecto de investigación y conceptos clave, se indica que la respuesta a este debe ser a través de la siguiente estructura: tecnología propuesta (tecnologías de la Industria 4.0) + acción o impacto + campo o área de aplicación (dentro de la estructura del sistema eléctrico nacional). Tras el envío de este primer cuestionario se dio un lapso de 2 semanas para que este sea respondido, sin embargo, los resultados en ese tiempo no fueron favorables, por lo que se dio semana y media de más. El resultado final para este primer cuestionario fue la respuesta de 13 actores del panel de expertos, se decide cerrar el cuestionario llegando a ese número, tomando en cuenta López (2018) quien cita a Landeta (1999) quien sugiere un numero de entre 7 y 30 participantes.

Las premisas recabadas del primer cuestionario dieron un total de 47, dado que no todos los expertos respondieron las 5 premisas solicitadas. Una vez teniendo la recepción de las 47 premisas se procedió a hacer un análisis de estas, donde aquellas que tuvieran el

mismo concepto o idea se fueran agrupando sin cambiar la esencia de las premisas establecidas por el panel de expertos. Tras el análisis de agrupación el número de premisas redujo a 29 siendo estas la que se presentan a continuación en la tabla 5.3. y que se envían en el cuestionario número dos, con el fin, de que los expertos respondan que tan de acuerdo o en desacuerdo están con las premisas que establecieron.

Tabla 5.3

Premisas agrupadas

<p>Premisa 1. La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 pueden ayudar a mejorar el control en la generación, transmisión y distribución del sistema eléctrico, minimizando las pérdidas energéticas y haciendo más eficiente el sistema.</p>	<p>Premisa 2. En el sector eléctrico es necesario implementar el uso de energías renovables como energías fotovoltaicas y eólicas destinadas para tal fin, pero desde un almacenamiento y control central a través de las comunicaciones o intercambio de información.</p>
<p>Premisa 3. La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en el consumo de los usuarios del sistema eléctrico nacional puede ayudar al intercambio de información puntual, para exigir un consumo más eficiente de la energía eléctrica provocando un gran impacto en la mejora de la red y generación.</p>	<p>Premisa 4. El uso de Big Data en países desarrollados contribuirá a una generación más eficiente de electricidad para responder a su demanda.</p>
<p>Premisa 5. El consumo de electricidad por parte de la gente común no se reducirá significativamente con el uso de las tecnologías de la Industria 4.0.</p>	<p>Premisa 6. El consumo de electricidad por parte de la industria se reducirá significativamente con el uso de las tecnologías de la Industria 4.0</p>
<p>Premisa 7. Al menos en el corto plazo, el sector de generación, transmisión o distribución eléctrica en México no se beneficiará de fuentes de energía renovables ni del uso de las tecnologías de la Industria 4.0</p>	<p>Premisa 8. En México, el internet de las cosas solo servirá para facilitar la ejecución de los pagos del consumo de electricidad.</p>
<p>Premisa 9. El uso de la simulación provee herramientas a la logística y a la distribución por carretera que puede ayudar a mitigar los efectos de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) generados por sus propias operaciones.</p>	<p>Premisa 10. El internet de las cosas permitirá la medición precisa de la huella de carbono generada por diversas industrias de la transformación y de servicios.</p>

Premisa 11. Los paneles solares con superconductores son una forma más limpia y eficiente de generar energía.

Premisa 12. La domótica con Inteligencia Artificial ayudará a eficientar el consumo de energía.

Premisa 13. Las tecnologías de la Industria 4.0 potencializaran la seguridad mediante la encriptación de información, seguridad de mega datos y ciberseguridad.

Premisa 14. La incorporación de las tecnologías de la Industria 4.0 en la generación de electricidad por medio de energías de fuentes renovables aumentara significativamente la eficiencia energética.

Premisa 15. Con el internet de las cosas se puede registrar información de los patrones de consumo eléctrico de los dispositivos domésticos, esta información puede emplearse para generar estrategias que sugieran hacer eficiente los hábitos de consumo de los usuarios.

Premisa 16. Con las tecnologías de la Industria 4.0 las empresas dedicadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos pueden monitorear los datos climáticos, así como los datos que proporcionan sus clientes (comportamientos de consumo) para realizar simulaciones mejor adaptadas a sus proyectos futuros desde el punto de vista del diseño técnico.

Premisa 17. La Industria 4.0 en el consumo eléctrico doméstico será de forma automática desde un dispositivo inteligente con conexión a internet el cual al interpretar variables eléctricas sugiera al usuario una revisión de la instalación.

Premisa 18. La generación de energía Eólico y Solar a través del uso de tecnologías de la industria 4.0 deberá poder participar en la regulación de Frecuencia como lo hacen las hidroeléctricas o termoeléctricas convencionales para poder maximizar todos sus beneficios.

Premisa 19. La transmisión de energía eléctrica tiene el reto de interconectar los continentes por medio del mar y en grandes distancias con líneas de transmisión submarinas, una buena práctica a este reto sería interconectar Yucatán con Cuba.

Premisa 20. La distribución de energía eléctrica en el futuro será más subterránea que aérea, por lo que desarrollar a través de la Industria 4.0 elementos que permitan identificar fallas en líneas subterráneas será fundamental en un futuro.

Premisa 21. El Big data se incorporará de forma importante para la toma de decisiones en el proceso de generación, transmisión y distribución de la energía.

Premisa 22. La simulación permitirá crear escenarios y determinar políticas para la generación de energía eléctrica.

Premisa 23. El internet de las cosas se integrará de forma más cotidiana a los equipos de consumo tanto industrial como comercial para el monitoreo de los hábitos de consumo.

Premisa 24. La ciberseguridad se reforzará en medida que los sistemas de generación y distribución eléctrica se incorporen a la red de manera cotidiana.

Premisa 25. El sector eléctrico general podría encaminarse a la generación de energía eléctrica a través de las fuentes renovables, principalmente la generación por fuente solar, apoyado de las tecnologías de la industria para la fabricación de alternativas más rentables que acerquen este tipo

Premisa 26. Las tecnologías de la Industria 4.0 apuntan al control y gestión de la distribución y medición del consumo eléctrico de hogares e industria.

de tecnología a la mayor parte de la gente.

Premisa 27. La robótica puede ser utilizada para la detección y respuesta ante contingencias de líneas de distribución entre centrales.

Premisa 28. Mediante tecnologías como el Big Data y el Internet de las Cosas se pueden reducir riesgos y costos de mantenimiento en las centrales termoeléctricas, disminuyendo a través de esto los índices de contaminación.

Premisa 29. Se debe dar más importancia a las comunidades rurales con alto grado de marginación, impulsando el uso de las tecnologías renovables en dichas comunidades.

