



**Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo**  
**Facultad de Economía "Vasco de Quiroga"**  
**División de Estudios de Posgrado**

**Escenarios de variabilidad climática. Los procesos de eficiencia energética en el consumo de energía eléctrica de la agroindustria de *berries* en Michoacán, México.**

**T E S I S**

**P R E S E N T A**

**Mayra Estela Aguirre Guzmán**

*Para obtener el grado de*

***Doctor (a) en Desarrollo y Sustentabilidad***

Director de Tesis

**Dr. Hugo Amador Herrera Torres**

Morelia, Michoacán, septiembre 2023.

# Dedicatoria

Dedico con todo mi amor mi trabajo de tesis, a mi hijo César Emilio Tamayo Aguirre, quien es mi más grande fuente de amor e inspiración para ser cada día una mejor persona.

Gracias Emilio por todo tu amor, paciencia y comprensión para que realizara este proyecto que tu sabías que me llenaba el corazón, gracias por creer en mí y sacrificar tiempo juntos para que yo lograra este anhelado grado académico.

Mamá te ama con todo su corazón, nunca lo olvides.

# Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) que, de la mano con la Facultad de Economía de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, generan alianzas que permiten la formación académica continua de estudiantes y profesionistas en el país.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Hugo Amador Herrera Torres, quien en todo momento atendió mis solicitudes de apoyo y asesorías, a su vez, ha sido un ser humano que ha motivado profundamente mi trabajo académico, pues en todo momento me incentivo a dar lo mejor de mi como estudiante y como profesionista.

También mi más grande agradecimiento a mis sinodales: Dra. Katia Beatriz Villafán Vidales, Dra. Hilda Rosalba Guerrero García Rojas, Dr. René Colín Martínez y Dr. Carlos Francisco Ortiz Paniagua, por su invaluable apoyo en todo momento en cada una de las etapas que implicó la elaboración de la presente tesis, y sobre todo por brindarme la confianza y accesibilidad para en todo momento atender mis dudas.

Agradezco infinitamente a mis padres y hermano, quienes en cada paso y desde muy pequeña apoyaron mis estudios, a pesar de las condiciones económicas complicadas por las cuales atravesamos como familia. Sin su amor, impulso y apoyo incondicional, nada de esto sería posible.

Con mucho amor quiero agradecer a mi esposo, César Enoc Tamayo Herrera, por brindarme todo su respaldo y apoyo incondicional para lograr este grado académico, además de recorrer este camino a mi lado con mucho amor y cariño, motivándome y creyendo en mi en todo momento, incluso cuando ni yo misma lo hacía, gracias por todo amor de mi vida.

# Resumen

El objetivo de la presente tesis es determinar en qué grado los procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica, contribuyen en la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera en la agroindustria de *berries* en Michoacán, México. Para tal objetivo se emplearon dos metodologías: con la primera se realizaron escenarios de variabilidad climática (tanto de temperatura como de precipitación) para posibles escenarios a futuro en el corto y mediano plazo, esto con dos escenarios posibles, un RCP 4.5 (estabilizador) y un RCP 8.5 (catastrófico) y la segunda herramienta fue el software LEAP (Low Emissions Analysis Platform), el cual permitió analizar los consumos de energía eléctrica de las agroindustrias de *berries* con un posible escenario a futuro, implementando procesos de eficiencia energética al consumo de energía eléctrica de las mismas. Los resultados obtenidos indican que, la implementación de procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica de las agroindustrias de *berries* en Michoacán, influyen de manera significativa en la disminución de consumo de electricidad y de emisiones de GEI, por lo tanto, estas empresas agroindustriales si pueden contribuir con el problema de cambio climático existente.

**Palabras clave:** electricidad, cambio climático, producciones sostenibles, cadenas agroalimentarias, LEAP.

# Abstract

The objective of this thesis is to determine to what degree the energy efficiency processes applied to the consumption of electrical energy contribute to the reduction of GHG emissions into the atmosphere in the berry agroindustry in Michoacán, Mexico. For this purpose, two methodologies were used: with the first, climate variability scenarios (both temperature and precipitation) were carried out for possible future scenarios in the short and medium term, this with two possible scenarios, an RCP 4.5 (stabilizer) and an RCP 8.5 (catastrophic) and the second tool was the LEAP (Low Emissions Analysis Platform) software, which made it possible to analyze the electricity consumption of the berry agro-industries with a possible future scenario, implementing energy efficiency processes for the consumption of electrical power from them. The results obtained indicate that the implementation of energy efficiency processes applied to the consumption of electrical energy of the berry agro-industries in Michoacán, significantly influence the reduction of electricity consumption and greenhouse gas emissions, therefore, these agro-industrial companies can contribute to the existing climate change problem.

# Índice General

Resumen .....	3
Abstract.....	4
Índice de figuras .....	7
Índice de tablas .....	8
Siglas y abreviaturas.....	10
Introducción.....	12
CAPÍTULO I. Ecoeficiencia y producciones sostenibles .....	19
1.1 Introducción .....	19
1.2 Capacidad de carga .....	20
1.3 Economía en estado estacionario .....	22
1.5 Huellas y mochilas ecológicas.....	26
1.6 PIB verde .....	28
1.7 Ecoeficiencia.....	31
1.8 Hacia una producción más sostenible .....	33
CAPÍTULO II. Eficiencia energética y cambio climático .....	36
2.1 Introducción .....	36
2.2 Ecoeficiencia a nivel empresarial e industrial .....	36
2.2.1 Indicadores de ecoeficiencia .....	38
2.2.2 Eficiencia energética .....	41
2.2.3 Eficiencia energética en el consumo de electricidad.....	43
2.3 Cambio climático y escenarios de variabilidad climática.....	45
2.3.1 Cambio climático y energía.....	45
2.3.2 Escenarios de variabilidad climática .....	49
CAPÍTULO III. Producción de <i>berries</i> , cadenas agroalimentarias y agroindustria .....	54
3.1 Introduccion .....	54
3.2 Producción de <i>berries</i> en el estado de Michoacán.....	55
3.2.1 Arándanos.....	55
3.2.2 Frambuesa .....	56

3.2.3 Fresa .....	58
3.2.4 Zarzamora.....	59
3.3 Cadenas agroalimentarias .....	60
3.3.1 Fase de almacenamiento.....	62
3.3.2 Fase de procesamiento .....	63
3.4 Características del sector agroindustrial .....	64
3.4.1 Uso eficiente de la energía en los procesos agroindustriales .....	66
3.4.2 Proceso agroindustrial de <i>berries</i> en el estado de Michoacán .....	67
3.4.3 Consumo de energía eléctrica en la agroindustria.....	69
CAPÍTULO IV. Marco metodológico.....	71
4.1 Introducción .....	71
4.2 Construcción de escenarios de variabilidad climática .....	72
4.2.1 Herramienta Qgis .....	74
4.2.2 Excel, como herramienta de análisis de datos.....	74
4.3 Construcción de escenarios de eficiencia energética a través de LEAP.....	75
CAPÍTULO V. Resultados .....	77
5.1 Introduccion .....	77
5.2 Escenarios de variabilidad climática para el estado de Michoacán .....	77
5.2.1 Temperatura .....	78
5.2.2 Precipitación.....	84
5.3 Escenarios de eficiencia en el consumo de energía eléctrica de las agroindustrias de <i>berries</i> en el estado de Michoacán, México.....	90
5.3.1 Procesamiento de información con el software LEAP.....	92
5.3.2 Emisiones .....	96
5.4 Discusión de resultados.....	98
Conclusiones.....	102
Fuentes de referencia .....	107

# Índice de figuras

<b>Figura 1</b> Ventas internas de energía eléctrica por sector tarifario (porcentaje, GWh).....	14
<b>Figura 2</b> Pilares de la ecoeficiencia. ....	31
<b>Figura 3</b> Volumen de producción de arándano a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.....	55
<b>Figura 4</b> Volumen de producción de frambuesa a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.....	57
<b>Figura 5</b> Volumen de producción de fresas a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.....	58
<b>Figura 6</b> Volumen de producción de zarzamora a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.....	59
<b>Figura 7</b> Cadena agroalimentaria y sus actores. ....	61
<b>Figura 8</b> Clasificación de la agroindustria.....	65
<b>Figura 9</b> Proceso agroindustrial de <i>berries</i> .....	67
<b>Figura 10</b> Distribución del consumo de energía eléctrica por fases de producción. ....	70
<b>Figura 11</b> Mapas de temperatura media histórica en el periodo 1950-200, respecto a las proyecciones de temperatura media en un corto plazo (2015-2039) con el modelo CNRMCM5 RCP 4.5 Y 8.5 en el mes de julio en Michoacán, México.....	80
<b>Figura 12</b> Mapas de temperatura media histórica en el periodo de 1950-2000, respecto a la proyección de temperatura media a un futuro medio (2045-2069), con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5 en el mes de mayo, en el estado de Michoacán, México.....	83
<b>Figura 13</b> Mapas de variabilidad de precipitaciones históricas en el periodo de 1950-2000, respecto a la proyección a un corto plazo (2015-2039) con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5 en el mes de julio, en el estado de Michoacán, México.....	86
<b>Figura 14</b> Mapas de variabilidad de precipitaciones históricas en el periodo de 1950-2000, respecto a la proyección con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 Y 8.5, a un futuro medio (2045-2069) en el mes de agosto, en Michoacán, México. ....	89
<b>Figura 15</b> Empresas agroindustriales de <i>berries</i> situadas en el estado de Michoacán, México, con los consumos de energía eléctrica más elevados en el año 2014.....	91

<b>Figura 16</b> Representación de la distribución general tentativa de áreas de una agroindustria de <i>berries</i> en el estado de Michoacán, México. ....	92
<b>Figura 17</b> Gráfica del consumo existente y eficiente en MWh, de las 80 agroindustrias de <i>berries</i> del estado de Michoacán, México, en un periodo del 2014 a 2040. ....	94
<b>Figura 18</b> Consumo de energía eléctrica existente por área en MWh, de las 80 agroindustrias de <i>berries</i> del estado de Michoacán, México, proyectado hacia el 2040. ....	95
<b>Figura 19</b> Consumo de energía eléctrica eficiente por área en MWh, de las 80 agroindustrias de <i>berries</i> del estado de Michoacán, México, proyectado hacia el 2040. ....	95
<b>Figura 20</b> Consumo de energía eléctrica existente y eficiente en MWh, proyectada hacia el año 2040, de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México. ....	96
<b>Figura 21</b> Resultado de emisiones en toneladas métricas del consumo de energía eléctrica existente y eficiente por área, proyectada hacia el año 2040, de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México. ....	98

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Indicadores de influencia ambiental para consumo de energía eléctrica y emisiones al ambiente.....	40
<b>Tabla 2</b> Resultados de la variabilidad de temperatura bajo el modelo de simulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5, en un corto plazo, en el estado de Michoacán, México. ....	78
<b>Tabla 3</b> Resultados de la variabilidad de temperatura bajo el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5, a un futuro medio, en el estado de Michoacán, México. ....	81
<b>Tabla 4</b> Resultados de la variabilidad en precipitaciones con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5, en el corto periodo (2015-2039), para el estado de Michoacán, México.....	84
<b>Tabla 5</b> Resultados de la variabilidad en precipitaciones con el modelo CNRMCM5 RCP 4.5 Y 8.5, a un futuro medio (2045-2069), para el estado de Michoacán, México.....	87

**Tabla 6** Resultados obtenidos a través de LEAP, sobre los consumos reales y con eficiencia en MWH, de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México.

..... 93

**Tabla 7** Resultado de emisiones en toneladas métricas, derivadas del consumo existente y eficiente de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México.

..... 97

# Siglas y abreviaturas

CEMDS	Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CH <sub>4</sub>	Metano
CMNUCC	Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CNUMAD	Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
FIDE	Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IDH	Índice de Desarrollo Humano
INDC	Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
IPCC	Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
LEAP	Low Emissions Analysis Platform
MWH	Megawatts-hora
NO <sub>x</sub>	Óxido de nitrógeno
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PIB	Producto Interno Bruto
PINE	Producto Interno Neto Ecológico
PJ	Petajoules
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
QGIS	Sistema de Información Geográfica de software libre y de código abierto
RCP	Trayectorias de Concentración Representativas
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SENER	Secretaría de Energía

SIAP            Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera  
SMN            Servicio Meteorológico Nacional

# Introducción

Con base en el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2013), el calentamiento global del planeta es inequívoco y este aumento acelerado de la temperatura obedece principalmente a las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles, las cuales incrementan las concentraciones en la atmósfera, de los principales gases que producen el efecto invernadero, tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), entre otros más.

De acuerdo con Molina, Sarukhán y Carabias (2017), existen además de los componentes naturales propios de nuestro planeta, tres factores atribuidos al ser humano que han generado la variabilidad del sistema climático global: el primero se atribuye al crecimiento poblacional, el segundo a la demanda de energía y recursos que cada habitante del planeta demanda y el tercero al desarrollo económico industrial del mundo moderno (Molina, Sarukhán y Carabias, 2017). El análisis de los autores detona en reconocer que, si bien es cierto que la transformación y uso de la energía para generar nuevos estándares en la sociedad ha traído consigo beneficios en cuanto a una mejor calidad de vida, también el sistema económico prevaleciente ha implicado un alto costo ecológico, ya que prevalece el uso de energía que en su mayoría depende de la quema de combustibles fósiles.

Las actividades humanas han provocado un calentamiento global de 1°C (con un rango probable de 0.8°C a 1.2°C) sobre el nivel preindustrial. Se estima, con un alto grado de confianza, que el calentamiento global llegue a 1.5°C entre 2030 y 2052 (IPCC, 2013). El IPCC advierte que, con un aumento de la temperatura media de la superficie mayor a 1°C, los impactos y riesgos debidos al cambio climático serán severos, aumentando con ello los riesgos de desastres ocasionados por eventos meteorológicos extremos. (IPCC, 2018). Estos impactos y riesgos asociados al cambio climático afectaran a todos y cada uno de los sectores de la economía, uno de los cuales sería el sector agrícola.

Aproximadamente el 21% de la población del estado de Michoacán se emplea directamente del sector primario, el cual representa un porcentaje significativo de habitantes con vocación agrícola y forestal para la entidad (Ortíz, Zamora, y Bonales, 2018). Para Michoacán y sus

regiones agrícolas, el cambio climático representa una amenaza, lo que combinado con un alto índice de vulnerabilidad para algunos municipios propicia riesgos al cambio climático, poniendo en riesgo también los componentes que conforman a esta cadena productiva (Ortíz, Zamora, y Bonales, 2018). De acuerdo con los últimos datos del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en su informe del año 2022, Michoacán está considerado como líder en la producción de *berries*, especialmente ocupa los primeros lugares en cuanto al cultivo de zarzamora y fresa.

Para el presente trabajo, es importante identificar la cadena agroalimentaria que agrupa a la producción de *berries* en el estado, el hecho de que Michoacán obtenga los primeros lugares de producción de estas frutillas y de contar con la climatología idónea para el óptimo cultivo de las mismas, coloca a la entidad como un foco de atención para una diversidad de actores que conforman el sistema agroalimentario de las *berries*, entre estos actores destacan las empresas agroindustriales, a través de las cuales se realiza la conserva, procesamiento, distribución y exportación de estos cultivos. Las cadenas agroalimentarias funcionan a través de diferentes etapas, pero es importante resaltar que las acciones y decisiones que se toman en cada una de ellas influye y repercute en todas las demás (La Gra, Kitinoja y Alpizar 2016).

Una de las formas en que la cadena agroalimentaria de *berries* contribuye al cambio climático es a través del consumo de energía eléctrica en la agroindustria. Con base en Embid y Martín (2017), la producción de energía eléctrica y de calor contribuye con el 27% al total de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmósfera. La producción de energía eléctrica es necesaria para casi todos los procesos de la actividad humana, aplica en este caso para la actividad agrícola, al estar inmersa en los sistemas de riego, pero es importante resaltar que los consumos más altos de energía eléctrica se presentan cuando la producción agrícola se transforma a través de la agroindustria.