Fuente: Elaboración propia con base a resultados

Posterior a que el panel de expertos da respuesta al segundo cuestionario, este se analiza de tal manera que, las premisas con la que los expertos estuvieron en mayor porcentaje de acuerdo se añaden al tercer cuestionario con la adición de las variables de la investigación (ver figura 5.9) mientras que, las premisas con las que estuvieron en mayor porcentaje en desacuerdo se descartan. El análisis se realizado de manera tal que, las premisas con las que estuvieron más del 32% de los expertos en desacuerdo se descartaron quedando un total de 24 premisas las cuales se presentan en la tabla 5.4.

Figura 5.9

Variables

Variable	Definición operacional
Tiempo	Tiempo en años en el que se verá la implementación de la industria 4.0 en el sector energético.
Porcentaje	Grado de aportación de la industria 4.0 al sector energético.
Fase	Área de impacto dentro de la estructura del sector eléctrico.
Ambiental	Objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO ₂

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.4
Premisas seleccionadas por el panel de expertos

<p>P1. La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 pueden ayudar a mejorar el control en la generación, transmisión y distribución del sistema eléctrico, minimizando las pérdidas energéticas y haciendo más eficiente el sistema.</p>	<p>P2. En el sector eléctrico es necesario implementar el uso de energías renovables como energías fotovoltaicas y eólicas destinadas para tal fin, pero desde un almacenamiento y control central a través de las comunicaciones o intercambio de información.</p>
<p>P3. La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en el consumo de los usuarios del sistema eléctrico nacional puede ayudar al intercambio de información puntual, para exigir un consumo más eficiente de la energía eléctrica provocando un gran impacto en la mejora de la red y generación.</p>	<p>P4. El uso de Big Data en países desarrollados contribuirá a una generación más eficiente de electricidad para responder a su demanda.</p>
<p>P5. El uso de la simulación provee herramientas a la logística y a la distribución por carretera que puede ayudar a mitigar los efectos de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) generados por sus propias operaciones.</p>	<p>P6. El internet de las cosas permitirá la medición precisa de la huella de carbono generada por diversas industrias de la transformación y de servicios.</p>
<p>P7. Los paneles solares con superconductores son una forma más limpia y eficiente de generar energía.</p>	<p>P8. La domótica con Inteligencia Artificial ayudará a eficientar el consumo de energía.</p>
<p>P9. Las tecnologías de la Industria 4.0 potencializaran la seguridad mediante la encriptación de información, seguridad de mega datos y ciberseguridad.</p>	<p>P10. La incorporación de las tecnologías de la Industria 4.0 en la generación de electricidad por medio de energías de fuentes renovables aumentara significativamente la eficiencia energética.</p>
<p>P11. Con el internet de las cosas se puede registrar información de los patrones de consumo eléctrico de los dispositivos domésticos, esta información puede emplearse para generar estrategias que sugieran hacer eficiente los hábitos de consumo de los usuarios.</p>	<p>P12. Con las tecnologías de la Industria 4.0 las empresas dedicadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos pueden monitorear los datos climáticos, así como los datos que proporcionan sus clientes (comportamientos de consumo) para realizar simulaciones mejor adaptadas a sus proyectos futuros desde el punto de vista del diseño técnico.</p>
<p>P13. La Industria 4.0 en el consumo eléctrico doméstico será de forma automática desde un dispositivo inteligente con conexión a internet el cual al interpretar variables eléctricas sugiera al usuario una revisión de la instalación.</p>	<p>P14. La generación de energía Eólico y Solar a través del uso de tecnologías de la Industria 4.0 deberá poder participar en la regulación de Frecuencia como lo hacen las hidroeléctricas o termoeléctricas convencionales para</p>

	poder maximizar todos sus beneficios.
P15. La distribución de energía eléctrica en el futuro será más subterránea que aérea, por lo que desarrollar a través de la Industria 4.0 elementos que permitan identificar fallas en líneas subterráneas será fundamental en un futuro.	P16. El Big data se incorporará de forma importante para la toma de decisiones en el proceso de generación, transmisión y distribución de la energía.
P17. La simulación permitirá crear escenarios y determinar políticas para la generación de energía eléctrica	P18. El internet de las cosas se integrará de forma más cotidiana a los equipos de consumo tanto industrial como comercial para el monitoreo de los hábitos de consumo.
P19. La ciberseguridad se reforzará en medida que los sistemas de generación y distribución eléctrica se incorporen a la red de manera cotidiana.	P20. El sector eléctrico general podría encaminarse a la generación de energía eléctrica a través de las fuentes renovables, principalmente la generación por fuente solar, apoyado de las tecnologías de la industria para la fabricación de alternativas más rentables que acerquen este tipo de tecnología a la mayor parte de la gente.
P21. Las tecnologías de la Industria 4.0 apuntan al control y gestión de la distribución y medición del consumo eléctrico de hogares e industria.	P22. La robótica puede ser utilizada para la detección y respuesta ante contingencias de líneas de distribución entre centrales.
P23. Mediante tecnologías como el Big Data y el Internet de las Cosas se pueden reducir riesgos y costos de mantenimiento en las centrales termoeléctricas, disminuyendo a través de esto los índices de contaminación.	P24. Se debe dar más importancia a las comunidades rurales con alto grado de marginación, impulsando el uso de las tecnologías renovables en dichas comunidades.

Fuente: Elaboración propia con base a resultados

5.4 Tecnologías que pueden contribuir con los objetivos del PRONACES

Para el análisis estadístico de resultados se hizo uso del software *IBM SPSS Statistics*, en donde los pasos a seguir fueron inicialmente la creación de una base de datos en Excel con los resultados del tercer y último cuestionario, para posteriormente poder transferirlos al software de manera codificada. De acuerdo con las variables se realiza la codificación de los datos, misma que se presenta a continuación en la tabla 5.5.

Tabla 5.5

Codificación de las variables

Tiempo T	Fase F	Porcentaje P	Objetivos PRONACES O	Tecnologías I 4.0 I
1 Antes del 2030	1 Generación	1 Entre 80-100%	O ₁ Ahorro y aprovechamiento energético	I ₁ Simulación I ₆ Computación en la nube
2 Entre 2025-2030	2 transmisión	2 Entre 50-80%	O ₂ Descarbonización gradual de uso y generación de energía	I ₂ Fabricación Aditiva I ₇ Robótica Colaborativa
3 Entre 2030-3035	3 Distribución	3 Entre 30-50%	O ₃ Transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones	I ₃ Sistemas de Integración I ₈ Internet de las Cosas
4 Después del 2035	4 Consumo	4 Entre 5-30%	O ₄ Generación y aprovechamiento sustentable de la energía	I ₄ Big Data I ₉ Ciberseguridad
5 Nunca		5 Nada		I ₅ Realidad Aumentada

Fuente: Elaboración propia

Como parte del segundo objetivo de la presente investigación se identificaron las tecnologías que pueden contribuir con los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de emisiones de CO² con apoyo del software *IBM SPSS Statistics* se realizaron tablas cruzadas de cada una de las tecnologías con la variable de los objetivos con el fin de saber cuáles fueron las tecnologías que los expertos señalaron para el cumplimiento de cada uno de los objetivos y la cantidad de expertos que coincidían con aquellas respuestas.

Los resultados arrojados por el software se analizaron a través de tablas que relacionan las 24 premisas con los cuatro objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO² para cada tecnología de la Industria 4.0, indicando el número de expertos que seleccionó dichas variables para cada premisa, en donde O1, O2, O3 Y O4 corresponden a cada objetivo:

O1= Ahorro y aprovechamiento energético

O2= Descarbonización gradual de uso y generación de energía

O3= Transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones

O4= Generación y aprovechamiento sustentable de la energía

A continuación, se presentan las tablas de resultados para la relación premisas/objetivos por cada tecnología, en donde cada tabla presenta el total de expertos que ha respondido de manera particular para cada premisa y objetivo de la misma manera el total de expertos que ha respondido de manera global para cada una de las tablas con relación a cada tecnología. Posteriormente se presenta una última tabla para este apartado con el concentrado de totales de cada una de las tablas para la relación objetivos/tecnologías, con el fin de identificar las tecnologías que han sido seleccionadas en mayor número de expertos para el cumplimiento de cada objetivo del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO².

Tabla 5.6

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Simulación

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	5	2	2	3	4	3	3	3	1	5	4	6	4	4	0	3	8	3	3	4	4	0	2	1	77
O2	3	4	0	0	4	3	3	0	1	4	5	5	4	3	1	1	0	1	0	4	1	1	4	0	52
O3	2	5	1	1	5	2	5	1	3	3	3	2	1	2	5	1	5	3	6	4	2	2	4	3	71
O4	1	5	0	2	4	1	4	1	1	6	2	5	4	3	5	2	8	3	4	3	3	1	2	2	72

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior, el puntaje mayor fue de 77 el cual indica que la tecnología Simulación tendrá mayor impacto en el objetivo 1: ahorro y

aprovechamiento energético, en donde 8 expertos indicaron la premisa 17 como la de mayor incidencia.

Tabla 5.7

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Fabricación Aditiva

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	1	2	1	0	0	0	3	2	0	1	1	0	0	1	0	2	1	1	1	3	1	0	0	1	22
O2	2	2	0	1	2	0	2	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	2	0	0	2	17
O3	0	2	0	0	1	0	1	2	0	1	1	0	0	1	2	1	0	1	1	2	1	1	0	2	20
O4	2	2	0	0	1	0	4	0	0	2	1	0	0	2	2	2	0	0	1	4	1	1	0	2	27

Fuente: Elaboración propia

Para la tecnología Fabricación Aditiva los resultados dieron un total de 27 puntos distribuidos en las 24 premisas, que seleccionaron el objetivo 4: generación y aprovechamiento sustentable de la energía.

Tabla 5.8

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Sistemas de Integración

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	7	3	6	5	4	5	5	2	1	6	3	5	5	4	1	4	3	3	2	7	5	0	4	6	96
O2	2	3	1	0	3	5	1	0	0	5	0	3	0	5	2	0	0	1	0	4	1	1	4	4	45
O3	2	5	4	3	4	2	2	1	2	3	2	2	1	3	8	1	2	3	2	5	3	4	2	7	73
O4	3	4	2	3	6	2	5	1	0	6	1	6	1	6	2	5	4	2	2	8	3	4	2	8	86

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el análisis el puntaje mayor para la tecnología Sistemas de Integración es un total de 96, indicando que esta tecnología podría ayudar al cumplimiento del del objetivo 1.

Tabla 5.9

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Big Data

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL	
O1	6	2	8	7	6	4	2	5	4	3	5	7	6	3	0	8	4	3	0	4	8	0	5	2	102	
O2	2	3	2	2	1	3	3	0	1	4	0	5	0	1	0	1	0	1	1	3	0	1	6	2	42	
O3	1	2	4	3	5	4	3	2	2	3	4	2	2	2	4	4	2	5	3	3	2	6	6	3	77	
O4	2	4	2	3	3	1	2	1	1	5	3	6	5	5	4	5	5	4	4	4	4	4	3	5	1	82

Fuente: Elaboración propia

El puntaje mayor para la tecnología Big Data fue de 102 puntos en el objetivo 1 en donde 8 expertos seleccionaron las premisas 3, 16 y 21 para el cumplimiento de este objetivo.

Tabla 5.10

Relación de resultados premisas/objetivos para la tecnología Realidad Aumentada

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	1	2	0	0	2	1	1	4	1	1	2	1	1	2	0	1	2	1	1	0	2	1	1	1	29
O2	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	0	1	2	1	11
O3	0	3	0	0	2	1	0	2	0	0	1	0	0	1	2	0	1	1	2	0	0	4	1	2	23
O4	0	2	0	0	1	2	1	0	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	0	2	2	0	0	27

Fuente: Elaboración propia

Para la tecnología Realidad Aumentada el mayor puntaje fue de 29 distribuidos en las 24 premisas del objetivo 1.

Tabla 5.11

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Computación en la Nube

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	3	1	2	4	2	3	1	3	2	3	2	5	4	2	0	3	2	1	1	2	3	0	0	0	49
O2	0	0	1	1	2	2	0	0	1	3	0	3	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	15
O3	1	1	2	3	3	4	0	2	0	1	3	2	3	1	3	3	2	3	2	1	1	0	0	0	41
O4	0	1	1	2	2	1	0	1	1	3	3	2	3	1	1	2	2	2	1	2	1	0	0	0	32

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados el puntaje mayor para la tecnología Computación en la Nube fue de 49 en el objetivo 1 distribuidos en el total de premisas.

Tabla 5.12

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Robótica Colaborativa

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	4	2	3	0	2	0	2	2	0	3	2	1	2	1	0	2	0	1	0	1	0	4	1	0	33
O2	2	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	3	1	16
O3	1	4	2	0	2	0	0	1	1	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	0	0	5	1	0	31
O4	3	3	1	0	1	0	2	0	0	4	2	1	2	2	1	2	1	1	0	1	0	1	0	0	28

Fuente: Elaboración propia

La tecnología Robótica Colaborativa obtuvo de acuerdo con los expertos un puntaje máximo de 33 en el objetivo 1.