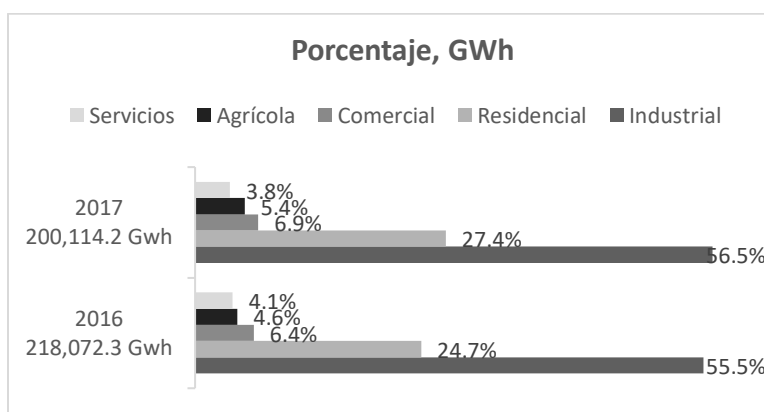
Según datos de la Delegación SADER Michoacán (2018), la producción agroindustrial en la entidad se centra en la molienda de granos y la conservación de frutas, estas actividades equivalen al 55% de los trabajos agrícolas, por lo tanto, coloca a Michoacán en el cuarto lugar de esta práctica, resaltando que la mayor producción en cuanto a frutas y hortalizas se comercializa en fresco.

En cuanto a la producción agroindustrial en la entidad, que en su mayoría se comercializa en fresco, destacan el grupo de frutillas denominadas *berries*, las cuales posicionan a Michoacán en los primeros lugares como entidad productora y exportadora de fresa, zarzamora, frambuesa y arándanos, en consecuencia, toma relevancia para su estudio diversos aspectos de tipo económico, social y ambiental que conlleva el proceso agroindustrial de *berries* en el estado.

El proceso agroindustrial de *berries* implica un determinado consumo de energía eléctrica el cual se concentra principalmente en tres aspectos centrales: su maquinaria de procesamiento, su equipo de refrigeración y congelación y la iluminación de sus diversas áreas que la componen. El consumo intensivo de energía eléctrica para sus procesos, coloca a las agroindustrias de *berries* entre las tarifas que denomina Comisión Federal de Electricidad (CFE) como de alto consumo las cuales son: HM<sup>1</sup> y OM<sup>2</sup> que corresponden a una gran demanda en media tensión.

Es importante mencionar que las tarifas que corresponden al sector industrial en general en México, concentran el mayor porcentaje de ventas de los últimos años, como lo muestra la figura 1, dada su alta demanda de energía eléctrica para los procesos de producción de sus productos y servicios (SENER, 2018).

**Figura 1** Ventas internas de energía eléctrica por sector tarifario (porcentaje, GWh).



Nota: prospectiva del sector eléctrico 2018-2032 (SENER, 2018).

<sup>1</sup> La tarifa HM es de uso general para cargas mayores a 100kW. En media tensión (Entre 1 y 35 kV).

<sup>2</sup> La tarifa OM es de uso general para una carga menor a 100kW, en media tensión (entre 1 y 35 kV).

A su vez, la SENER (2018) indica que un poco más del 50% de la producción de energía eléctrica en México es derivada de combustibles fósiles, los cuales son altamente contaminantes. A nivel industrial y derivado de la alta demanda de consumo de energía eléctrica que se requiere en sus procesos, surge una alternativa de mitigación denominada eficiencia energética, que tiene como finalidad seguir con los patrones de producción e industrialización actuales pero un costo ambiental más bajo.

De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (AIE), la eficiencia energética es un concepto que permite administrar y restringir el consumo energético, realizando lo mismo, pero con menos impacto ambiental (Ortiz et al., 2017). Con esta idea, es que se considera a la eficiencia energética como una alternativa para los procesos realizados a nivel industrial y los cuales son altamente demandantes de energía, además de ser aplicable desde el lado de oferta como la demanda, esto sin poner en riesgo los niveles de producción deseados e incluso con mejoras en la seguridad del suministro de energía (Poveda, 2007).

México ha establecido importantes compromisos a nivel mundial para enfrentar los retos del cambio climático y la eficiencia energética, también cabe destacar que fue uno de los primeros países en desarrollo en plantear sus Contribuciones Previstas y Determinadas a Nivel Nacional (INDC), hacia el año 2030 las cuales son (FIDE, 2018):

- Reducción de 50% de emisiones contaminantes con respecto a las generadas en el año 2000.
- Un 25% menos de emisiones de compuestos de efecto invernadero.
- De cada cien fuentes de energía, 43 serán limpias, además de comprometerse a promover el uso doméstico de calentadores y celdas solares.

En este sentido, se asume que los procesos de eficiencia energética pueden considerarse como alternativa de mitigación ante el cambio climático y que con la reducción de emisiones de GEI a la atmósfera se puede lograr o vislumbrar una mayor estabilidad en la variabilidad climática del planeta. Derivado de lo anterior, es que se realiza el planteamiento de la pregunta, objetivo e hipótesis generales que guían a la presente tesis:

Pregunta general: ¿En qué grado los procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica, contribuyen a la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera en la agroindustria de *berries* en Michoacán, México?

Objetivo general: Determinar en qué grado los procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica, contribuyen en la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera en la agroindustria de *berries* en Michoacán, México.

Objetivos específicos:<sup>3</sup>

1. Establecer escenarios de variabilidad climática en el corto y mediano plazo para Michoacán, México.
2. Diseñar escenarios de eficiencia energética considerando el actual consumo de energía eléctrica de las agroindustrias de *berries* de Michoacán, México.

Hipótesis general: Los procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica en la agroindustria de *berries* en Michoacán México, contribuyen significativamente en la disminución de sus emisiones de GEI que de manera indirecta se arrojan a la atmósfera por consumo de electricidad.

La presente tesis implica el trabajo efectuado durante cuatro años, por lo que la información obtenida está representada en cada uno de los apartados que conforman a la misma. En el capítulo I, se explora seis corrientes que brindan aportes teóricos para lograr economías con producciones sostenibles, estos conceptos son: capacidad de carga, economía en estado estacionario, ecoespacio, huellas y mochilas ecológicas, PIB verde y finalmente ecoeficiencia, en la cual se realiza un mayor énfasis dado que será el concepto teórico que soporta a la presente tesis.

Después, en el capítulo II, se profundiza en el concepto, las implicaciones y las medidas de eficiencia energética, donde la definición que rige a esta idea es la de “hacer más con menos”. Dentro de este mismo apartado se aborda el tema de cambio climático, su relación con el

---

<sup>3</sup> En este apartado, se establecieron objetivos de acción para poder atender el objetivo general.

sistema energético y la importancia que tienen los escenarios de variabilidad climática para en el estudio del aumento de temperatura del planeta.

En el capítulo III, se esboza el panorama que guarda la producción de *berries* en el estado de Michoacán y a nivel nacional con los datos que proporciona los informes del SIAP, en el periodo 2015-2021, además se presenta el tema de cadenas agroalimentarias, el cual permite identificar a los diferentes actores para cada una de las fases que la conforman, así como las actividades que realizan y el papel que juegan dentro de la misma para llegar a un mismo fin, este tema es importante ya que, permite identificar la fase, los actores y la actividad que son el objeto de estudio de la presente tesis.

El capítulo IV corresponde a la metodología que se decidió implementar para lograr el objetivo de la presente investigación, la primera tiene que ver con la construcción de escenarios de variabilidad climática; aquí se consideran dos escenarios de referencia, el RCP 4.5 (estabilizador) y el RCP 8.5 (catastrófico), hacia un horizonte de corto y otro de mediano plazo. El periodo base lo proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el cual abarca del año 1960 a 2000. La segunda metodología utilizada es el software LEAP (Low Emissions Analysis Platform), que tiene como finalidad realizar un escenario a futuro del consumo de energía eléctrica de las agroindustrias de la entidad aplicando medidas de eficiencia energética en sus procesos.

El capítulo V muestra los resultados obtenidos de las herramientas metodológicas empleadas para la presente tesis. Se realizaron los escenarios de variabilidad climática, tanto de temperatura como de precipitación, para el estado de Michoacán, en un corto y mediana plazo a futuro; se presenta un escenario estabilizador y uno catastrófico a través de tablas de datos y la elaboración de mapas como herramienta visual de las posibles variaciones climáticas que podría experimentar la entidad.

Con el software LEAP, se utilizaron los consumos de energía eléctrica de 80 empresas agroindustriales de *berries* situadas en Michoacán, lo que permitió elaborar un escenario a futuro considerando el incremento anual probable de consumo de energía eléctrica y a su vez el supuesto de la aplicación de procesos de eficiencia energética, estos datos permitieron también el cálculo de las emisiones de GEI con las que contribuyen estas empresas y lo que dejarían de emitir en caso de hacer uso de procesos de eficiencia energética. Finalmente, con

los resultados obtenidos en el capítulo V y la investigación realizada en los apartados anteriores, se elaboró la sección de conclusiones, la cual, recopila sustancialmente las ideas principales de la investigación, así como el análisis de las mismas.

# CAPÍTULO I. Ecoeficiencia y producciones sostenibles

## 1.1 Introducción

De acuerdo con Van Bellen (2002), el concepto de desarrollo sostenible considera los aspectos relacionados con las dimensiones social, ecológica y económica, así como con los recursos vivos y no vivos y las ventajas a corto y largo plazo de acciones alternativas, si bien es cierto que el concepto tiene un enfoque de integridad ambiental, este a su vez posee el elemento humano, por lo que se logra un equilibrio entre las tres dimensiones. Del mismo modo, Albuquerque et al. (2013), destaca que uno de los principales requisitos que demanda el mercado para poder reconocer que el desempeño de una empresa es sostenible radica en lograr el equilibrio entre estas tres dimensiones.

La dimensión ambiental a nivel empresarial deber abordarse desde la escasez de los recursos y el aprovechamiento racional de los mismos en sus procesos productivos; la dimensión social tiene que ver con principios de justicia, dignidad humana y compromiso hacia la sociedad que permita la oportunidad de riqueza para todos; y la dimensión económica, la cual sigue con el interés de generar valor económico pero ahora con visión de sostenibilidad que pueda ser redituable económicamente (Chaihuaque, 2019).

En esta dirección es que se hace necesario examinar en un mismo análisis todas y cada una de las propuestas que, de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), han guiado a las economías industriales hacia patrones de producción y consumo más sostenibles, estos conceptos son: capacidad de carga, el crecimiento estacionario, ecoespacio, la huella y la mochila ecológica, el PIB verde y la ecoeficiencia (Gutiérrez y González, 2010).

Cada uno de estos conceptos se apoya en un conjunto específico de supuestos, ofrece reflexiones y se enfrenta a desafíos particulares para el diseño de políticas y su aplicación (Gutiérrez y González, 2010). El presente capítulo abarca algunos de los conceptos y aportes teóricos que han venido guiando a las economías industriales, esto con la finalidad de ir

orientándolas hacia formas y patrones de producción y consumo más sostenibles (OCDE, 1997).

## **1.2 Capacidad de carga**

Con base en Gutiérrez y González (2010), el concepto de capacidad de carga se considera cuantitativo y surge en la ciencia de la biología, haciendo referencia a la población de una especie que un ecosistema puede soportar para seguir siendo sostenible. A su vez, Álvarez (2010) menciona que este concepto se utilizó inicialmente en el manejo de la vida silvestre, al precisar la cantidad máxima de animales que podían pastorear una determinada área sin dañar el suelo o la generación de pasto.

Por su parte, Pedersen (2002), retoma el concepto, pero ahora enfocado al ser humano, donde establece que la capacidad de carga tiene que ver con cuantas personas pueden estar en un sitio en concreto, sin alterar su medio ambiente. A su vez, este autor establece tres dimensiones que puede abarcar el concepto de capacidad de carga:

- Capacidad de carga ecológica: esta dimensión apunta a los impactos que trae consigo la actividad turística hacia los recursos naturales existentes de una determinada área o territorio.
- Capacidad de carga física: la dimensión física alude al espacio disponible, así como la infraestructura necesaria para un determinado número de visitantes en alguna área específica.
- Capacidad de carga social: esta dimensión abarca aspectos psicológicos y socioculturales y va enfocada con la experiencia recreativa y la satisfacción de los usuarios de determinado territorio.

Una definición similar del concepto de Pedersen, es el concepto atribuido por el Servicio Forestal de EE.UU. (U.S. Forest Service), el cual lo estableció para calcular el número de personas que pueden usar un sitio natural, esto sin alterar sus características nativas (Álvarez, 2010). Mientras que, Cifuentes (1992) plantea el concepto de capacidad de carga como una herramienta de sostenibilidad para sitios o áreas muy precisas, que estará sujeta a la toma de

decisiones y presiones de tipo social, económico y político, por lo tanto, el buen manejo de esta herramienta podría llegar a ser adulterado o viciado.

Al igual que Pedersen (2002), López y López (2008), retoman los componentes básicos del concepto de capacidad de carga, pero con un enfoque hacia sitios o áreas turísticas, estos autores también mencionan que las dimensiones del concepto de capacidad de carga son físicos, sociales y ambientales, pero agregan uno más y es el componente económico. Por su parte, López y López (2008), desarrollan y contribuyen al concepto de capacidad de carga turística con siete dimensiones que vienen a reclasificar a las ya establecidas, las cuales son: capacidad de carga ecológica, urbanística, cultural, económica, institucional, psicológica del residente y psicológica del turista.

Otra contribución importante para este concepto, es la metodología que presenta Cifuentes (1992), para determinar la capacidad de carga real de un determinado sitio y el mayor de los enfoques que se le ha dado a esta metodología es hacia lugares turísticos. El planteamiento de Cifuentes es, considerar tres niveles de capacidad de carga, los cuales son: capacidad de carga física, capacidad de carga real y capacidad de carga efectiva, donde: “La capacidad de carga física será el tope máximo de visitas que puede realizarse a un determinado sitio, la capacidad de carga real representará el límite máximo de visitas determinado para un sitio luego de someterlo a factores de corrección y la capacidad de carga efectiva corresponderá al límite de visitas que se pueden permitir dada la capacidad de carga del lugar para guardar un adecuado manejo y orden de las mismas” (Cifuentes, 1992, p. 13,15,22).

Una relación importante que se hace con el concepto de capacidad de carga en la Segunda Estrategia Mundial para la Conservación (UICN-PNUMA-WWF, 1991), es respecto a alcanzar la sostenibilidad, apunta a lograr un equilibrio entre el nivel de recursos que demanda la población humana respecto a la capacidad de carga del planeta Tierra. Por su parte, Pérez (2007) señala que el concepto de capacidad de carga se considera uno de los más influyentes en cuanto a la formulación de políticas públicas de tipo ambiental.

El concepto de capacidad de carga, con sus inicios en la biología, ha evolucionado de manera significativa dentro de sus tres dimensiones esenciales: la ambiental, la social y la económica. Ámbitos que, a su vez, son propios de los pilares que conforman el concepto de la

sostenibilidad, en ambos sentidos, tanto para el concepto de capacidad de carga como para el de la sostenibilidad, se busca lograr el equilibrio entre vida humana y recursos naturales.

A través de esta herramienta se intuye que los problemas ambientales actuales son consecuencia de haber sobrepasado la capacidad de carga del planeta, como herramienta este concepto tiene la ventaja de poder dar cuenta de ello, con la finalidad de lograr un desarrollo más sostenible. De acuerdo con la literatura, la aplicación del mismo se encuentra centrado en su mayoría, en el sector turístico, para determinar la cantidad de visitantes, infraestructura y espacio óptimos para no alterar el entorno natural y su capacidad de regeneración, lo cual, al no considerarse desencadena alteraciones en el espacio ambiental y natural contribuyendo así al problema de cambio climático existente.

### **1.3 Economía en estado estacionario**

El impulsor del concepto de economía en estado estacionario es Herman Daly, quien la define como “aquella economía que debe mantener constantes dos magnitudes físicas básicas: la población humana y el stock de riqueza física. Dado que el stock de riqueza física es una extensión del ser humano, la economía en estado estacionario puede considerarse como una continuación lógica de la noción demográfica de una población estacionaria, que no solo incluye a los humanos sino también su extensión física múltiple “(Daly, 1991, p. 16).

De acuerdo con Daly, es necesario considerar al planeta Tierra en su conjunto como algo que se encuentra en un “estado estacionario”, donde tanto su superficie y su masa permanecen constantes, al igual que la cantidad de energía radiante que entra en la Tierra es equivalente a la que sale de ella y donde la importación de materiales del espacio es a su vez, prácticamente equivalente a la exportación. Daly, enfatiza que, el concepto de economía en estado estacionario, no quiere decir que la Tierra mantenga un carácter estático, si no que, el concepto va enfocado a cambios de orden cualitativo (Daly, 2012).