Tabla 5.13

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Internet de las Cosas

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL	
O1	9	4	7	4	5	5	2	7	4	6	10	6	5	3	1	4	2	6	1	3	8	0	4	2	108	
O2	3	2	1	1	2	7	1	1	2	5	0	4	0	2	1	1	0	1	1	4	0	1	4	4	48	
O3	2	3	5	2	8	5	1	1	2	2	4	2	4	3	5	2	2	8	4	4	3	3	4	4	83	
O4	3	4	2	3	3	2	4	3	2	5	3	5	4	5	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	6	87

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la tecnología Internet de las Cosas el puntaje mayor fue de 108 en el objetivo 1 en donde 10 expertos seleccionaron la premisa 11 como la premisa en la que el Internet de las Cosas tendría más incidencia para el cumplimiento del objetivo 1.

Tabla 5.14

Relación de premisas/objetivos para la tecnología Ciberseguridad

	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20	P 21	P 22	P 23	P 24	TOTAL
O1	3	1	1	3	0	3	0	2	8	1	1	2	2	0	0	2	2	0	5	2	1	0	0	0	39
O2	0	1	0	0	0	2	1	1	2	2	0	2	0	2	0	1	0	1	1	2	0	1	3	1	23
O3	1	1	1	0	0	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	0	2	3	5	2	0	3	2	1	35
O4	0	1	0	3	0	1	0	1	3	2	1	1	2	1	2	1	3	2	5	2	1	1	1	1	35

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para la tecnología Ciberseguridad se obtuvo un puntaje mayor de 39 en el objetivo 1 en donde 8 expertos indicaron la premisa 8 para el alcance de este objetivo. A continuación, se presenta en la tabla 5.15 el concentrado de puntajes totales para cada tecnología con relación a los objetivos.

Tabla 5.15

Concentrado de totales tecnologías/objetivos

	Simulación	Fabricación Aditiva	Sistemas de Integración	Big Data	Realidad Aumentada	Computación en la Nube	Robótica Colaborativa	Internet de las Cosas	Ciberseguridad
O1	77	22	96	102	29	49	33	108	39
O2	52	17	45	42	11	15	16	48	23
O3	71	20	73	77	23	41	31	83	35
O4	72	27	86	82	27	32	28	87	35
Total	272	86	300	303	90	137	108	326	132

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla anterior las tecnologías que obtuvieron un mayor puntaje con respecto a los objetivos son el Internet de las Cosas, el Big Data y los Sistemas de Integración con puntajes de 326, 303 y 300 respectivamente. Este análisis indica que de acuerdo con los expertos en energía dentro del modelo de la triple hélice para el alcance de los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de emisiones de CO² será necesario hacer uso de las tecnologías de la Industria 4.0 tales como el Internet de las Cosas, Big Data y los Sistemas de Integración.

5.5 Análisis de las diferentes visiones del panel de expertos

De acuerdo con el objetivo específico tres de la presente investigación, se analizaron las diferentes visiones de los expertos para las tecnologías de la Industria 4.0, es decir, aquellas premisas que los expertos visualizan se presentaran en diferentes periodos de tiempo de acuerdo con la prospectiva tecnológica. Se presenta como resultado de este objetivo tablas de análisis de acuerdo a las 24 premisas que lo expertos entablar en el proceso iterativo de rondas de cuestionarios, estas tablas se encuentran con respecto a la

variable tiempo y en ellas se puede observar el número de premisa, la leyenda de la premisa y las variables que la componen; la fase dentro de la estructura de sistema eléctrico nacional, las tecnologías de la Industria 4.0 que contribuirán, el porcentaje de implementación que tendrá la Industria 4.0 y los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático que pueden llegar a ser alcanzados con estas visiones. Se realizó una tabla de relación de los periodos de tiempo y las premisas, indicando el número de expertos que las seleccionaron. Se presenta a continuación en la tabla 5.16.

Tabla 5.16
Relación de premisas y tiempo

	Antes del 2025	Entre 2025-2030	Entre 2030-2035	Después del 2035	Nunca
P1		8	5	2	
P2	1	4	8	2	
P3	1	3	7	4	
P4	4	3	6	2	
P5	2	3	4	6	
P6	2	5	2	6	
P7	4	3	7	1	
P8	3	5	4	3	
P9	3	5	2	5	
P10		7	5	3	
P11	2	6	3	3	1
P12	3	5	4	3	
P13	3	4	3	5	
P14	1	5	3	6	
P15		4	3	8	
P16	1	3	7	4	
P17	3	3	3	6	
P18	1	6	2	6	
P19	1	5	2	7	
P20	2	5	3	5	
P21		5	4	6	
P22		4	3	7	
P23	1	3	3	8	
P24		4	4	7	

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la anterior tabla el número de expertos que indicaron la temporalidad para cada premisa, el número sombreado se presenta como la cantidad mayor

de expertos en cada marco temporal para cada premisa, es decir; para la premisa 1, el mayor número de expertos fue 8 el cual indico un marco temporal entre el 2025 y 2030 para esta premisa. Como paso siguiente se realizó un concentrado de estos resultados seleccionados, mismos que se presenta en la tabla 5.17.

Tabla 5.17
Concentrado de resultados

	Entre 2025- 2030		Entre 2030- 2035		Después del 2035
P1	8	P2	8	P15	8
P10	7	P3	7	P23	8
P11	6	P7	7	P19	7
P18	6	P16	7	P22	7
P8	5	P4	6	P24	7
P9	5			P5	6
P12	5			P6	6
P20	5			P14	6
				P17	6
				P18	6
				P21	6
				P13	5
				P9	5
				P20	5

Fuente: elaboración propia

En la tabla 5.17 se puede observar los resultados mayores para cada premisa con respecto al tiempo, de igual manera se entiende que para los marcos temporales “antes del 2025” y “nunca” no se encontraron resultados relevantes por lo que estas opciones de tiempo se omiten, de la misma manera se examina que la premisas 9, 18 y 20 se repiten en los marcos temporales “entre 2025-2030” y “después del 2035” debido a que fueron seleccionadas por la misma cantidad de expertos para ambos periodos de tiempo. Una vez que las premisas quedaron seleccionadas de acuerdo con el marco temporal en orden de mayor a menor, con apoyo del SPSS se realizaron tablas como resultado de los visones de

los expertos para cada marco temporal, con las variables utilizadas en la presente investigación.

Tabla 5.18
Resultados entre 2025-2030

	PREMISA	FASE	TECNOLOGÍAS	PORCENTAJE	OBJETIVOS PRONACES
P1	La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 pueden ayudar a mejorar el control en la generación, transmisión y distribución del sistema eléctrico, minimizando las pérdidas energéticas y haciendo más eficiente el sistema.	Generación	-Sistemas de integración -Internet de las cosas	50-80%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P10	La incorporación de las tecnologías de la Industria 4.0 en la generación de electricidad por medio de energías de fuentes renovables aumentara significativamente la eficiencia energética.	Generación	-Simulación -Sistemas de integración -Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético -Generación y aprovechamiento sustentable de la energía
P11	Con el internet de las cosas se puede registrar información de los patrones de consumo eléctrico de los dispositivos domésticos, esta información puede emplearse para generar estrategias que sugieran hacer eficiente los hábitos de consumo de los usuarios.	Consumo	-Internet de las cosas	50-80%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P18	El internet de las cosas se integrará de forma más cotidiana a los equipos de consumo tanto industrial como comercial para el monitoreo de los hábitos de consumo.	Consumo	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Transición a modelo de ciudades sustentables y bajas en emisiones
P8	La domótica con Inteligencia Artificial ayudará a eficientar el consumo de energía.	Consumo	-Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P9	Las tecnologías de la Industria 4.0 potencializaran la seguridad mediante la encriptación de información, seguridad de mega datos y ciberseguridad.	Consumo	-Ciberseguridad	50-80%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P12	Con las tecnologías de la Industria 4.0 las empresas dedicadas a la instalación de sistemas fotovoltaicos pueden monitorear los datos climáticos, así como los datos que proporcionan sus clientes	Generación	-Simulación -Sistemas de integración	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético -Generación y aprovechamiento

	(comportamientos de consumo) para realizar simulaciones mejor adaptadas a sus proyectos futuros desde el punto de vista del diseño técnico.		-Big Data		sustentable de la energía
P20	El sector eléctrico general podría encaminarse a la generación de energía eléctrica a través de las fuentes renovables, principalmente la generación por fuente solar, apoyado de las tecnologías de la Industria para la fabricación de alternativas más rentables que acerquen este tipo de tecnología a la mayor parte de la gente.	Generación	-Sistemas de integración	30-50%	-Generación y aprovechamiento sustentable de la energía

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se puede observar que de acuerdo con el panel de expertos para el marco temporal 2025-2030 la premisa que más se visiona es la premisa 1, principalmente en la fase de generación y con apoyo de tecnologías de sistemas de integración e internet de las cosas, con un porcentaje de implementación entre 50 y 80% y teniendo un impacto en el objetivo de “ahorro y aprovechamiento energético” del PRONACES de Energía y Cambio Climático. En la misma tabla se puede observar que para las premisas del periodo de tiempo 2025-2035 estas se visualizan en las fases de generación y consumo, con tecnologías basadas principalmente en los Sistemas de Integración y el Internet de las Cosas con porcentajes de implementación que van del 30 al 50% y del 50 al 80%, en cuanto a los objetivos, los expertos indican que el ahorro y aprovechamiento energético sería el objetivo del PRONACES que más tendría impacto con el alcance de estas visiones.

Tabla 5.19

Resultados entre el 2030-2035

PREMISA	FASE	TECNOLOGÍAS	PORCENTAJE	OBJETIVOS PRONACES
P2 En el sector eléctrico es necesario implementar el uso de energías renovables como energías fotovoltaicas y eólicas destinadas para tal fin, pero desde un almacenamiento y control central a través de las comunicaciones o intercambio de información.	Generación	-Sistemas de integración	30-50%	-Generación y aprovechamiento sustentable de la energía
P3 La implementación de las tecnologías de la Industria 4.0 en el consumo de los usuarios del sistema eléctrico nacional puede ayudar al intercambio de información puntual, para exigir un consumo más eficiente de la energía eléctrica provocando un gran impacto en la mejora de la red y generación.	Consumo	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P7 Los paneles solares con superconductores son una forma más limpia y eficiente de generar energía.	Generación	-Sistemas de integración -Internet de las cosas	5-30%	-Generación y aprovechamiento sustentable de la energía
P16 El Big data se incorporará de forma importante para la toma de decisiones en el proceso de generación, transmisión y distribución de la energía.	Transmisión	-Big Data	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P4 El uso de Big Data en países desarrollados contribuirá a una generación más eficiente de electricidad para responder a su demanda.	Generación	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético

Fuente: Elaboración propia

Como resultado de la tabla 5.19 se obtiene que la premisa con mayor número de selección por parte del panel de expertos es la premisa 2, con un impacto en la fase de generación, haciendo uso de la tecnología de sistemas de integración con un porcentaje de implementación del 30 al 50% y promoviendo el objetivo de generación y aprovechamiento sustentable de la energía. De manera general se observa en el análisis que para este marco temporal la fase en la que las premisas tendrán mayor impacto será en la fase de generación, con la incorporación de tecnologías basadas principalmente en el Big Data y el

Internet de las Cosas y con un porcentaje de implementación del 30 al 50%, indicando que el objetivo que más tendrá impacto para estas visiones en el año 2030-2035 será el ahorro y aprovechamiento energético.

Tabla 5.20
Resultados después del 2035

PREMISA	FASE	TECNOLOGÍAS	PORCENTAJE	OBJETIVOS PRONACES
P15 La distribución de energía eléctrica en el futuro será más subterránea que aérea, por lo que desarrollar a través de la Industria 4.0 elementos que permitan identificar fallas en líneas subterráneas será fundamental en un futuro.	Distribución	-Sistemas de integración -Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético -Transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones
P23 Mediante tecnologías como el Big Data y el Internet de las Cosas se pueden reducir riesgos y costos de mantenimiento en las centrales termoeléctricas, disminuyendo a través de esto los índices de contaminación.	Generación	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	Descarbonización gradual del uso y generación de energía
P19 La ciberseguridad se reforzará en medida que los sistemas de generación y distribución eléctrica se incorporen a la red de manera cotidiana.	Generación	-Ciberseguridad	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético -Transición a modelo de ciudades sustentables y bajas en emisiones
P22 La robótica puede ser utilizada para la detección y respuesta ante contingencias de líneas de distribución entre centrales.	Distribución	-Robótica colaborativa	30-50%	-Transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones
P24 Se debe dar más importancia a las comunidades rurales con alto grado de marginación, impulsando el uso de las tecnologías renovables en dichas comunidades.	Consumo	-Sistemas de integración -Internet de las cosas	30-50%	-Generación y aprovechamiento sustentable de la energía
P5 El uso de la simulación provee herramientas a la logística y a la distribución por carretera que puede ayudar a mitigar los efectos de los GEI (Gases de Efecto Invernadero) generados por sus propias operaciones.	Generación	-Simulación -Sistemas de integración -Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Transición a modelo de ciudades sustentables y bajas en emisiones.