Un ejemplo de este tipo de cambios que Daly menciona, es el enorme crecimiento de la economía la cual, plantea como un subsistema, respecto a su sistema que es la ecosfera. Este cambio, Daly menciona que es de enormes dimensiones, que implica pasar de un mundo vacío a otro lleno, a su vez destaca, que cuanto más se aproxime la economía a la escala de

la Tierra en su conjunto, más tendrá que adaptarse a su comportamiento físico, donde este comportamiento es de “estado estacionario”, es decir, se trata de un sistema que permite que se produzca un desarrollo cualitativo, pero no un crecimiento cuantitativo agregado (Daly, 2012).

En un trabajo en conjunto, Daly, Urquidí y de la Peña (1974), establecen tres principios que ayudan a comprender de mejor manera en que consiste una economía en estado estacionario, estos tres principios están basados sobre las especulaciones que los autores realizan de como deberían ser las instituciones dentro de una economía. El primero, habla de la necesidad de un control social que implique “un mínimo de libertad personal para proporcionar macroestabilidad mientras se permite la microvariabilidad y así combinar la macroestática con la microdinámica”; el segundo, hace referencia al concepto de capacidad de carga, lo cual, implica mantener un determinado número de población que sea soportable para el stock de recursos disponibles; el tercer principio tiene que ver con iniciar una transición a partir de las condiciones actuales en la que se encuentra la economía; el último y cuarto principio, menciona que las restricciones que se apliquen deben hacerse de manera gradual, con la finalidad de extenderse cuanto más sea necesario (Daly, Urquidí y de la Peña, 1974)

Con estos principios, los autores vuelven a realizar un énfasis de que el objetivo debe ser alcanzar un desarrollo cualitativo y poner un alto al crecimiento cuantitativo. A su vez para hacer validos los cuatro principios antes señalados, estos autores resaltan la necesidad de establecer instituciones, por lo tanto mencionan que se necesita “1) una institución para la estabilización de la población; 2) una institución para estabilizar la riqueza física y para mantener consumo por debajo de los límites ecológicos, y 3) una institución que limite el grado de desigualdad en la distribución de los acervos constantes entre la población constante, dado que el crecimiento no sirve más, como solución a la pobreza” (Daly, Urquidí y de la Peña, 1974, p. 363)

Con estos principios y la propuesta de instituciones es que se puede comprender de mejor forma el concepto de economía en estado estacionario. De acuerdo con el análisis de Gutiérrez y González (2010), este concepto tiene una serie de implicaciones de tipo económico, social, tecnológico y jurídicas, por tal motivo, los autores enfatizan en que el concepto no debe ser ignorado, también realizan un énfasis en no realizar una interpretación

equivocada del concepto, ya que, el pensamiento hacia esta propuesta suele asumirse como una estrategia que mantiene la desigualdad existente y limita el crecimiento de países en desarrollo.

En un sentido amplio, la economía en estado estacionario implica que la economía actual mantenga un arduo control desde principios éticos y ecológicos, lo cual implica, una severa vigilancia de la población humana en cuanto a su reproducción y hacia el uso y manejo de los recursos disponibles. A su vez, adentrarse a este concepto implica descubrir rigurosidad en su aplicación, pero también flexibilidad a los principios e instituciones que se proponen, el objetivo final de este pensamiento es lograr un nuevo modelo para el manejo de la economía en el mundo, que permita existencia armónica entre la vida humana y los recursos naturales.

Bajo una visión de economía en estado estacionario, y poniendo como ejemplo el sector eléctrico de México, donde más del 50% de la producción de energía eléctrica es a través de quema de combustibles fósiles, serían excelentes normas regulatorias e instituciones nacionales e internacionales que exigieran e instruyan hacia una descarbonización de dicho sector y por lo tanto lograr una verdadera transición energética

#### **1.4 Ecoespacio o espacio ambiental**

Algunas de las difusiones del pensamiento de Ecoespacio o espacio ambiental surge con Opschoor (1994), quien explica este concepto como un espacio cuyos límites están representados por conductas de uso ambiental, esto en términos de stock de los recursos disponibles, la calidad ambiental y las tasas de extracción. La definición concreta que brinda el autor, es que, un espacio ambiental “es un lugar geométrico con todas las combinaciones factibles de servicios ambientales que representan estados estacionarios en términos de niveles de calidad ambiental relevante y existencia de recursos renovables” (Opschoor, 1994, p. 3).

Por su parte, Correa y Cruz (2013) señalan que este concepto puede ser usado para representar el origen y la expansión del actual daño medioambiental, así como la identificación de sus causantes, resaltando así, la inequidad de los niveles de consumo entre

países ricos y pobres. A su vez, Correa y Cruz definen ecoespacio o espacio ambiental como “la capacidad de un espacio disponible para el uso y desecho de recursos, así como para su propia regeneración y absorción, cuyos límites son determinados por los patrones y los niveles de la actividad económica (utilización)” (Correa y Cruz, 2013, p. 217).

Bajo la perspectiva de Gutiérrez y González (2010), el ecoespacio equivale a la cantidad de recursos naturales que pueden ser aprovechados, pero que no deben sobrepasar su propia capacidad de carga y tampoco comprometer la posibilidad de que las generaciones futuras puedan disponer de esa misma cantidad de recursos naturales, por lo tanto, el énfasis de los autores en este concepto, es que la dimensión de un espacio ambiental mantiene una estrecha relación con la noción de límites y de control, que pueden establecerse a nivel local, nacional o global.

Una relación interesante que realizan Gutiérrez y González (2010), es la conexión del concepto de ecoespacio con el de justicia ambiental, porque, el principio de justicia ambiental establece que cada individuo cuenta con el derecho de tener acceso a la misma extensión de espacio ambiental, prevaleciendo así en el concepto de justicia ambiental, el principio de equidad de manera intra e intergeneracional, procurando a su vez, que el bienestar del que gozan países desarrollados no se construya por encima del sacrificio de los países pobres (Gutiérrez y González, 2010).

Al respecto y siguiendo con el concepto de justicia ambiental, Correa y Cruz (2013) mencionan, que la justicia ambiental aporta las bases para la distribución de derechos en cuanto a consumir y contaminar, jugando así un papel crucial el concepto de equidad, donde cada persona tendría el mismo derecho a un determinado ecoespacio, de tal forma que, por un lado, si alguien utiliza recursos o contamina más allá de lo que le corresponde, deberá resarcir el daño ocasionado, por el otro, en el caso que una persona no utilice todo lo que le corresponde de ecoespacio, podrá comerciarlo.

Otra vinculación interesante que realizan Correa y Cruz (2013), es cuando establecen que la noción de ecoespacio llega para perfeccionar al concepto de capacidad de carga, al considerar que la población utiliza el ambiente a diferentes grados e intensidades, por lo tanto, los países y sus sociedades pueden elegir vivir más allá de su ecoespacio, aceptando y considerando la

degradación ambiental o bien, expandir su ecoespacio pero mediante el uso de la eficiencia tecnológica y la reestructuración de los patrones de producción y consumo.

En este sentido, al concepto de espacio ambiental se encuentra orientado a procurar una distribución más equitativa del ecoespacio mundial, estableciendo “pisos básicos” de dignidad para todas las personas, por debajo del cual la vida se vuelve insostenible, así como un “techo máximo” que se determina dividiendo el espacio ambiental de un determinado territorio entre el número de sus habitantes (Gutiérrez y González, 2010).

El concepto de ecoespacio o espacio ambiental llega, como lo establecen algunos autores, para perfeccionar conceptos de equidad, justicia y capacidad de carga, con la única finalidad de lograr el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y no seguir agravando los problemas ambientales existentes. El detonante más fuerte del concepto de ecoespacio, es cuando se relaciona con justicia y equidad, al realizar el vínculo del uso y consumo extremadamente desigual de los recursos por parte de países ricos respecto a los países pobres.

Otro vínculo interesante es el que se da en el sector agrícola cuando se generan cultivos altamente demandantes y redituables por sus niveles de comercialización y exportación, y donde los recursos naturales, por ejemplo, el agua, son destinados prioritariamente a los mismos, generándose así relaciones desiguales para los productores agrícolas.

### **1.5 Huellas y mochilas ecológicas**

El concepto de huella ecológica es un indicador diseñado por William Rees y Malthis Wackernagel desde el año de 1990. Wackernagel y Rees, definen a la huella ecológica como “una herramienta contable que permite estimar los requerimientos en términos de consumo de recursos y asimilación de desechos de una determinada población o economía, expresados en áreas productivas” (Wackernagel y Rees, 2001, p. 26).

Para Gutiérrez y González (2010), la huella ecológica funciona bajo un criterio de planeta finito, calculándose por unidad de superficie necesaria para producir alimentos, construir infraestructura y la absorción de GEI, donde el punto de partida es que, el planeta posee 1.7 hectáreas de biocapacidad para cada uno de los más de seis millones de habitantes en el

mundo, pero dado que el promedio global es de 2.8 hectáreas, se puede afirmar que se ha sobrepasado la capacidad planetaria en más del 60%, esto en términos de consumo de recursos y la producción de residuos.

El cálculo de la huella ecológica aporta en un solo dato, el efecto que puede generar el ser humano sobre los recursos naturales, tomando en cuenta tanto el consumo como los residuos generados, a su vez, es una herramienta que permite identificar la inequidad social en cuanto al grado de apropiación de los recursos naturales, así como los niveles de dependencia que puede alcanzar una sociedad respecto a los ecosistemas y su entorno (Tobasura, 2008).

En cuanto al empleo de este concepto como instrumento de cálculo, lo que se realiza es “la estimación de la superficie necesaria para satisfacer los consumos asociados con: la alimentación, los productos forestales, el gasto energético y la ocupación directa del territorio; la composición de esta herramienta está dada por seis usos exclusivos de la superficie bioproductiva, los cuales son: cultivos, pastos, bosques, mar productivo, terreno construido y espacio público y área de absorción de CO<sub>2</sub>” (Tobasura, 2008, p. 122).

Cuando se habla del cálculo de la huella ecológica, esta puede ser específicamente referente al estilo de vida de cada persona. Pérez (2007), en su libro “Los Derechos de la Sustentabilidad”, habla de las necesidades humanas y como estas llegan a estar determinadas por el entorno, la autora las divide en necesidades que permiten posibilitar el desarrollo humano y otras que son creadas artificialmente propias del sistema de producción que prevalece, de tal forma que, esto da cuenta de la gran desigualdad global que existe, donde hay países y personas con huellas ecológicas muy grandes a costa de otros que no cuentan con lo indispensable para vivir.

La ventaja de la huella ecológica para entender la apropiación humana, está en aprovechar la habilidad para hacer comparaciones, en este sentido, el cálculo de la huella ecológica, pretende facilitar a una población un instrumento de sensibilización ambiental, como un indicador de las políticas hacia la sustentabilidad que se puedan desarrollar en ámbitos como el energético, el forestal o el de la conservación de la biodiversidad (Martínez, 2007).

En el caso del concepto de mochila ecológica, fue propuesto por el investigador alemán Friedrich Schmidt-Bleek en el año de 1994, quien al respecto estima que, “para mantenerse dentro de los límites de la biosfera con un desarrollo sostenible y equitativo tanto en el Norte como del Sur, las sociedades industriales necesitan desmaterializarse en un factor 10, es decir, obtener un nivel equivalente de bienes y servicios con un consumo de energía y materiales diez veces menor” (Riechmann, 2005, p. 15).

Con base en Aragão (2003), la mochila ecológica representa la cantidad de materiales necesarios para elaborar un determinado producto o servicio, este concepto representa la cantidad, expresada en kilos, de los recursos naturales que se tuvieron que desplazar físicamente para la elaboración, mantenimiento y uso de un determinado bien. El ejemplo que brinda el autor en términos numéricos es que, si un periódico pesa menos de medio kilo tiene una mochila ecológica de 10 kilos.

La cantidad de materiales necesarios para un determinado producto o servicio, se contabiliza tanto de manera directa como indirecta, en cuanto a su embalaje, operación o uso, mantenimiento, infraestructura, construcción y destrucción, así una vez teniendo el cálculo correspondiente es importante que los resultados se presenten de forma separada, bajo cinco categorías que son: materias primas abióticas (no renovables), materias primas bióticas (renovables), suelo (agricultura y silvicultura), agua y aire, según correspondan (Spangenberg et al., 1999).

En general, la herramienta de la mochila ecológica funciona para todo el ciclo de vida de un determinado producto o servicio, abarcando cada uno de los componentes materiales que intervinieron desde la extracción de los insumos, hasta los desechos descargados como resultado del uso del bien o servicio, por lo tanto, como herramienta de cálculo y como indicador resulta ser un instrumento completo y útil.

## **1.6 PIB verde**

El concepto de PIB verde tiene su origen en el año 1992, en la Conferencia de la Naciones sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, que se llevó a cabo en Rio de Janeiro, Brasil. La noción del PIB verde surge gracias al reconocimiento de que indicadores como el producto

interno bruto (PIB) o el índice de desarrollo humano (IDH) no miden la totalidad de la riqueza de un país, dejando de lado, la disminución y degradación del medio ambiente (Mora, 2017).

De acuerdo con Albuquerque et al. (2013), el PIB verde es un instrumento que permite contabilizar los recursos naturales al mismo tiempo que se calcula el producto interno bruto, el cual, de manera convencional, mide la riqueza de un país en relación solo a su producción, por lo tanto, el aporte del PIB verde radica en considerar no solo la producción de una nación si no también sus pérdidas ambientales.

El reconocimiento de la insuficiencia del PIB convencional como indicador, es derivado de una serie de críticas expuestas, que de acuerdo con Gutiérrez y González (2010) son:

- El PIB no integra los beneficios y costos sociales como producto de los procesos económicos, tales como: agotamiento de los recursos naturales, contaminación y otras formas de degradación ambiental y de la integridad de los ecosistemas.
- El PIB no incluye la forma en que se encuentra distribuida la riqueza que se genera en un país, por lo tanto, este indicador no da cuenta de los problemas de desigualdad social y el reparto del ingreso nacional.
- Como último punto, los cambios que experimenta el PIB, tales como incrementos, no siempre significan mejoras en la calidad de vida de la población, esto derivado de que no registra el tipo de bienes o servicios que están implicados en las actividades económicas.

En el caso específico del tercer punto, donde se menciona que los cambios que llega a experimentar el PIB pueden atribuirse como señales de bienestar en la sociedad, Pérez (2007), reafirma que se debe tener cuidado al momento de la toma de decisiones a nivel gubernamental y empresarial, ya que, si solo se utiliza la herramienta del PIB para tal acción, se pueden generar una serie de confusiones, así como denotar en señales engañosas a la población de un país en cuanto a su crecimiento y bienestar social. De este modo, los sistemas de cuentas ambientales y los indicadores verdes han ido cobrando fuerza como medidas prácticas para mediar las presiones ambientales, el estado de los recursos naturales y del medio ambiente, y las respuestas que la sociedad está generando para prevenir, mitigar y resolver la “deuda ecológica” existente (Gutiérrez y González, 2010).

Considerando estas críticas que surgen en torno al PIB, la propuesta de un PIB verde aparece con la finalidad de poder conocer y reconocer el grado de agotamiento de los recursos naturales dentro de la producción de bienes y servicios, por tal motivo y con esta contribución, el PIB verde se introduce en el Sistema de Cuentas Nacionales, a partir de entonces, la contabilidad inicia a ser cada vez más valorada (Albuquerque et al., 2013).

El PIB verde está integrado como un indicador de la economía verde, que, con base en Albuquerque et al. (2013) propone la baja producción de emisiones de carbono, la eficiencia en uso de los recursos y la inclusión social. Los autores resaltan que, este nuevo modelo puede ser significativo para evitar futuras crisis ambientales, vislumbrando un efectivo desarrollo sostenible.