P6	El internet de las cosas permitirá la medición precisa de la huella de carbono generada por diversas industrias de la transformación y de servicios.	Consumo	-Sistemas de integración -Internet de las cosas	30-50%	-Descarbonización gradual del uso y generación de energía
P14	La generación de energía Eólico y Solar a través del uso de tecnologías de la Industria 4.0 deberá poder participar en la regulación de Frecuencia como lo hacen las hidroeléctricas o termoeléctricas convencionales para poder maximizar todos sus beneficios.	Generación	-Sistemas de integración	30-50%	-Generación y aprovechamiento sustentable de la energía
P17	La simulación permitirá crear escenarios y determinar políticas para la generación de energía eléctrica.	Generación	-Simulación -Big Data	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético -Generación y aprovechamiento sustentable de la energía
P18	El internet de las cosas se integrará de forma más cotidiana a los equipos de consumo tanto industrial como comercial para el monitoreo de los hábitos de consumo.	Consumo	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Transición a modelo de ciudades sustentables y bajas en emisiones
P21	Las tecnologías de la Industria 4.0 apuntan al control y gestión de la distribución y medición del consumo eléctrico de hogares e industria.	Distribución	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P13	La Industria 4.0 en el consumo eléctrico doméstico será de forma automática desde un dispositivo inteligente con conexión a internet el cual al interpretar variables eléctricas sugiera al usuario una revisión de la instalación.	Consumo	-Big Data -Internet de las cosas	30-50%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P9	Las tecnologías de la Industria 4.0 potencializaran la seguridad mediante la encriptación de información, seguridad de mega datos y ciberseguridad.	Consumo	-Ciberseguridad	50-80%	-Ahorro y aprovechamiento energético
P20	El sector eléctrico general podría encaminarse a la generación de energía eléctrica a través de las fuentes renovables, principalmente la generación por fuente solar, apoyado de las tecnologías de la industria para la fabricación de alternativas más rentables que acerquen este tipo de	Generación	-Sistemas de Integración -Internet de las Cosas	30-50%	-Generación y aprovechamiento sustentable de la energía

tecnología a la mayor parte de la gente.

Fuente: Elaboración propia

Como último análisis en cuanto al resultado de las visiones de los expertos se presentó la tabla 5.20 la cual enmarca el periodo después del año 2035, en esta se puede observar que la premisa que el panel de expertos selecciona en su mayoría es la premisa 15 con impacto en la fase de distribución y haciendo uso de tecnologías de Sistemas de Integración e Internet de las Cosas, pudiendo alcanzar un porcentaje de implementación del 30 al 50% y con ello alcanzando objetivos de ahorro y aprovechamiento energético y transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones. Se observa que de acuerdo con el panel de expertos la fase dentro de la estructura del sistema eléctrico nacional en el que más tendrán impacto estas premisas después del 2035 será en las fases de generación y consumo mientras que, las tecnologías de la Industria 4.0 que más visionan los expertos para el alcance de estas visiones son el Internet de las Cosas, el Big Data y los Sistemas de Integración en un porcentaje de implementación del 30 al 50% , para el cumplimiento principalmente de los objetivos del PRONACES de ahorro y aprovechamiento energético y generación y aprovechamiento sustentable de la energía.

5.6 Escenarios posible, probable y deseable

Como parte del último objetivo de la presente investigación se pretende entablar una construcción coherente a través de escenarios que puedan proporcionar la visión prospectiva probable, posible y deseable de la Industria 4.0 en los diferentes marcos temporales, para ello se presentan los criterios a considerar para la selección de cada escenario.

Para determinar el escenario posible se toma a consideración todas aquellas premisas en las que los expertos coinciden a partir de un 50%, entendiendo que el escenario posible está construido por todas aquellas premisas que los expertos creen que en su mayoría que puedan llegar a suceder sin importar si esas visiones coinciden o no con la teoría, por ende, se entiende que este es el escenario conformado por mayor número de premisas.

Escenario posible:

“La incorporación de las energías renovables será la principal fuente de generación de energía, con tecnologías basadas principalmente en el Internet de las Cosas, el Big Data y los Sistemas de integración la eficiencia energética en estas fuentes aumentará significativamente, ejemplo de ello es que se podrán visualizar superconductores en los sistemas fotovoltaicos. Por otra parte, con una menor presencia en la generación de energía las centrales termoeléctricas también tendrán avances tecnológicos a gran escala; la distribución será principalmente subterránea y la Ciberseguridad y la Robótica Colaborativa se reforzarán principalmente en estas líneas de distribución actuando de manera inmediata ante cualquier anomalía y minimizando las pérdidas energéticas”

El escenario probable es aquel escenario conformado por las premisas con más frecuencias que seas coincidentes con la retrospectiva teórica. En este caso siendo que son 15 expertos en el panel se considera del mismo modo a partir de un 50% en cuanto a las premisas, es decir 7 expertos.

Escenario probable:

“La eficiencia energética a través del ahorro, la generación y el aprovechamiento sustentable de la energía será notable, la toma de decisiones dentro del sistema eléctrico será a través del análisis de grandes cantidades de datos por medio del Big Data reduciendo significativamente los riesgos, los costos por mantenimiento y las pérdidas energéticas. Será favorecida la descentralización de la energía a través de tecnologías como el Big Data y el Internet de las Cosas proporcionando al usuario la elección del suministro de su fuente de energía de manera transparente a través de un intercambio de información precisa, con esto, las energías renovables serán potencializadas en sus áreas de almacenamiento y control, volviéndolas más eficientes y con la incorporación de la Ciberseguridad el fraude eléctrico será asunto del pasado”

En cuanto a la construcción del escenario deseable este se basa en las premisas seleccionadas en mayor número de expertos independiente a los resultados teóricos, teniendo entonces que, para la estructurara del escenario deseable se utilizan las principales premisas para cada marco temporal.

Escenario deseable:

“El Sistema eléctrico Nacional será transformado con tecnologías de la Industria 4.0 en sus cuatro fases; la generación, transmisión, distribución y consumo representaran con el apoyo de Sistemas de Integración, Internet de las Cosas y Big Data a gran escala la disminución de perdidas energética y la contaminación. Las energías renovables jugaran un papel muy importante en la generación de la energía principalmente la eólica y fotovoltaica, volviendo más eficientes sus áreas de control y almacenamiento”

6 CONCLUSIONES

La prospectiva es una manera de construcción del futuro a través del análisis de estudios retrospectivos y actuales en forma de consenso de grupos protagónicos de interés, no es una manera de adivinar el futuro, si no que busca la manera de abordarlo a través de una construcción de alternativas del futuro para poder incidir en él con las mejores decisiones. Este apartado presenta los hallazgos más notables que fueron descritos en el cuerpo del documento, de igual manera las limitaciones que se presentaron para el desarrollo de este.

La metodología Delphi utilizada en esta investigación contó con la participación de los principales actores en temas energéticos dentro del modelo de la triple hélice, en donde se pudo observar una mayor colaboración por parte del sector académico, mientras que, el sector público fue el menos participe. Se presentó como principal limitación el poco acceso por parte de los colaboradores de los sectores público y privado. No obstante, aun cuando el conocimiento previo sobre Industria 4.0 y PRONACES por parte del panel de expertos no fue un requerimiento, debido a que lo que se buscaba era su conocimiento y experiencia en el área energética, se observó que los expertos en el área energética en Yucatán en mayor cantidad conocen muy poco sobre estos temas o desconocen del mismo.

Aunque el tema de Industria 4.0 es un concepto relativamente nuevo, en el área eléctrica es un tema con gran potencial, los proyectos eléctricos que se realizan en distintas partes del mundo apuntan a tecnologías innovadoras principalmente basadas en el Internet de las Cosas y el Big Data con objetivos sobresalientes de eficientar sistemas, reducir costos y contribuir a la disminución de emisiones de CO². En cuanto a Yucatán y la Industria 4.0 los resultados obtenidos arrojaron que los Sistemas de Integración, el Big Data

y el Internet de las Cosas son las tecnologías que a gran escala pueden lograr efficientar el sistema eléctrico principalmente en las fases de generación y consumo coincidiendo con los hallazgos teóricos. Haciendo un recorrido por la estructura del PRONACES de Energía y Cambio Climático se puede apreciar que sus principales problemáticas se basan en impacto ambiental creciente, el declive de los combustibles fósiles y la inequidad energética, problemáticas que pretenden ser abarcadas con el alcance de diferentes objetivos. Para esta investigación se tomaron a consideración los objetivos del PRONACES de Energía y Cambio Climático referentes a la disminución de CO² obteniendo las siguientes conclusiones:

Objetivo 1: ahorro y aprovechamiento energético: se visualiza que el uso de las tecnologías de la Industria 4.0 como Internet de las Cosas, el Big Data y la Ciberseguridad pueden apoyar directamente este objetivo, volviendo más eficiente la fase de consumo, tanto su uso doméstico como en la industria, a través de desarrollos tecnológicos que permitan volver más seguro el sistema eléctrico.

Objetivo 2: descarbonización gradual de uso y generación de energía: en cuanto al objetivo número dos los expertos coinciden en que este se podría impulsar a través de la implementación de las tecnologías de Sistemas de Integración, Big Data e Internet de las cosas, principalmente en las termoeléctricas, donde su uso además de efficientar la fase generación estaría reduciendo considerablemente la contaminación. De la misma manera el uso de los Sistemas de Integración y el internet de las cosas pueden ayudar al cálculo preciso de la huella de carbono de las diferentes industrias.

Objetivo 3: transición a modelos de ciudades sustentables y bajas en emisiones: De acuerdo con el panel de expertos, tecnologías como la Robótica Colaborativa, la Ciberseguridad, la

Simulación, el Internet de las Cosas y el Big Data, pueden ayudar al alcance de este objetivo, potencializando los sistemas de distribución de la energía y monitoreando en tiempo real los consumos energéticos en la industria y el hogar con el objetivo de entablar nuevas regulaciones en cuanto a los hábitos de consumo.

Objetivo 4: generación y aprovechamiento sustentable de la energía: con la implementación de tecnologías como la Simulación, los Sistemas de Integración, el Internet de las Cosas y el Big Data, los expertos indican que la incorporación de fuentes renovables para la generación de energía maximizaría sus beneficios además que favorecería la descentralización de la energía, la transparencia en la gestión y comercialización de esta.

7 BIBLIOGRAFÍA

- ACAN. (2020). *Industria 4.0 tecnologías habilitadoras*. Recuperado de:
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Industria-40-Fabricando-el-Futuro.pdf>
- Alanís, A. (2020). *El ABCD de la planificación prospectiva*. Recuperado de:
http://pdf2.hegoa.efaber.net/entry/content/937/El_ABCD_de_la_planificaci_n_prospectiva.pdf
- Álvarez, N. (2019). *La industria 4.0 en México y el apoyo de los clústeres automotrices, A. C. para su desarrollo*. Congreso Internacional de Contaduría, Administración e Informática. Recuperado de:
<https://investigacion.fca.unam.mx/docs/memorias/2019/8.06.pdf>
- Atlas Mundial del Carbono. (2018). Recuperado de:
<https://www.fs.usda.gov/ccrc/tool/global-carbon-atlas>
- Aunión, J, Planelles, M, (2019). *Así se acumula en la atmosfera el principal gas de efecto invernadero que está causando la crisis climática*. El País. Recuperado de:
<https://elpais.com/especiales/2019/el-co2-en-el-cambio-climatico/>
- Best, R. (1974). *An experiment in Delphi estimation in marketing decision making*. Journal of Marketing Research
- Blanco, Frotodona, Poveda. (2017). *La Industria 4.0: El estado de la cuestión*. Economía industrial.
- Bolio. (2017). *Reducir CO², un beneficio directo de la Industria 4.0*. MILENIO.
Recuperado de: <https://www.milenio.com/negocios/reducir-co2-beneficio-directo-industria-4-0>

- Cardoso, Parra, Olivares, Martínez. (2020). *¿Qué es la industria 4.0? Definiendo el concepto*. TENCOTREND.
- Casalet, M. (201). *La digitalización industrial: un camino hacia la gobernanza colaborativa*. CEPAL.
- Castillo, Lavín, Pedraza. (2014). *La gestión de la triple hélice: fortaleciendo las relaciones entre la universidad, empresa y gobierno*. Revista de administración de empresas.
- Castro, L. (2020). *Desarrollan un mini hígado en 3D en 90 días*. 3Dnatives. Recuperado de: <https://www.3dnatives.com/es/desarrollan-mini-higado-impreso-en-3d-070120202/>
- Chang, H. (2010). *El modelo de la triple como un medio para la vinculación entre universidad y empresa*. Escuela de Ciencias de la Administración.
- Chen, D., Dahlman, C. (2004). *Knowledge and Development Across-Section Approach*. World Bank Institute, World Bank Policy Research Working paper 3366, 1-88.
Recuperado de:
<http://documents.worldbank.org/curated/en/681521468778205694/pdf/wps3366knowledge.pdf>.
- CONACYT. (2020). *Programa Nacional Estratégico sobre Transición Energética*.
Recuperado de:
https://conacyt.mx/wpcontent/uploads/convocatorias/fordecyt/fordecyt_2020-05/PRESENTACION_SESION_ACLARACIONES_2020-01-Energia.pdf
- CONACYT. (2020). *Sexto Informe del IPCC*. Recuperado de: https://conacyt.mx/wp-content/uploads/pronaces/energia_cambio_climatico/Infografia_IPCC_y_Pronaces_Energia_V2.pdf
- CONACYT. (2021). *Energía y Cambio Climático*. Recuperado de:
<https://conacyt.mx/evento/webinario-cientifico-conacyt-energia-distribuida/>