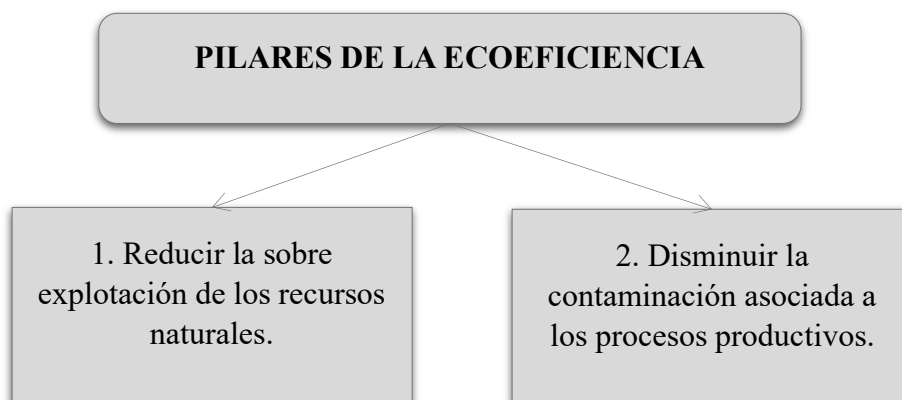
En el caso específico de México, este indicador ajustado, es reportado periódicamente por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) dentro del Sistema de Cuentas Económicas y Ecológicas, que ha sido producto de un estudio iniciado en 1985 y cuyos primeros resultados se reportaron en 1991, sentando las bases conceptuales y metodológicas en las que la ONU y el Banco Mundial se apoyaron para generar las recomendaciones internacionales que orientaran a los países que quisieran emprender ejercicios similares en esta dirección Gutiérrez y González (2010, p. 154). A su vez, Gutiérrez y González (2010) mencionan que el PIB verde se ha seguido mejorando con otras aportaciones para producir herramientas cada vez más comprensivas, tal es el caso del producto interno neto ecológico (PINE), que, en el caso específico de México, el INEGI emite un reporte de forma anualizada.

Por su parte el PINE es un indicador que considera los inventarios reales de petróleo, recursos forestales, cambios en el uso del suelo, aguas subterráneas, erosión del suelo y contaminación del agua, del suelo y del aire (Gutiérrez y González, 2010). En el PINE se deducen del PIB los gastos efectuados en protección ecológica y en prevención y restauración ambiental, así como los costos derivados del agotamiento neto de los recursos naturales y del deterioro ambiental neto. Sus primeros resultados señalaron que los costos totales de la degradación ecológica derivada del estilo de desarrollo del país representan en promedio 11% del PIB en cuatro años, lo que el 1999 implicó aproximadamente 45 mil millones de dólares (Gutiérrez y González, 2010).

## 1.7 Ecoeficiencia

Con base en Leal (2005), una de las formas en que se plantea un proceso de avance de los países hacia un desarrollo sostenible, o al menos un más sostenible, en las industrias, es la adopción de un enfoque en sus procesos llamado ecoeficiencia. La ecoeficiencia se apoya en dos pilares fundamentales como lo muestra la figura 2, básicamente asociados a lograr procesos productivos más sostenibles, apuntando a lograr, un incremento en la productividad de los recursos naturales y la reducción de impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida de los productos (Leal, 2005).

**Figura 2** *Pilares de la ecoeficiencia.*



Nota: elaboración propia con base en Leal (2005).

De acuerdo con Hernández (2003), el concepto de ecoeficiencia fue propuesto por primera vez por el industrial Stephan Schmidheiny en el año de 1991, como portavoz del Consejo Empresarial para el Desarrollo Sostenible (CEDS), posteriormente el concepto fue tomado en la publicación del libro “Cambiano el rumbo: una perspectiva global del empresariado para el desarrollo y el medio ambiente” de la propia autoría de Schmidheiny. De forma general, la noción del término ecoeficiencia, tiene como objetivo la creación de mayores volúmenes de productos y servicios, optimizando de primera instancia, una eficiencia económica, pero que a su vez da como resultado un beneficio ecológico que contribuye al desarrollo sostenible (Hernández, 2003).

El desarrollo del concepto de ecoeficiencia se fue dando paralelamente al de “producción más limpia”, coincidiendo en el enfoque de lograr una mayor “eficiencia económica a través

de una eficiencia ecológica” dentro de los sectores productivos que conforman a la economía actual, de manera muy particular, la ecoeficiencia es considerada como una estrategia a nivel empresarial, con fundamento en el sector privado, pero que cada vez va incrementado el apoyo por instancias públicas (Leal, 2005).

La ecoeficiencia entra a su vez, dentro de la cultura administrativa y la responsabilidad social, con este término, las empresas incursionan como actores que no solo se preocupan por su producción y ganancia, si no que asumen un compromiso con el medio ambiente y la sociedad en la que se relacionan, lo cual ha traído consigo ventaja competitiva para quienes incursionan en el concepto (Gutiérrez y González, 2010).

Por su parte, Hernández (2003), menciona siete acciones concretas que las empresas pueden desarrollar para lograr llevar a la practica el concepto de ecoeficiencia:

1. Reducir el uso intensivo de materia prima que conforman la elaboración de los bienes y servicios.
2. Efectuar una reducción en el consumo de energía de sus procesos.
3. Disminuir la dispersión de residuos tóxicos.
4. Promover e incrementar el reciclaje y la reutilización de materiales.
5. Optimizar el uso de recursos renovables.
6. Reducir la durabilidad de los materiales aumentando su degradación.
7. Incrementar la intensidad de uso de bienes y servicios.

En general el reto de la ecoeficiencia es incrementar el uso de materiales que pueden ser absorbidos por los ciclos naturales, a su vez la ecoeficiencia busca una orientación y enfoque para que las empresas hagan su aportación a la sostenibilidad, lo cual trae como consecuencia un fuerte impulso a su creatividad e innovación empresarial (González, 2013).

Si las empresas actúan en sus procesos, con la reducción de consumo de materias primas y desechos, su repercusión seria significativa para el equilibrio ambiental del planeta y por tanto afrontar la crisis ambiental contemporánea que afecta a la humanidad. Con esta visión es importante central a las empresas en el marco del desarrollo local, donde aparte de actuar como un agente económico puede pasar a ser un actor con un comportamiento sostenible, articulando el crecimiento económico y el bienestar ecológico (González y Morales, 2011).

## 1.8 Hacia una producción más sostenible

En este primer capítulo se efectuó un recorrido sobre las propuestas teóricas, que de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, han representado una guía para las economías industriales hacia consumos y patrones más sostenibles, de las seis propuestas abordadas, la presente tesis toma como base a la ecoeficiencia.

Si bien es cierto que las demás propuestas son indicadores altamente utilizados y factibles, la ecoeficiencia en este caso específico, contiene un enfoque más empresarial e industrial. Se concluye de los conceptos abordados los siguiente:

- Capacidad de carga. De acuerdo con los autores estudiados, es un concepto que surge de la Biología, y tiene que ver con la capacidad de un cuerpo, territorio, hábitat o región, para soportar determinado uso de recursos naturales, así como su capacidad para regenerarse y seguir suministrando recursos a generaciones futuras, este es un indicador importante para dar cuenta del momento en que se llega a la fase de sobreexplotación de los recursos naturales del planeta.
- Crecimiento en estado estacionario. Esta propuesta es desarrollada por Herman Daly. Daly menciona que el concepto está enfocado a mantener un stock constante de capital en las economías y del tamaño de su población, la propuesta radica en establecer altos controles sobre el uso de los recursos y el crecimiento poblacional, por lo tanto, Daly menciona ser necesario la creación de instituciones que regulen y controlen el capital existente, haciendo hincapié en no confundir el concepto de estacionario, como estancamiento económico o como una estrategia que mantiene la desigualdad existente.
- Ecoespacio. Esta propuesta tiene una vinculación significativa con el concepto de capacidad de carga y de justicia ambiental, dado que, el ecoespacio o espacio ambiental de un territorio está vinculado a la capacidad de carga que posee para el aprovechamiento de sus recursos naturales, sin que su uso este comprometiendo las necesidades de las generaciones futuras. A su vez, el concepto de ecoespacio sirve para dar cuenta de las grandes desigualdades que existen en el mundo, dada la diferenciación que existe en la

explotación de recursos naturales de países ricos y pobres, por lo que el concepto de equidad resulta ser igualmente relevante en su relación con la noción de espacio ambiental.

- Huella y mochila ecológica. Por un lado, el indicador de huella ecológica es una herramienta muy flexible en su implementación, su aplicación permite ser abordada desde diferentes escalas y ámbitos, sumado a esto, maneja cierta facilidad en su uso y contribuye a generar patrones de consumo más sostenibles. Por otro lado, se encuentra la mochila ecológica, cuya herramienta permite medir el ciclo total de un bien o un servicio en cuanto al uso de recursos naturales, desde la etapa de extracción de materia prima para su elaboración, hasta los desechos con los que contribuye el bien o servicio una vez concluido su ciclo de vida. Al igual que con el cálculo de la huella ecológica, los resultados obtenidos con la mochila ecológica, conducen a crear modelos de uso más sostenibles de los recursos naturales.
- PIB verde. Este indicador es muy similar al Producto Interno Bruto, que de manera convencional mide la riqueza de los bienes y servicios de determinado país o sector, la importancia del PIB verde radica en contabilizar el stock de recursos naturales de cualquier nación, con la finalidad de poder analizar el uso y explotación que se está llevando a cabo en determinado territorio, por lo tanto, este indicador ayuda al análisis sustancial para la toma de decisiones que tienen que ver con temas sostenibilidad y medio ambiente, complementado así al cálculo que se realiza de manera convencional con el PIB .
- El concepto de ecoeficiencia surge desde el ámbito empresarial e industrial, con la finalidad de que el interés de las empresas no se centre solo en su producción y la maximización de las ganancias, el objetivo es que estos sectores se involucren de manera activa en el tema de degradación ambiental que viene padeciendo la humanidad. La ecoeficiencia pretende que la producción de bienes y servicios continúe, pero a un menor costo ambiental, incentivando a las empresas a hacer uso de la innovación y la creatividad para ser más sostenibles e incluso dando valor agregado a sus procesos y productos.

La finalidad de los seis conceptos que se abordan en este primer capítulo coinciden en diversos aspectos, de entrada, se reconoce los grandes índices de degradación ambiental que padece el planeta, a su vez se asume la importancia de dar cuenta, a través de diversas herramientas de manera cuantitativa y cualitativa, de los niveles de sobreexplotación que padecen los ecosistemas, con la única finalidad de generar información que permita la óptima toma de decisiones, pero sobre todo de acciones que se enfoquen a crear patrones de producción y consumo más sostenibles.

# CAPÍTULO II. Eficiencia energética y cambio climático

## 2.1 Introducción

El capítulo II retoma el concepto de ecoeficiencia que se introdujo en el capítulo I, con el objetivo de complementar lo ya expuesto y poder llegar al tema de eficiencia energética. La eficiencia energética es importante para esta tesis, por ser una alternativa funcional que puede ser implementada a los procesos productivos a nivel empresarial e industrial, dando como resultado producciones de bienes y servicios más sostenibles.

A su vez, y reconociendo el inevitable vínculo que existe entre energía y medio ambiente, se aborda el tema de cambio climático a través de escenarios de variabilidad climática. Se reafirma que el sector energético actual en el mundo, es altamente contaminante y ha sido un factor detonante del aumento de temperatura en el planeta, además a través de los escenarios de variabilidad climática que ya existen, se vislumbran escenarios nada favorables para la calidad de vida humana y el funcionamiento óptimo de los ecosistemas.

Los procesos de eficiencia energética resultan procesos útiles en el tema de mitigación al cambio climático y los escenarios de variabilidad climática son una herramienta de estudio y de análisis eficaz para la toma de decisiones y la puesta en marcha de políticas de mitigación y adaptación en cuanto a las consecuencias que trae consigo el cambio climático para los recursos naturales y los seres humanos.

## 2.2 Ecoeficiencia a nivel empresarial e industrial

Partiendo de una definición tradicional de empresa “como una unidad de producción que organiza y emplea recursos escasos”, y donde a su vez, los recursos naturales son finitos, la dimensión ambiental para estas entidades se vuelve imperante, siendo obligatoria la consigna de racionalizar los recursos y a su vez proteger su degradación, así, las empresas como entes económicos y sociales no pueden mantenerse ajenas ni se les puede permitir el uso indiscriminado de los ecosistemas (Martín y Díaz, 2007).

Conforme se incrementa la preocupación social en torno a los aspectos medio ambientales del planeta, se han generado una serie de expectativas públicas crecientes en cuanto a la combinación de fuerzas regulatorias sobre la relación de las empresas con su medio natural, esto como parte de la propia aceptación de responsabilidad que tienen estas entidades sobre los problemas existentes de degradación en los recursos naturales (Aragón, Senise y Matías, 1998).

Ponce y Loor (2020), externan que la necesidad por incorporar la dimensión ambiental en el entorno empresarial es creciente e implica una serie de desafíos para dicho sector. De esta necesidad surge el concepto de ecoeficiencia, introducido por primera vez por McIntyre y Thornton en el año de 1974, pero que realmente fue popularizado hasta el año de 1992 por Schmidheiny, la noción de ecoeficiencia apunta a eliminar las prácticas de producción convencionales donde prevalece la necesidad por satisfacer una demanda creciente de recursos naturales y no renovables que trae consigo una mayor contaminación ecosistémica (Ponce y Loor, 2020).

A su vez, la ecoeficiencia de acuerdo con Leal (2005), trae consigo efectos positivos al interior de las empresas, tales como:

- Mejora de la productividad.
- Ahorro de energía y materias primas.
- Reducción de residuos y materiales tóxicos.
- Disminución de los riesgos.
- Ahorro en el gasto de control de la contaminación.
- Enfoque para una mejora continua.
- Mejores medidas de sanidad y seguridad.
- Reducción de los riesgos civiles ambientales.
- Descenso en las primas financieras y de seguros.
- Mejor imagen pública y una mayor confianza del consumidor. (p. 17)

Cuando una empresa lleva a cabo una producción más limpia a través de los procesos de ecoeficiencia, no solo se trata de una inversión que simpatiza con el medio ambiente, también se estaría hablando de una optimización de los recursos financieros, traducido en ahorros

económicos, al mismo tiempo que genera mejoras en la imagen de la empresa, repercutiendo así directamente en el desarrollo empresarial, la competitividad y en el volumen de ventas de las empresas (Leal, 2005).

Romero, Herrera y Barboza (2019), establecen que la ecoeficiencia incentiva la innovación tecnológica y social, así como la transparencia y la responsabilidad, mejorando sus procesos productivos en busca de cumplir con el objetivo de contribuir con el medio ambiente. Además de los beneficios para la empresa y su entorno, a estos se suma la utilidad que guarda a nivel social y cultural que una empresa puede llegar a promover con el uso racional y responsable de los recursos naturales y los residuos o desechos que se generan desde el proceso productivo hasta la comercialización del bien o servicio, considerándose en la actualidad fundamentales los avances tecnológicos que giran alrededor de las cadenas productivas ecoeficientes (Janqui y Segundo, 2022).

### **2.2.1 Indicadores de ecoeficiencia**

El concepto de ecoeficiencia es implementado a través de una serie de indicadores que sirven para la toma de decisiones o la evaluación dentro de las empresas, con la finalidad de mejorar sus prácticas y demostrar el desempeño competitivo de sus productos llevando consigo dicha noción hacia sus mercados (Nakaniwa, 2004). De manera conceptual, un indicador de ecoeficiencia es “la medida de la calidad medioambiental de un producto, bien o servicio a lo largo del ciclo de vida del mismo, para su cálculo se relaciona el valor del producto o servicio con los impactos ambientales agregados que se presentaron durante dicho ciclo” (UMNG - Facultad de estudios a distancia, s.f.)

El Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (CEMDS), es quien presenta una propuesta de indicadores de ecoeficiencia, el CEMDS se trata de una organización que la constituyen empresas multinacionales comprometidas con la protección de medio ambiente y a su vez, el crecimiento económico en el marco del concepto de desarrollo sostenible, sus miembros representan más de 30 países y más de 20 sectores industriales (Leal, 2005, p. 30).

Por su parte, el CEMDS define a la ecoeficiencia como aquella que “se logra mediante la entrega de bienes y servicios a precios competitivos que satisfacen las necesidades humanas

y brindan calidad de vida, al tiempo que reducen progresivamente los impactos ecológicos y la intensidad de los recursos a lo largo de la vida” (WBCSD, 2006, p. 3). Al mismo tiempo, el CEMDS menciona siete prácticas que las empresas realizan y que las hace ser ecoeficientes, las cuales son (Leal, 2005):

- Reducción de intensidad del material utilizado en la producción de bienes y servicios.
- Reducción de intensidad de la energía utilizada en la producción de bienes y servicios.
- Reducción en la generación y dispersión de cualquier material tóxico.
- Apoyo al reciclaje.
- Maximización del uso sostenible de los recursos naturales.
- Extensión de la durabilidad de los productos.
- Aumento del nivel de calidad de bienes y servicios. (p. 31)

Existe una ecuación básica que engloba la dimensión ecológica y la económica para relacionar el valor de un producto o servicio con su influencia ambiental. Las empresas a través de la siguiente fórmula pueden calcular su ecoeficiencia (WBCSD, 2006).