- CONUEE. (2020). *Plan anual de trabajo 2020*. Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Recuperado de:
https://www.conuee.gob.mx/transparencia/boletines/documentos/PAT2020_con%20Formato_V9Marzo20-1_formaatoyrevjlt_33.pdf
- Editorial Grudemi. (2020). *Segunda Revolución Industrial*. Recuperado de:
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- García, Lena. (2018). *Aplicación del método Delphi en el diseño de una investigación cuantitativa sobre el fenómeno FABLAB*. Revista de metodología de ciencias sociales.
- Garza, M. Hernández, N. Sánchez, D. (2010). *Modelo triple hélice: La vinculación PYMES de la industria meta mecánica con las Instituciones de Educación Superior y Organismos Gubernamentales*. XV Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Administrativas
- Gobierno de España. (2015). *España ratifica su compromiso contra la lucha del cambio climático*. Recuperado de: <https://www.dsn.gob.es/en/actualidad/sala-prensa/esp%C3%B1a-ratifica-su-compromiso-con-lucha-contra-cambio-climatico>
- Gonzales, T. (2009). *El modelo de la triple hélice de relaciones universidad, industria y gobierno: un análisis crítico*. AROBOR ciencia, pensamiento y cultura.
- Hallowell, M. Gambatese, J. (2010). *Qualitative Research: Application of the Delphi Method to CEM Research*. Journal of Construction Engineering & Management.
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista P. (2010). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.

- Hung, H. Altschuld, J. Lee, Y. (2008). *Methodological and conceptual issues confronting a cross-country Delphi study of educational program evaluation*. Evaluation and Program Plannin.
- INEGYCEI. (2019). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 2017*. INEGI. Recuperado de:
<https://www.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/780>
- Informe Especial del IPCC. (2018). *La captación y almacenamiento de Dióxido de Carbono*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.
- IPCC. (2022). *Sexto informe de evaluación del IPCC: Cambio Climático 2022*. ONU. Recuperado de: <https://www.unep.org/es/resources/informe/sexta-informe-de-evaluacion-del-ipcc-cambio-climatico-2022>
- Landeta, J. (1999). *El método Delphi: una técnica de previsión para la incertidumbre*. Barcelona: Ariel.
- López, E. (2018). *El método Delphi en la investigación actual en la educación: una revisión teórica y metodológica*. Educación XXI
- Ludwing, B. (1997). Predicting the future: Have you considered using the Delphi methodology? *Journal of Extension*.
- Luengo, M, Obeso, M. (2012). *El efecto de la triple hélice en los resultados de innovación*. Revista de Administración de Empresas.
- Martínez, E. (2003). *La Técnica Delphi como estrategia de consulta a los implicados en la evaluación de programas*. Revista de Investigación Educativa.
- Medina, J. Becerra, S. Castaño, P. (2014). *Prospectiva y política pública para el cambio estructural en América Latina y el Caribe*. CEPAL.

- Miklos, Tello. (2017). *Planeación prospectiva: una estrategia para el diseño del futuro*. LIMUSA.
- MinTIC. (2019). *Aspectos básicos de la industria 4.0*. República de Colombia.
- Naya, S. (2018). *Nuevo paradigma de Big Data en la era de la industria 4.0*. Recuperado de: <http://www.revistatog.com/num27/pdfs/editorial2.pdf>
- Novakowski, N. Wellar, B. (2008). *Using the Delphi technique in normative planning research: methodological design considerations*. Environmental and Planning.
- Ojea, L. (2021). EL ESPAÑOL. Recuperado de: <https://www.lespanol.com/autor/laura-ojea/14/>
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*. Recuperado de: <https://sdgs.un.org/es/goals/goal13>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>
- Ortega, A. (2018). *Enfoques de investigación: métodos para el diseño urbano-arquitectónico*. Recuperado de: https://clasev.com/pluginfile.php/21199/mod_resource/content/1/Enfoques%20de%20Investigaci%C3%B3n.pdf
- Peralta, Martínez, Enríquez. (2020). *Industria 4.0*. Invento, la génesis de la cultura universitaria. Recuperado de: <http://inventio.uaem.mx/index.php/inventio/article/view/45>
- Perasso, V. (2016). *¿Qué es la cuarta revolución industrial y porque debería preocuparnos?* BBC News Mundo.
- Pineda, M. (2020). *Aplicaciones de la robótica colaborativa para la industria automotriz*. *Modern Machine Shop México*. Recuperado de: <https://www.mms->

mexico.com/noticias/post/aplicaciones-de-la-robotica-colaborativa-para-la-industria-automotriz

Rivas, Oriol. (2017). *Tecnología 4.0: tecnologías innovadoras en el sector eléctrico*. Innovación tecnológica.

Rowe, G. Wright, G. (1999). *The Delphi technique as a forecasting tool: Issues and analysis*. International Journal of Forecasting.

Rubín, E. (2011). *Innovación y Cambio Climático*. Innovación. Perspectivas para el siglo XXI. Recuperado de: <https://www.bbvaopenmind.com/wp-content/uploads/2011/02/BBVA-OPenMind-Innovacion-y-cambio-climatico-Edward-S-Rubin.PDF.pdf>

Sampietro, J. (2020). *Transformación digital de la industria 4.0*. Polo del conocimiento.

Schwab, K. (2016). *La cuarta revolución industrial*. Penguin Random House Grupo Editorial.

Sánchez, A. (2019). *Ciberseguridad en la industria 4.0*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/handle/10251/127274>

Santander, Universidades. (2020). *Aplicaciones del Big Data que revolucionaran el futuro*. Recuperado de: <https://www.becas-santander.com/es/blog/principales-aplicaciones-big-data.html>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2021). Recuperado de: <https://www.gob.mx/semarnat>

Sukhodolov, Y.A. (2019). *The Notion, essence, and peculiarities of industry 4.0 as a sphere of industry*. Industry 4.0: industrial revolution of the 21st century.

- Tecnológico de Monterrey. (2021). *Industria 4.0: fundamentos y alcances en el sistema eléctrico*. Recuperado de: <https://tec.mx/es/exatec/cursos/industria-40-fundamentos-y-alcances-en-el-sistema-electrico>
- UNAM (2018) *Los Datos el “Petróleo” del Siglo XXI*. Boletín UNAM-DGCS.795.
Recuperado de: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2018_795.html
- Valdivielso, A. (2020). *¿Qué es el Cambio Climático?* IAGUA. Recuperado de:
<https://www.iagua.es/respuestas/que-es-cambio-climatico>
- Viale, R. Chiglione, B. (1998). *El modelo de triple hélice: una herramienta para el estudio de los sistemas socioeconómicos regionales europeos*. VLEX. Recuperado de:
<https://vlex.es/vid/triple-helice-socioeconomicos-regionales-117510>
- Villas, T. (2006). *La primera revolución industrial*. Boletín de la Manguera Académica de Ciencias
- Yzar, Aguilar, Bocarando, Acosta. (2017). *Implicaciones de la industria 4.0 en el trabajo y la competencia del capital humano*. Revista de tecnología e innovación.