**Valor del producto o servicio**

---

**Influencia ambiental**

En cuanto al “valor del producto o servicio” como numerador de la fórmula, representa “la cantidad de bienes o servicios producidos y ventas netas”, esto quiere decir que dentro de este valor se toma en cuenta la producción, ventas anuales, monto de exportaciones e importaciones, empleos generados, materias primas, residuos, consumo de agua, uso de energía eléctrica, combustibles fósiles y emisiones a la atmósfera; los indicadores para el denominador de la fórmula “influencia ambiental son: consumo de energía, consumo de materiales, consumo de agua, emisiones de gases con efecto invernadero y emisiones de sustancias que dañan la capa de ozono (Leal, 2005, p. 32).

A través de esta ecuación, el CEMDS ha desarrollado un marco común para los indicadores de ecoeficiencia, definiendo tres niveles que permiten organizar y ordenar la información obtenida: el primero es acomodar la información por categorías amplias de influencia ambiental o valor empresarial, el segundo son los aspectos que describen lo que se va a medir

y el tercero son los indicadores de medida específica para aspectos individuales que se pueden utilizar para realizar un seguimiento y demostrar el rendimiento obtenido; estas tres categorías deben ser científicamente sostenibles, ambientalmente relevante y ser útiles para todo tipo de negocios (WBCSD, 2006).

Leal (2005) menciona que también se pueden incorporar criterios de evaluación de manejo ambiental, la adopción de sistemas de administración ambiental y programas de capacitación en materia de competitividad y protección ambiental, la obtención de premios en materia de desempeño ambiental y la instrumentación de programas de preservación ambiental.

En este marco de indicadores y de acuerdo al tema central de la presente tesis cabe resaltar algunos ejemplos presentados por Leal (2005), en el caso específico de consumo de energía eléctrica y de emisiones que traen consigo los procesos productivos industriales. La tabla 1 enmarca los indicadores que son de interés, el primero tiene que ver con el consumo de energía eléctrica y el segundo con las emisiones a la atmósfera derivadas de los procesos productivos en cualquier empresa.

**Tabla 1** *Indicadores de influencia ambiental para consumo de energía eléctrica y emisiones al ambiente.*

Tipo de indicador	Indicador	Unidad	Método de medición	Fuentes de información
Indicador de influencia ambiental de aplicación general	Consumo de Energía:	En gigajoules (u otro múltiplo apropiado de joules)	Factores de transformación: - HHV para combustibles fósiles, basado en productos de combustión, agua (líquidos), CO <sub>2</sub> y nitrógeno (gases).	- Informes de compras
	- Energía total consumida, incluyendo electricidad, combustibles fósiles, biomasa, madera, solar, eólica.		- Electricidad y gas de ciudad como cantidad de energía comprada	- Inventarios de uso de energía y combustibles  - Informes de gestión. - Fuentes bibliográficas.

Indicador de influencia ambiental	Emisiones ácidas al aire: Cantidad de gases o vapores ácidos emitidos al aire (incluyendo NH3, HCl, HF, NO2, SO2 y vapores sulfúricos) provenientes de la combustión de fósiles y procesos reactivos o tratamientos	En toneladas métricas de CO2 equivalentes.	Listas de ácidos y potenciales procesos de acidificación en fuentes bibliográficas	-Controles en plantas  -Informes de lluvias ácidas.  -Estimaciones o cálculos.
-----------------------------------	---	--	--	--

Nota: elaboración propia con base en Leal (2005).

Los indicadores de ecoeficiencia pueden tener una aplicación general o específica. Su aplicación general tiene que ver con temas o problemas ambientales a nivel mundial, por ejemplo: el deterioro de la calidad del agua, el calentamiento global, el deterioro de la capa de ozono y problemas de residuos peligrosos; su uso específico es cuando se implementan en un contexto muy particular de alguna empresa que no necesariamente es aplicable a otras entidades (Rincón y Wellens, 2011).

### 2.2.2 Eficiencia energética

La combustión que se genera con la producción de energía a partir de insumos fósiles tiene consecuencias altamente perjudiciales para los ecosistemas, capaces de contaminar los suelos, el agua y la atmósfera, entre otros más, derivado de la emisión de gases efectos invernadero (ONG de Desarrollo Sociedad y Medio Ambiente, 2012). Para la Física, la energía es “la capacidad potencial que tienen los cuerpos para producir trabajo o calor, y se manifiesta mediante un cambio” (Merino, 2007, p. 2), también la energía “es una abstracción matemática de una propiedad de la materia, que depende entre otros, de su movimiento, temperatura, composición química, cantidad de masa, posición en el espacio, etc.” (ONG de Desarrollo Sociedad y Medio Ambiente, 2012, p. 7).

La energía tiene diversas presentaciones y es un recurso primario que permite realizar un trabajo y las actividades que requiere la economía actual, la producción de energía puede darse a través de fuentes de energía renovable (geotérmica, eólica, solar, hidráulica, etc.) y no renovables (carbón, gas natural, petróleo, uranio, etc.), en el caso de estos últimos, son recursos se encuentran de forma limitada y una vez consumidos no pueden regenerarse además de que son altamente contaminantes, desafortunadamente la mayor producción a nivel mundial se basa en estos recursos, dicha situación ha contribuido a degradar de manera exponencial y a gran velocidad los recursos naturales y provocar el cambio climático (ONG de Desarrollo Sociedad y Medio Ambiente, 2012).

Para el caso de México, su producción energética es altamente dependiente de recursos no renovables y contaminantes, de acuerdo con el último Balance Nacional de Energía que proporciona la SENER del año 2021, poco más de un 80% de la producción de energía en el país proviene del petróleo, gas natural y carbón y solamente casi un 15% corresponde a una generación de energía a través de recursos renovables (SENER, 2022). Al caso de México se suman la mayoría de los países en el mundo, de tal forma que, la opinión generalizada aboga para reducir el consumo de recursos energéticos contaminantes.

En este contexto es que surge el concepto de eficiencia energética y forma parte de los indicadores de la ecoeficiencia. La eficiencia energética es “la minimización del insumo energético por unidad de producto, manteniendo la misma calidad o mejorándola. Se origina a través de las pérdidas de energía durante los procesos de conversión o transformación de un tipo de energía a otro y gracias a ella es posible producir lo mismo o un mayor volumen de bienes o de niveles de servicio, sin aumentar el consumo de energía” (ONG de Desarrollo Sociedad y Medio Ambiente, 2012, p. 9).

Los principales objetivos de la eficiencia energética son: a nivel macro, el mantenimiento de las reservas de combustibles fósiles, incentivar la calidad del medio ambiente, prevenir el calentamiento global y fortalecer la seguridad energética; mientras que a nivel micro, son la minimización de costos, reducir la energía cuando sus precios se incrementan y buscar sustitutos energéticos o energías limpias (Pardo y Cotte, 2011).

Desde una perspectiva de cambio climático, la Agencia Internacional de Energía, basándose en los estudios que realiza el IPCC, plantea un escenario alternativo que contempla la reducción de emisiones de GEI hasta en un 50%, de tal forma que, se evite el calentamiento global de hasta 2° C para finales del siglo, para lograr tal objetivo, la principal apuesta que realiza la AIE es utilizar como herramienta a los procesos de eficiencia energética (Sainz de Miera y Muñoz, 2009).

Partiendo del objetivo central del concepto de eficiencia energética, el cual es lograr la máxima disminución de consumos energéticos, algunos de los beneficios que conlleva poner en práctica esta herramienta son los siguientes (Pérez y Vera, 2012):

- A nivel global, la reducción de las emisiones contaminantes y la contribución al desarrollo sostenible.
- A nivel nación, la conservación de los recursos energéticos límites, la mejora de la seguridad energética, la reducción de las importaciones de energéticos y la reducción de costos que pueden ser utilizados para programas de desarrollo.
- A nivel empresa, el incremento de la eficiencia energética reduce las cuentas de energía, incrementa la competitividad, eleva la productividad y las ganancias.

Se puede afirmar que la aplicación de los procesos de eficiencia energética puede contribuir de forma decisiva a la lucha contra el cambio climático, a la mejora de la seguridad energética y de la competitividad. Incluso se plantea por parte de los gobiernos recientemente como un importante dinamizador del desarrollo económico y el empleo (Energía y Sociedad, s.f).

### **2.2.3 Eficiencia energética en el consumo de electricidad**

El consumo total de energía para México en el año 2021 fue de 5,402.34 petajoules (PJ), de los cuales 1,049.64 PJ fueron por concepto de uso de electricidad, ocupando segundo lugar de consumo en el país, solo por debajo de la gasolina (SENER, 2022a). La SENER para poder presentar sus datos de consumo final de energéticos realiza una división de sectores de consumo, los cuales son: sector transporte, sector industrial, sector residencial, sector comercial, sector público y sector agropecuario, en los cuales el dato de los 1,049.64 PJ por concepto de electricidad se encuentra distribuido.

De acuerdo con el panorama nacional de energía de SENER del año 2021, el sector con mayor consumo energético es el de transporte con un total de consumo de 2,784.64 PJ, le sigue el sector industrial con 1,152.67 PJ y el último lugar se encuentra el sector agropecuario con 178.71 PJ. Estos datos son contemplando el uso de energéticos en general para el consumo final, sin embargo, es importante conocer para el presente trabajo como se encuentra distribuido el consumo de electricidad entre estos sectores.

La SENER (2022a) señala que, el sector con el mayor consumo de electricidad es el industrial con un 36.22% de participación, en segundo lugar, se encuentra el sector residencial con un 23.82% de consumo y en menor medida ya se encuentran los demás sectores, ocupando el último lugar el de transporte. Con base en estos datos, es importante señalar que los sectores donde tendría prioridad la implementación de procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de electricidad serían en primer lugar el industrial y como segunda opción el sector residencial.

De manera muy particular, la producción de energía eléctrica en México es altamente contaminante y dependiente a recursos no renovables. De acuerdo con la SENER (2022b) en el año 2021 la producción de energía eléctrica de manera convencional, es decir con el uso de combustibles fósiles, llegó a un total del 70.5% del total de electricidad que se generó en el país, dejando solo una participación del 24.92% a las energías limpias y renovables.

Los procesos de eficiencia energética pueden considerarse como una herramienta óptima para contrarrestar los altos consumos de electricidad, solo es importante tomar en cuenta, aquellos sectores que son más demandantes, que como ya indica la SENER en el caso de México, los grandes consumos están concentrados en el sector industrial y residencial, además, la eficiencia energética puede tomarse en cuenta como mecanismo de mitigación ante el problema del cambio climático.

La proyección que realiza la SENER (2022b), en cuanto al consumo de electricidad en el país hacia el año 2036, es una demanda creciente, por lo tanto, debe tenerse en cuenta que los combustibles fósiles no son renovables y son altamente contaminantes, de seguir con la dependencia actual, por un lado, se estarían generando mayores emisiones de GEI, con lo cual los escenarios a futuro de cambio climático podrían ser catastróficos, por el otro, al ser

recursos no renovables y mantener una alta dependencia, en el caso de su agotamiento, estaría en peligro la seguridad energética del país.

### **2.3 Cambio climático y escenarios de variabilidad climática**

Existe una relación irrefutable entre energía y cambio climático. La economía actual industrializada es altamente dependiente del consumo energético para sus procesos productivos, y a su vez la generación de energía en el mundo es sumamente contaminante, por depender en su mayoría para su producción de combustibles fósiles, los cuales son los principales responsables de emisiones de GEI a la atmósfera y detonantes del cambio climático.

Entre todas las formas de energía existentes, la electricidad es de las más usadas, estando presente en casi todas las actividades cotidianas, su generación depende en gran medida de los combustibles fósiles y la problemática ambiental demanda una urgente transición hacia energías renovables y limpias, ya que de lograr esto, los escenarios previstos de aumento de temperatura podrían tornarse un poco más favorables.

#### **2.3.1 Cambio climático y energía**

Durante el último siglo y medio, han existido cambios relevantes en la composición de la atmósfera, así como en la temperatura media de la superficie terrestre, debido a la acumulación de los GEI, generados en grandes cantidades principalmente con el proceso de industrialización a partir de la era preindustrial (Acquatella, 2008). También el IPCC (2013, p. 2) destaca que, “el calentamiento del sistema climático es inequívoco y, desde la década de 1950, muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos decenios a milenios; la atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de gases de efecto invernadero han aumentado”.

En su reporte del año 2014, el IPCC menciona la influencia humana sobre el sistema climático y ya en su informe del año 2019, asevera que, “las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente 1 °C con respecto a los niveles preindustriales, con rango probable de 0.8 a 1.2 °C, siendo probable que el calentamiento

global llegue a 1.5 °C entre 2030 y 2052, con un nivel de confianza alto, si continúan aumentando las emisiones al ritmo actual (IPCC, 2019, p. 6).

Los aumentos de temperatura para el planeta traen como consecuencia el cambio climático, el IPCC (2014, p. 5) lo define como “la variación en el estado del clima, identificable en las variaciones del valor medio o en la vulnerabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo”. Algunas otras definiciones como la que da la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, ponen el contexto al ser humano como precursor de forma directa o indirecta al cambio de clima (IPCC, 2014).

Con base en el IPCC (2019), de continuar con el ritmo de emisiones actuales o incluso mayores, el cambio climático traerá consigo graves consecuencias para los sistemas naturales y humanos, por ejemplo: calor extremo, sequías, precipitaciones intensas, aumento del nivel del mar, problemas con la salud humana, extinción de especies animal, seguridad alimentaria, seguridad alimentaria, entre otros más.

Tomando en cuenta al cambio climático como un tema de orden y preocupación mundial, es que se han celebrado una serie de acuerdos internacionales que invita a los diversos países a comprometerse a disminuir sus emisiones, de tal manera que, se logre frenar a futuro cambios abruptos en el sistema climático, a continuación, se abordan de manera cronológica.

En el año de 1972, en Estocolmo Suecia, se celebra la primera conferencia mundial, donde el medio ambiente se torna un tema importante, por primera vez se crea un plan de acción hacia las cuestiones ambientales y fue creado el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo). Para el año de 1988 surge la creación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio climático y en el año de 1990 estarían publicando su primer informe (INECC, s.f.). Dos años después, en 1992 se lleva a cabo la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio

Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), también llamada Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, Brasil.

Como resultado de la Cumbre de la Tierra, se reconoce la necesidad de integrar y equilibrar las preocupaciones económicas, sociales y medioambientales a través de cambios sustanciales de las formas de producción y de consumo en el planeta, a su vez, se elabora el Programa 21, la declaración de Río y sus 27 principios, se crea la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la declaración sobre los principios de la ordenación, la conservación y el desarrollo sostenible de los bosques de todo tipo (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo).

En 1995, se lleva a cabo la primera conferencia de la CMNUCC, en Berlín, logrando acuerdos sobre la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera para combatir el cambio climático (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo), también este mismo año, el IPCC da a conocer su segundo informe. Pasaron cinco años de la Cumbre de la Tierra, cuando en 1997 se decide hacer una revisión de los acuerdos tomados en la cumbre de Río en Nueva York, examinándose el avance hacia el Programa 21. En este mismo año se adopta el Protocolo de Kyoto, que entraría en vigor hasta el año 2005 (INECC, s.f.).

Para el año 2000, también en Nueva York, se lleva a cabo la cumbre del milenio, de la cual destaca el establecimiento de los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) y en el 2001 se publica el tercer informe del IPCC (INECC, s.f.). En el año 2002 se efectúa la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, en la cual se señala entre otros temas más, la necesidad de diversificar los suministros de energía a nivel mundial, propiciando en mayor medida las fuentes de energía renovables y menos contaminantes (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo). Después en el año 2005, se realiza una nueva cumbre con sede en Nueva York, en la cual, los gobiernos asumieron compromisos firmes para lograr los objetivos de desarrollo establecidos en la Declaración del Milenio del 2000 (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo).

Posteriormente, en el año 2006, se adopta el Programa de Trabajo de Nairobi, que tendría como objetivo mejorar los impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de los

países menos desarrollados y el año 2007 se publica el cuarto informe del IPCC (INECC, s.f.). En Nueva York, en el año 2008, se realiza una nueva reunión con la finalidad de examinar el progreso del logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio, para posteriormente de manera similar a esta, efectuar una nueva reunión en el 2010 (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo). En este mismo año, México se convierte en sede de la Conferencia de las Partes (COP16) de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático en Cancún, Quintana Roo, los acuerdos en esta convención sobre cambio climático fue la de limitar el crecimiento de la temperatura global por debajo de los 2 °C e implementar el fondo verde para el clima (SEMARNAT, 2017).

A veinte años de la Cumbre de la Tierra en 1992, se realiza una conferencia nuevamente en Río de Janeiro, Brasil, en el año 2012, en la cual se adoptaron políticas encaminadas a lo que se conoce como “economía verde”, así como estrategias de financiamiento para el desarrollo sostenible (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo, s.f.). A la par en México este mismo año, entra en vigor la Ley General de Cambio Climático y se crea el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, s.f.).

Para el 2013 se lleva a cabo la Asamblea General de las Naciones Unidas, para el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y en el año 2014 se publica el quinto informe del IPCC (INECC, s.f.). En el año 2015 se establecen los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con los cuales se pretende en los 15 años siguientes poner fin a la pobreza, reducir la desigualdad y luchar contra el cambio climático, los ODS entran en vigor hasta el año 2030, en este mismo año entra en vigor el Acuerdo de París y México ratifica dicho acuerdo (ONU, Conferencias, Medio Ambiente y Desarrollo, s.f.)

La lucha contra el cambio climático (tema central en la mayoría de las convenciones internacionales) involucra de forma directa al modo de producción y consumo existente. La generación de energía está considerada como una de las principales fuentes de emisiones de GEI, ya que la principal forma de generarla a nivel mundial es con la quema de combustibles de origen fósil (Samaniego, 2009).

Es una realidad que la energía es fundamental para todas y cada una de las actividades que se llevan a cabo de manera cotidiana, lo que también lo es, es el que el modelo energético

actual es altamente contaminante, el cual ha puesto en riesgo el equilibrio ambiental (CEPAL, 2022). En el marco del establecimiento de los ODS, el número siete hace referencia al tema energético, el cual persigue garantizar el acceso a la energía de manera “asequible, segura, sostenible y moderna”, por un lado, se busca el acceso para todos y todas y por el otro, es buscar una transición energética hacia el uso de recursos renovables y procesos de eficiencia energética (CEPAL, 2022).

Los temas de eficiencia en el sistema energético del mundo toman un eje central como mecanismos de mitigación al cambio climático y el aumento de la temperatura del planeta, su implementación a grandes escalas y de forma prioritaria puede ser un detonante para modificar de manera crucial los escenarios futuros que se tienen sobre el aumento de temperatura, los cuales según simulaciones del IPCC pueden llegar a alcanzar más de 2 °C.

### **2.3.2 Escenarios de variabilidad climática**

Los cambios observados son la motivación fundamental para realizar estudios de cambio climático, sus posibles impactos y el desarrollo de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático (Conde y Gay, 2008). De acuerdo con el IPCC (2021), el cambio climático atribuido a la actividad humana influye en los fenómenos meteorológicos extremos que viven todas las regiones del mundo. Para poder contextualizar y abordar el tema de variabilidad climática y sus posibles escenarios a futuro es importante entender algunos conceptos, el primero de ellos es el clima.

De acuerdo con Conde (2011, p. 9), el clima “es producto de la constante y compleja interacción entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielo y nieve, los continentes y, muy importante, la vida en el planeta (plantas y animales en los bosques y selvas, en océanos y en la atmósfera)”. Para el IPCC (2013b, p. 189), el clima es “el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante periodos que pueden abarcar desde meses hasta millares o millones de años”.

Las condiciones climáticas pueden variar de un día para otro, pero el clima tiene que ver un periodo de tiempo largo, algunos especialistas precisan que podría ser en un periodo mínimo de 30 años para poder hablar del estado del clima y sus posibles variaciones en determinada

región (Conde, 2011). En cuanto a la variabilidad climática, estas son “variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que la de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno” (IPCC, 2013b, p. 202).

Por su parte, un evento meteorológico extremo “es un comportamiento extremo del estado del tiempo, y persiste durante cierto tiempo (por ejemplo, una estación), especialmente si sus valores promediados o totales son extremos (por ejemplo, sequía o precipitación intensa a lo largo de una temporada” (IPCC, 2013b, p. 192). Los eventos meteorológicos extremos están íntimamente asociados al tema de cambio climático, el IPCC afirma que estos se han incrementado como producto de la variabilidad climática en la superficie terrestre.

Un modelo climático “es una representación numérica del sistema climático basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, en sus interacciones y en sus procesos de retroalimentación, que recoge todas o algunas de sus propiedades conocidas. Los modelos climáticos se utilizan como herramienta de investigación para estudiar y simular el clima” (IPCC, 2013b, p. 196). Un modelo climático actúa como un escenario en diferentes tiempos, puede mostrar datos del pasado, del presente y del futuro, lo que se trabaja con la modelación climática regularmente son posibles escenarios a futuro, teniendo como base datos históricos del estado del clima.

La finalidad de los modelos climáticos es la de simular situaciones de la forma más real posible de lo que puede suceder en el futuro, por lo tanto, se pretende lograr una representación de la atmósfera acoplada a otros sistemas de la tierra que permita comprender y proyectar cambios naturales y los que son provocados por el hombre en el clima (ICACC, 2021).

A partir de la modelación climática es que se han podido realizar estudios de cambio climático que han permitido dimensionar la gravedad de la situación medioambiental del planeta y que ha sido la base para toma de decisiones que fijan el rumbo hacia lograr una mayor y real sostenibilidad de la Tierra.

### 2.3.2.1 Resolución de un modelo climático y tipos de modelos

De acuerdo con McWeeney y Hausfather (2018) “un modelo climático divide la Tierra en una serie de cajas o celdas de cuadrícula, el tamaño de las celdas de cuadrícula en un modelo se conoce como su resolución espacial, de manera común un modelo climático global tiene alrededor de 100 km de longitud y latitud en las latitudes medias y derivado de que la Tierra es una esfera, las celdas de una cuadrícula basada en la longitud y la latitud son más grandes en el ecuador y más pequeñas en los polos “. A mayor resolución del modelo climático, más información climática de manera específica producirá para la región de estudio, aunque esto implique un mayor tiempo en la ejecución por la cantidad de cálculos a realizarse (McWeeney y Hausfather, 2018).

En cuanto a los tipos de modelos climáticos el INECC (2022), describe que existen los siguientes:

- Modelos de balance de energía (Energy Balance Models, EBMs). Se consideran los más básicos y calculan solamente la superficie de la temperatura considerando el equilibrio de la energía solar que entra a la atmósfera y el calor que se libera al espacio.
- Modelos radiativos convectivos (Radiative Convective Models, RCMs). Estos modelos calculan la temperatura de la superficie terrestre así como la humedad de las diferentes capas de la atmósfera.
- Modelos de circulación general (Global Climate Models, GCMs). Estos modelos se dividen en tres categorías principales: modelos de circulación general de atmósfera (AGCMs), el cual considera a la atmósfera y su interacción con la superficie terrestre; modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera (AOGCMs), estos modelos combinan los intercambios entre la atmósfera y la superficie terrestre con modelos físicos de océano; y modelos del sistema terrestre (ESMs), estos incluyen interacciones así como cambios de vegetación y uso de suelo que inciden en la forma en la cual el clima responde a emisiones de GEI provocadas por humanos.
- Modelos climáticos regionales (Regional Climate Models, RCM). Estos modelos permiten obtener información climática a una escala local para una región o área en específico, algo significativo es que sus celdas pueden ser de 1 a 2 km o hasta de 10 a 50 km.

- Modelos integrados de evaluación (Integrated Assessment Models, IAMs). Este es un modelo que considera a la población, el crecimiento económico y el uso de energía hacia un modelo climático, basándose en la interacción de la sociedad con el clima físico. (p. 26 y 27)

### 2.3.2.2 Trayectorias de concentración representativas

Los RCPs, son escenarios llamados trayectorias de concentración representativas “son proyecciones solo de los componentes de forzamiento radiativo, que sirven como insumo para la modelación climática. Proporcionan una descripción plausible del futuro, la cual se basa en escenarios socioeconómicos de cómo la sociedad crece, se desarrolla y cómo se utilizan las fuentes de energía” (INECC, 2022, p. 28), estos escenarios se nombran de acuerdo a la magnitud de su forzamiento radiativo hacia el año 2100 y son los siguientes (INECC, 2022):

- RCP 8.5: se desarrolló utilizando el modelo MESSAGE y el IIASA de Austria, el cual tiene un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a lo largo del tiempo, que conducen a altos niveles de concentración.
- RCP 6.0: el equipo de modelación AIM en el National Institute for Environmental Studies (NIES) en Japón, desarrolló este escenario, el cual se considera estabilizador, ya que, el forzamiento radiativo se estabiliza poco después del año 2100, a través de la implementación de tecnologías y estrategias para la reducción de emisiones de GEI.
- RCP 4.5: fue desarrollado por el equipo de modelación GCAM en el Pacific Northwest National Laboratory’s Joint Global Change Research Institute (JGCRI) en los Estados Unidos, también se considera un escenario estabilizador donde el forzamiento radiativo total se estabiliza poco después del año 2100, sin sobrepasar el nivel objetivo de forzamiento radiativo a largo plazo.
- RCP 2.6: fue desarrollado por IMAGE de la PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, el cual tiene trayectorias de emisiones con muy bajos niveles de concentraciones de GEI las cuales para lograr este escenario tendrían que ser reducidas sustancialmente con el tiempo. (p, 29).

Los escenarios climáticos no deben confundirse con pronósticos, ya que, el carácter de incertidumbre es distinto de uno a otro (Conde y Gay, 2008). El grado de incertidumbre en los modelos climáticos radica en que el sistema climático en general es complejo con dificultad para representarlo por completo, por lo tanto existen tres fuentes principales de incertidumbre en la modelación climática, las cuales son: la variabilidad natural del clima, la generada por los modelos y la que deriva de las trayectorias de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (INECC, 2022).

# CAPÍTULO III. Producción de *berries*, cadenadas agroalimentarias y agroindustria.

## 3.1 Introduccion

Las *berries*, que en español significan bayas, frutillas o frutos del bosque, están caracterizadas por ser de tamaño pequeño y con colores vibrantes, que de manera visual son atractivas para su consumo, sumado a esto, contienen grandes propiedades para la salud humana (González et al., 2019). Para México, las *berries* están colocadas como uno de los productos con mayor potencial del sector agrícola mexicano (SAGARPA, 2017).

Actualmente México mantiene una gran posición como productor de *berries* a nivel internacional, en producción de arándano ocupa el 6to lugar, con la frambuesa destaca en el 2do lugar, en cuanto a fresa el 4to lugar y en zarzamora resalta con el 1er lugar del ranking mundial (SIAP, 2022). Por lo tanto, la finalidad de este capítulo es abordar la situación actual que guarda la producción de *berries* tanto a nivel nacional como en el estado de Michoacán.

El segundo tema es el de cadenas agroalimentarias, con la finalidad de identificar a los actores que conforman este tipo de sistemas, lo cual contribuye a precisar el objeto de estudio para el presente trabajo de investigación, que de manera específica son las empresas agroindustriales que forman parte de la cadena agroalimentaria de *berries*.

Una cadena agroalimentaria comprende a toda la red de producción agroalimentaria, iniciando por la producción agrícola y terminando con el consumo de alimentos, en cada una de estas etapas existe consumo de energía, cabe resaltar que, aproximadamente un tercio total de emisiones de GEI, provienen de sistemas agroalimentarios, por la gran dependencia que estos sistemas tienen hacia los combustibles fósiles (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], s.f.). Como tercer tema central de este capítulo se estudia a la agroindustria, las cuales son actores fundamentales dentro de las cadenas agroalimentarias.

### 3.2 Producción de *berries* en el estado de Michoacán.

De acuerdo con Bastida (2021), las *berries* ocupan el lugar número tres como el producto agroalimentario más exportado en México, con un valor en el año 2020 de 3,005 millones de dólares, el mayor incremento en la producción de estas frutillas se dio en el periodo de 2015 a 2019, pasando de 596,592 a 1,337,207 toneladas, para posteriormente tener una ligera caída en el año 2020 con solo 970,080 toneladas. En este mismo año, Michoacán se consolida como líder productor de *berries* con un total de 569183 toneladas, le sigue Jalisco y después Baja California. A continuación, se detallan este grupo de frutillas que conforman a las *berries* respecto a su producción en la entidad y a nivel nacional.

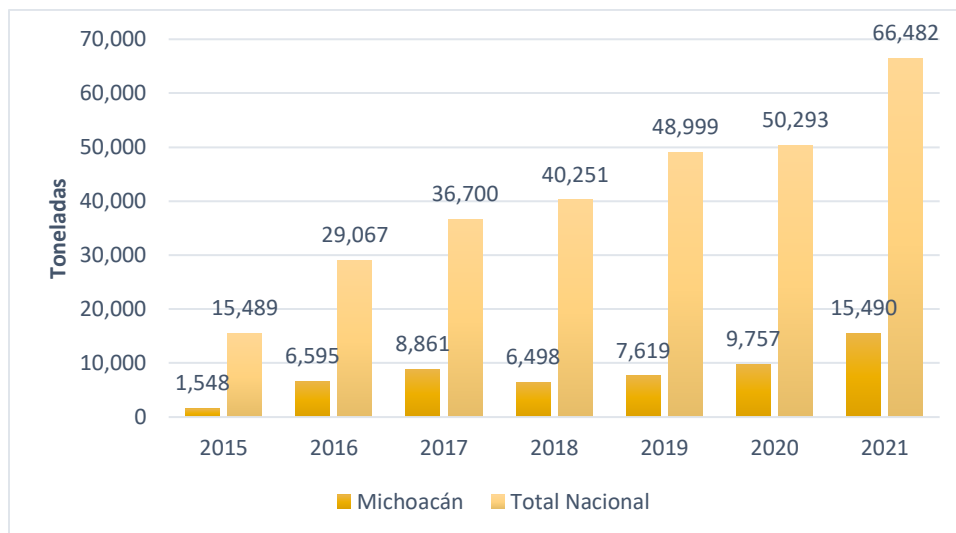
#### 3.2.1 Arándanos

El arándano es “una baya de forma esférica que mide de 1 a 2 centímetros de diámetro, de color azul intenso a suave, de ahí su denominación en inglés de *blueberry*, su epidermis está recubierta por una cerosidad característica importante puesto que, junto con la consistencia que posee, hace que la durabilidad postcosecha sea mucho mayor que la de otras” (SIAP, 2019, p. 33)

Las condiciones para que se pueda llevar a cabo la producción de arándanos están dadas principalmente por las condiciones climáticas donde se lleva a cabo la plantación, necesita temperaturas inferiores a los 7 °C con un periodo de frío acumulado durante el invierno; en cuanto al suelo, son óptimos aquellos con un PH de 4 a 5, a su vez, livianos, arenosos, con abundante materia orgánica, drenados y con suficiente abastecimiento de agua en su temporada de crecimiento (SAGARPA, 2017, p. 1).

A continuación, se muestra la figura 3, la cual concentra la producción que ha desempeñado el estado de Michoacán respecto al cultivo del arándano, en promedio la entidad ha ocupado el segundo lugar como productor, después del estado de Jalisco, solo en el año 2015 se desempeñó en el cuarto lugar por debajo de Jalisco, Colima y Baja California.

**Figura 3** Volumen de producción de arándano a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.



Nota: elaboración propia con base en los panoramas agroalimentarios que proporciona el SIAP, del año 2015 a 2021.

La contribución de la entidad en cuanto a la producción nacional de arándano en promedio es de un casi un 20% y los niveles de producción en la entidad se han dado de forma creciente, excepto del año 2017 al 2018, donde se observa una caída en los cultivos, posteriormente producción sigue de forma ascendente con un pronunciado incremento del año 2020 al 2021.

En cuanto a las exportaciones de arándano, el principal cliente para el país es Estados Unidos, pero México también es exportador de esta frutilla para Japón, Canadá, Hong Kong, Kuwait, Emiratos Árabes Unidos, Arabia Saudita, Singapur, Malasia, Chile y Qatar, siendo el estado de Jalisco quien cubre la mayor producción a nivel nacional de arándanos para su consumo local y su exportación (SIAP, 2022).

### 3.2.2 Frambuesa

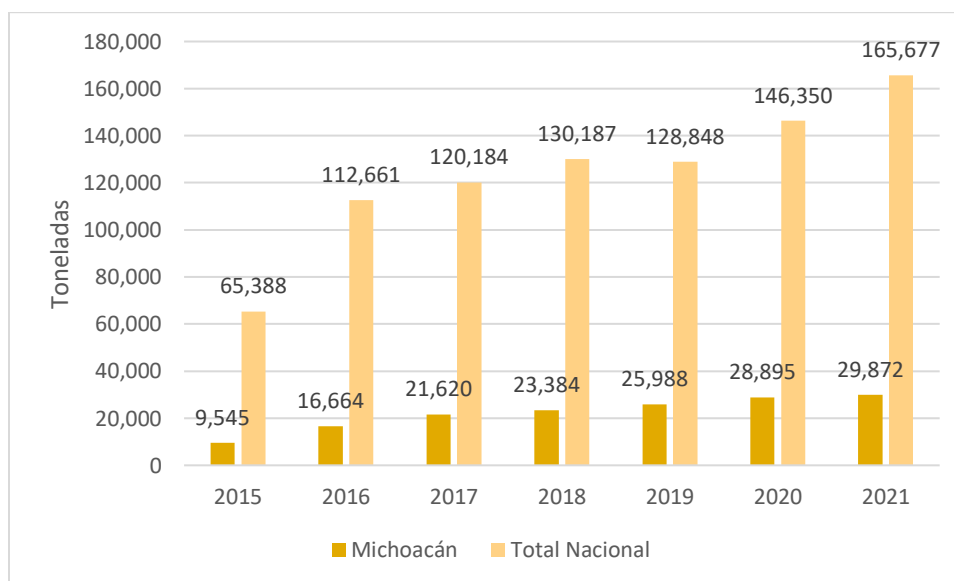
Las frambuesas “son frutillas formadas por numerosas drupas agregadas entre sí y destacando fácilmente por su color, los más comunes son el rojo o amarillento. Cada fruto tiene adherido un pelo de color amarillo oro” (SIAP, 2019, p. 75). Los primeros cultivos de frambuesa en México se dieron en el año de 1974 y se realizaron por la Universidad Autónoma de Chapingo. De forma extensiva, esta fruta es cultivada en algunos países de Europa y

Norteamérica y en una menor proporción en América Central y Sur, Australia y Nueva Zelanda (SIAP, 2019).

Lo necesario para efectuar un buen cultivo de frambuesa está determinado por el clima, donde la temperatura debe oscilar entre los 14 y 19 °C y las precipitaciones entre 700 a 900 mm anuales, estas condiciones climáticas permiten un óptimo desarrollo de la fruta y de la producción de la planta, en cuanto al suelo, son necesarios aquellos con textura franco-arenosa profunda y con un PH DE 5.5 a 6.5 (SAGARPA, 2017).

La figura 4 muestra cómo se encuentra la producción de frambuesa, tanto a nivel nacional como en la entidad. La mayor producción de frambuesa a nivel nacional la cubre el estado de Jalisco, Michoacán por su parte, ocupa el segundo lugar en producción y Baja California el tercero. El rendimiento a nivel nacional tiene un despunte considerado del año 2015 al 2016 y pasa lo mismo a nivel estatal, incrementado la producción en un 74.58 % en la entidad y un 73.30% a nivel nacional.

**Figura 4** *Volumen de producción de frambuesa a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.*



Nota: elaboración propia con base en los panoramas agroalimentarios que proporciona el SIAP, del año 2015 a 2021.

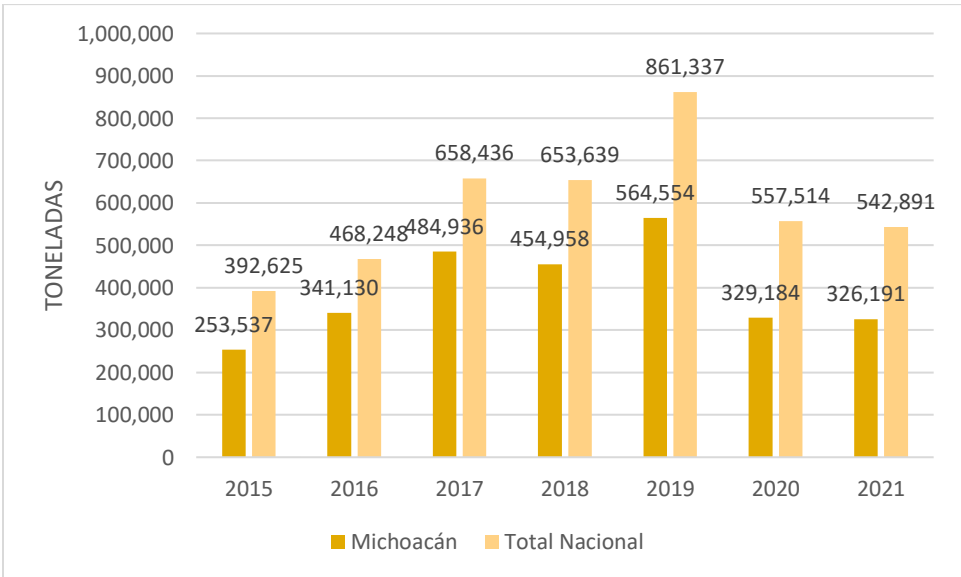
En el ranking mundial, México ocupa el segundo lugar como productor de frambuesa, el mejor año de comercialización para esta frutilla fue el 2021, además la frambuesa ha logrado colocarse en diversos países para su exportación, siendo el principal cliente Estados Unidos, pero también atendiendo los mercados de Canadá, Países Bajos, Chile, Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Rusia, Japón, Alemania, Kuwait e Italia (SIAP, 2022).

**3.2.3 Fresa**

El fruto de las fresas “es el resultado de la agregación de varios carpelos secos diminutos sobre un receptáculo pulposo hipertrofiado; es rojo, con sabor dulce un aroma característico. Su recolección es manual, debido a su alta sensibilidad, debe cosecharse cada tres días y manejarse con mucho cuidado” (SIAP, 2019, p. 77). De acuerdo con el SIAP (2022), en los últimos diez años, la fresa ha incrementado sus siembras y cosechas, la tasa media anual de crecimiento es de 4.7%.

La figura 5, muestra los datos de la producción de fresas, tanto a nivel nacional como en el estado. Michoacán es un líder consolidado en la producción de esta fruta desde hace ya varios años, le siguen los estados de Baja California y Guanajuato. Además de ser el primer lugar, Michoacán produce más del 60% de la producción total del país.

**Figura 5** Volumen de producción de fresas a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.



Nota: elaboración propia con base en los panoramas agroalimentarios que proporciona el SIAP, del año 2015 a 2021.

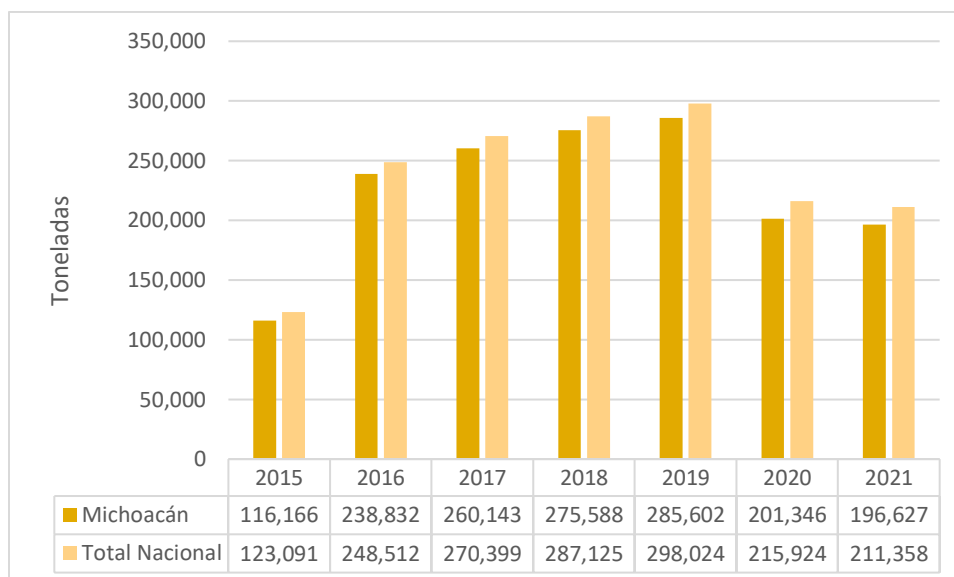
El mayor despunte de producción, tanto a nivel nacional como para la entidad, se da en el año 2019, sin embargo, los años posteriores 2020 y 2021, se observa una disminución a nivel estatal del 41.7% y 0.9% respectivamente, pasando algo similar a nivel nacional con un decrecimiento del 35.3% y del 2.6% para esos años. En el 2021, México se posiciona como el segundo país exportador a nivel mundial de fresa, ofertando el 65.6% del volumen nacional producido, por lo que se asume menos del 40% de la producción se consume en país (SIAP, 2022).

### **3.2.4 Zarzamora**

El fruto de la zarzamora “está formado por numerosos frutitos esféricos, apiñados cada uno con un huesillo de color rojizo al principio, pero al final negro cuando madura completamente. La zarzamora tiene un sabor generalmente dulce y aromático” (SIAP, 2019, p. 157). Los cultivos de zarzamora están determinados por un clima fresco que oscila entre los 16 y 25 °C, a su vez, requiere precipitaciones o irrigaciones que van de los 1500 y 2500 mm con una humedad de 80 a 90%, su desarrollo de cultivo es óptimo para suelos franco-arcillosos para el aprovechamiento de agua y un PH de entre 5.2 y 6.7 (SAGARPA, 2017).

Al igual que la fresa, pero en una mayor proporción, la producción de zarzamora abarca más del 90% de la producción total a nivel nacional, tal y como lo muestra la figura 6. Después de Michoacán, Jalisco ocupa el segundo lugar como productor y Colima el tercero, el mayor despunte de cultivos del periodo que se establece, está dado en el año 2019, tanto a nivel entidad como nacional.

**Figura 6** *Volumen de producción de zarzamora a nivel nacional y en el estado de Michoacán, en el periodo 2015-2021.*



Nota: elaboración propia con base en los panoramas agroalimentarios que proporciona el SIAP, del año 2015 a 2021.

Después del despunte que se observa en el año 2019, se aprecia una disminución de cultivos para los años 2020 y 2021; a nivel estatal en el 2020 el descenso es del 29.5% y en el año 2021 del 2.3%. Por su parte, México ocupa el primer lugar a nivel mundial en producción de zarcamora, su principal cliente es Estados Unidos, pero el país también mantiene un importante mercado con Canadá, Chile, Italia, Reino Unido, Países Bajos, Arabia Saudita, Emiratos Árabes, Alemania, Kuwait, Francia y Bélgica (SIAP, 2022).

### 3.3 Cadenas agroalimentarias

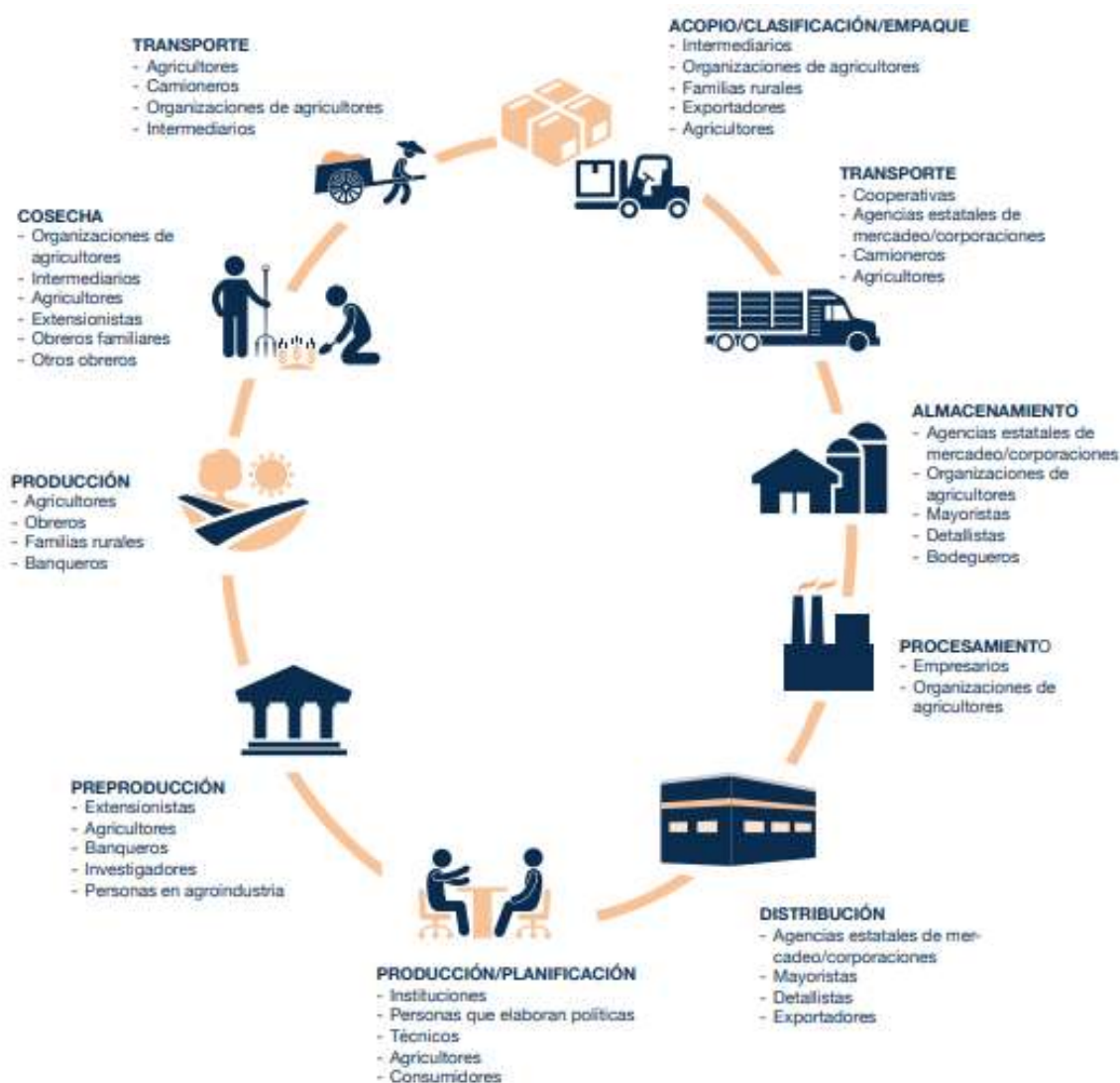
De acuerdo con García et al. (2009, p. 27), una cadena agroalimentaria “es un sistema que agrupa actores económicos y sociales interrelacionados que participan articuladamente en actividades que agregan valor a un bien o servicio, desde su producción hasta que este llega a los consumidores, incluidos los proveedores de insumos y servicios, transformación, industrialización, transporte, logística y otros servicios de apoyo, como el financiamiento”.

La finalidad de conocer y caracterizar a las cadenas agroalimentarias, complementa el análisis de identificar a los actores que son objeto de estudio de la presente tesis. Como ya lo expone su concepto, las cadenas agroalimentarias están conformadas por diversas etapas que agrupan en cada una de ellos a diversos actores, que parecieran no estar interrelacionados

pero que definitivamente mantienen un fin común, donde cualquier inconveniente representa afectaciones a toda la cadena de suministro.

La figura 7, es una propuesta que hace La Gra, Kitinoja y Alpizar (2016), para representar a las etapas y actores que pueden aplicar para todos los productos agrícolas, ganaderos y de pesca. Los autores mencionan que cada uno de las etapas que se representan son independientes, sin embargo, las acciones y decisiones de cada sistema tendrá repercusiones en los puntos sucesivos a la cadena que lo conforma.

**Figura 7** Cadena agroalimentaria y sus actores.



Nota: La Gra, Kitinoja y Alpizar, IICA, 2016.

El uso de la energía eléctrica se encuentra implícito en la mayoría de las actividades económicas y en este caso en cada una de las etapas que abarca a una cadena agroalimentaria. Según la FAO, a nivel mundial, alrededor de un tercio total de emisiones de GEI proceden de los sistemas agroalimentarios, que en gran medida dependen de los combustibles fósiles. Tomando en cuenta solo el consumo de electricidad, este trabajo toma de la cadena agroalimentaria las fases de almacenamiento y procesamiento, de forma particular para la cadena agroalimentaria de *berries* en el estado de Michoacán, México.

### **3.3.1 Fase de almacenamiento**

De acuerdo con La Gra, Kitinoja y Alpizar (2016), la fase de almacenamiento es una etapa crucial dentro de las cadenas agroalimentarias, de ella depende que los productos obtenidos sean útiles y lleguen en buenas condiciones al mercado destino. La FAO (2003), por su parte, en su manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas menciona que, para considerar esta fase de contemplarse en primer lugar el clima natural del lugar donde se encuentra la estructura de almacenamiento, también la altitud, que en este caso determina una disminución de la temperatura ambiente a razón de 10°C por cada 1 000 metros de elevación, así todos estos factores contribuyen a mejorar la eficiencia de los equipos refrigerantes.

Otro aspecto importante que señala la FAO, es el diseño del lugar o la empresa de almacenamiento, menciona que una distribución espacial cuadrada es técnicamente más eficiente que una rectangular, a su vez, el techo es la parte más importante de toda la estructura, ya que debe proteger al producto de las lluvias y del calor radiante, también debe contemplar una caída de techo que permita evacuar el agua de lluvia con la facilidad. Otro detalle a considerar son el piso y las paredes y en general con todo lo que concierne a la estructura física de la empresa o espacio de almacenamiento.

En esta fase los actores involucrados varían de acuerdo a las funciones que deciden emprender, en este caso existen empresas exclusivamente dedicadas a la actividad de almacenamiento, pero también se ubican aquellas empresas que realizan agro procesamiento y cuentan con su propio departamento de almacenaje.

La FAO (2003), identifica tres tipos de sistemas de almacenamiento los cuales son:

- Almacenamiento natural o a campo. Es el sistema más rudimentario, pero existen tipos de cultivo que así lo requieren, por ejemplo: la zanahoria, batata y yuca, un inconveniente es que el producto queda expuesto a plagas, enfermedades y condiciones climáticas adversas que pueden afectar su calidad. Para este caso no participan las *berries* en este tipo de almacenamiento y tampoco implica consumo de energía eléctrica para poder llevarlo a cabo.
- Ventilación natural. Es un sistema simple que consiste en crear estructuras de almacenamiento que aprovechen el flujo natural del aire alrededor del producto, de tal forma que, el calor y la humedad generada sean eliminados. Al igual que el anterior este tipo de sistema no aplica para las *berries* y tampoco implica consumo de energía eléctrica.
- Refrigeración y congelación. Este sistema es aplicable para las *berries* derivado de las condiciones propias de estas frutillas, el control de la temperatura en ellas es una de las herramientas principales para reducir el deterioro postcosecha, retardando su maduración y se minimiza el déficit de las presiones de vapor entre el producto y el medio ambiente, disminuyendo así su deshidratación. Aquí si aplica consumo de energía eléctrica el cual es variable dependiendo de la eficiencia de las cámaras de refrigeración empleadas y la cantidad de las mismas.

En esta fase pueden participar los mismos agricultores, o bien, bodegueros, los cuales se dedican exclusivamente al almacenaje y la comercialización en fresco de productos agrícolas; o bien agro procesadoras, que realizan transformación pero que también la comercializan en fresco.

### **3.3.2 Fase de procesamiento**

Con base en La Gra, Kitinoja y Alpizar (IICA, 2016), la fase de agro procesamiento incluye cualquier actividad que cambie física o químicamente la forma natural de la materia prima, esto con el propósito de alargar su periodo de vida o bien, de convertir el producto en una forma más de comercializarlo, esta actividad es óptima también cuando se trata de retardar la degradación del producto o cuando se quiere reducir pérdidas postcosecha.

La FAO (1993) menciona que, el procesamiento de materia prima es una actividad que puede llegar a tener diferentes grados de complejidad y para los cuales han existido diversas innovaciones al respecto, a su vez señala que independientemente al tipo de procesamiento, existen actividades preliminares, las cuales consisten en el lavado, selección, pelado, trozado o molienda, escaldado y otros.

De manera general, los métodos de preservación y conservación de frutas y hortalizas pueden estar dados de la siguiente manera (FAO, 1993):

- Métodos de preservación por períodos cortos: son la refrigeración, el almacenaje refrigerado con atmósfera modificada, los tratamientos químicos superficiales, las condiciones especiales de almacenaje y los sistemas de embalaje que involucran modificación de atmósfera.
- Métodos de preservación por acción química: incluyen la preservación con azúcar, la adición de anhídrido sulfuroso, la conservación por fermentación y salado, el tratamiento con ácidos (adición de vinagre) y el uso de aditivos químicos para control microbiano.
- Métodos de preservación por tratamientos físicos: son aquellos que emplean uso de altas temperaturas, uso de bajas temperaturas y el uso de radiaciones ionizantes.

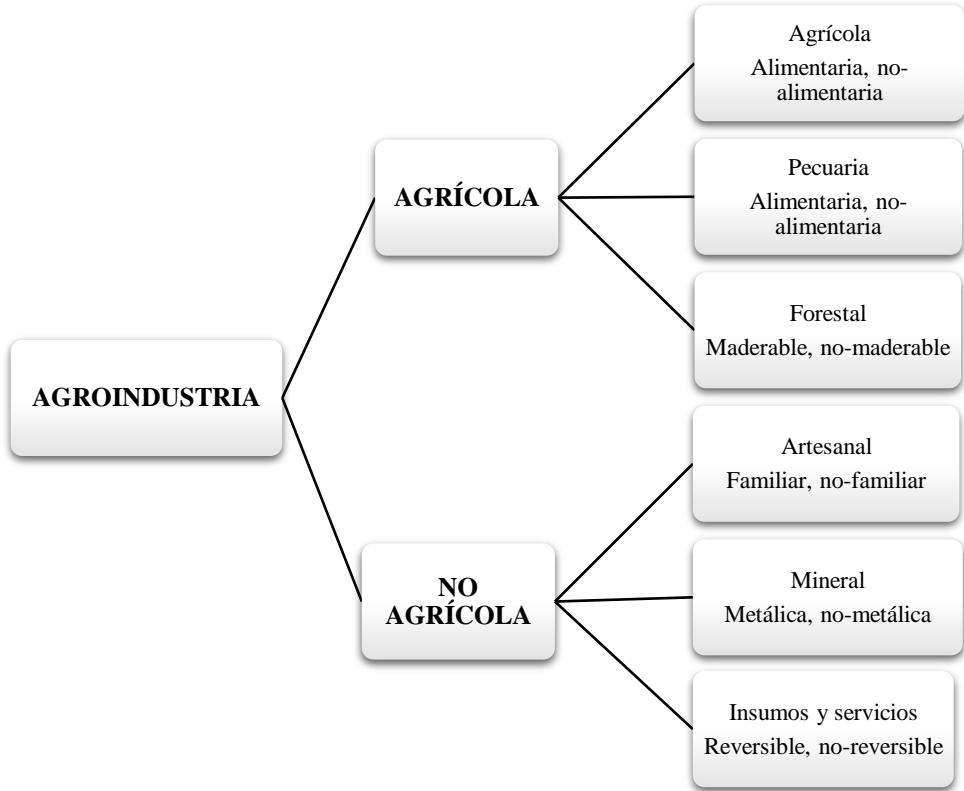
La FAO señala que en su mayoría estos métodos involucran la combinación de varias técnicas, por ejemplo, la combinación entre congelación y deshidratación y conservas, pasteurización y fermentación.

### **3.4 Características del sector agroindustrial**

De acuerdo con FIRCO (2017), el sector agroindustrial implica agregar valor a productos del sector agropecuario, silvicultura y pesca, facilitando la durabilidad y disposición del producto de una época a otra. La característica clave que define al sector agroindustrial es la naturaleza perecedera de las materias primas que emplea, de esta manera, las agroindustrias tienen una motivación para participar en la producción primaria o bien para desarrollar relaciones de abastecimiento a largo plazo con los productores, con el objetivo de mejorar la eficiencia en la producción, garantizar una oferta fiable, promover la adopción de variedades que se adapten mejor a las operaciones de procesamiento, etc. (Henson y Cranfield, 2013).

La figura 8, describe la clasificación de la agroindustria dependiendo del origen de su materia prima de procesamiento, partiendo de productos agrícolas o no agrícolas, que a su vez pueden tener su origen en los sectores: agrícola, pecuario, forestal, artesanal, mineral, insumos y servicios.

**Figura 8** Clasificación de la agroindustria



Nota: Mora, 1999.

Las operaciones básicas de los sistemas agroindustriales están caracterizadas por: el manejo de la postcosecha, del acondicionamiento de recursos y productos primarios para su comercialización, de la conservación de agro productos para consumo fuera de épocas y lugares de producción, de la extracción de componentes útiles de los recursos y agro productos y de la transformación parcial o total para la elaboración de productos de consumo intermedio o final (Mora, 1999, p. 21).

Mora (1999, p. 31), determina que la agroindustria es “una actividad intersectorial de la economía, que relaciona el trinomio: campo-fábrica-mercado y constituye un instrumento

básico para el llamado “desarrollo rural sustentable y participativo”, el cual depende de factores sociales, ecológicos, productivos y económicos y por lo tanto, éste se produce como una herramienta resultante de la organización de la gente de campo (capacitados como personas, familia, comunidad, nación) con la participación de las instituciones gubernamentales y privadas”.

### **3.4.1 Uso eficiente de la energía en los procesos agroindustriales**

La eficiencia energética contiene un gran potencial para su aplicación en cada uno de los sectores que conforman la economía de México. Los procesos de eficiencia energética aplicados de manera muy particular a las cadenas agroalimentarias, trae consigo una diversidad de beneficios para cada una de las fases que las conforman, principalmente para sus procesos productivos, tales como: la molienda de alimentos, el procesamiento de los cultivos obtenidos del sector agrícola, el bombeo de agua en la siembra agrícola, la edificación de las estructuras agrícolas, la refrigeración de productos en fresco y procesados, la conservación de los productos antes de llegar al usuario final y la iluminación en sus diversas etapas de la cadena agroalimentaria (Vega, 2015).

En las etapas de procesamiento y almacenamiento que conforman a una cadena agroalimentaria se ubican actores tales como los empresarios agroindustriales, donde la eficiencia energética toma interés por el consumo de electricidad que sus procesos conllevan. La agroindustria se define como una actividad integradora de la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal, de procesos de beneficio o transformación, así como la comercialización del producto, esto sin dejar fuera los aspectos de administración, mercadotecnia y financiamiento (Cury et al., 2017).

La eficiencia energética en el marco agroindustrial promueve una reducción de la intensidad energética, una disminución de la dispersión de GEI a la atmósfera y una maximización del uso de energías renovables (Cely, 2017). Durante los procesos de transformación en la agroindustria, los procesos de eficiencia energética cobran sentido en pro de la preocupación ambiental, procurando así producciones más sostenibles (Cury et al., 2017).

Tanto la eficiencia energética como incremento en el uso de energías renovables son pilares en el sector agroindustrial. Primero porque la producción de energía eléctrica es altamente

contaminante y en su proceso de combustión se generan residuos que contribuyen al deterioro ambiental y el cambio climático, y segundo porque los combustibles que mayormente se usan en la producción de energía eléctrica, no son renovables, por lo que es imperante la transición hacia el uso de energías más limpias y renovables (Estupiñan, Ballesteros y Pezo, 2022).

La eficiencia en el consumo de electricidad para el sector agroindustrial contribuye de manera significativa para la disminución de las emisiones de GEI, las ramas del sector industrial son pieza clave en el tema de cambio climático, por posicionarse en el primer lugar en uso y consumo de electricidad en sus procesos productivos, de tal forma que, la búsqueda de mecanismos que hagan más eficiente este consumo, repercute directamente no solo al medio ambiente si no a su vez en los costos fijos de operación de estas empresas.

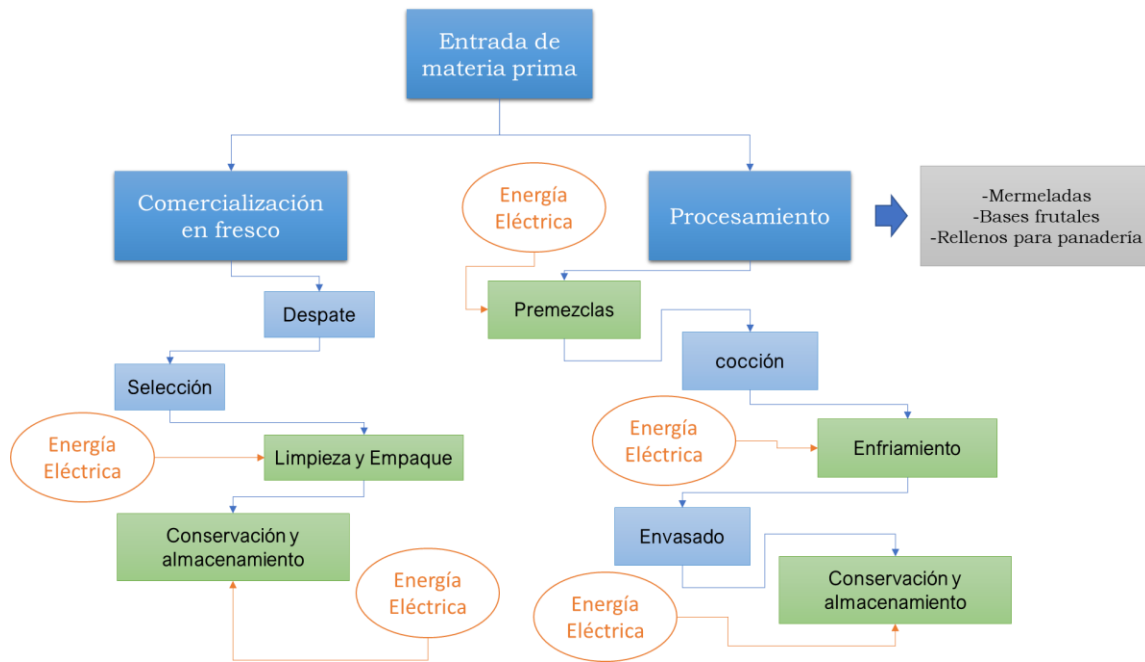
### **3.4.2 Proceso agroindustrial de *berries* en el estado de Michoacán**

La caracterización del proceso agroindustrial de *berries* en el estado de Michoacán, es sustancial para dar cuenta, primero de la operación que llevan a cabo estas empresas, pero sobre todo y para fines de la presente investigación, el poder identificar las fases y actividades que implican consumos de energía eléctrica.

Para poder dar cuenta de ello se revisó un trabajo de tesis realizado en la empresa Frexport S.A de C.V. De acuerdo con Estrada (2011), la actividad de la agroindustria de Frexport está dada por la comercialización de *berries* en fresco, así como por el procesamiento de frutas y vegetales transformándolos en: mermeladas, bases frutales para yogurt y rellenos para panadería.

Con base al trabajo realizado por Estrada (2011), en el cual realiza una descripción de la empresa Frexport así como la explicación de sus procesos, se llevó a cabo la elaboración de la figura 9, donde, a través de la identificación de cada actividad y de los equipos necesarios para cada operación, es que se pudo definir qué etapas del proceso conllevan consumo de energía eléctrica.

**Figura 9** *Proceso agroindustrial de berries.*



Nota: elaboración propia con base en Estrada (2011).

La comercialización en fresco por su parte conlleva consumo de energía eléctrica cuando las frutas y los vegetales requieren de limpieza antes de efectuar su empaque, posteriormente en la fase de conservación y almacenamiento, suelen ser necesarias cámaras de refrigeración o congelación según el destino final de las frutas y vegetales.

Cuando se trata de procesamiento entran en juego una serie maquinaria para el procesamiento de las frutillas, siguiendo con el estudio que realiza Estrada (2011), la maquinaria que utiliza en este caso de la empresa Frexport para la preparación de mermeladas, bases frutales y rellenos son: cazo de premezclas de 1600 litros, cazo de mezclas de 2400 litros, evaporador a presión (tipo olla exprés) de 4000 litros, cazo de estandarizado igual que el cazo de mezclas de 2400 litros, bascula de piso para el envasado final y bomba volumétrica de succión. En este sentido y para el procesamiento, el consumo de energía se da al momento del premezclado y mezclado, la fase de enfriamiento y en la de conservación almacenamiento de los productos finales.

### **3.4.3 Consumo de energía eléctrica en la agroindustria.**

La energía eléctrica en México y todo el mundo es un servicio primordial para el desarrollo de la economía, puesto que cada una de las actividades productivas del país, requieren de este necesario insumo. El sistema eléctrico de México clasifica a sus usuarios de acuerdo a su nivel de consumo, en el caso de la agroindustria, estas se ubican en la tarifa HM, HMC, que corresponden a una gran demanda en media tensión horaria, así como las tarifas OM, que pertenecen a gran demanda en media tensión ordinaria (SENER, 2018).

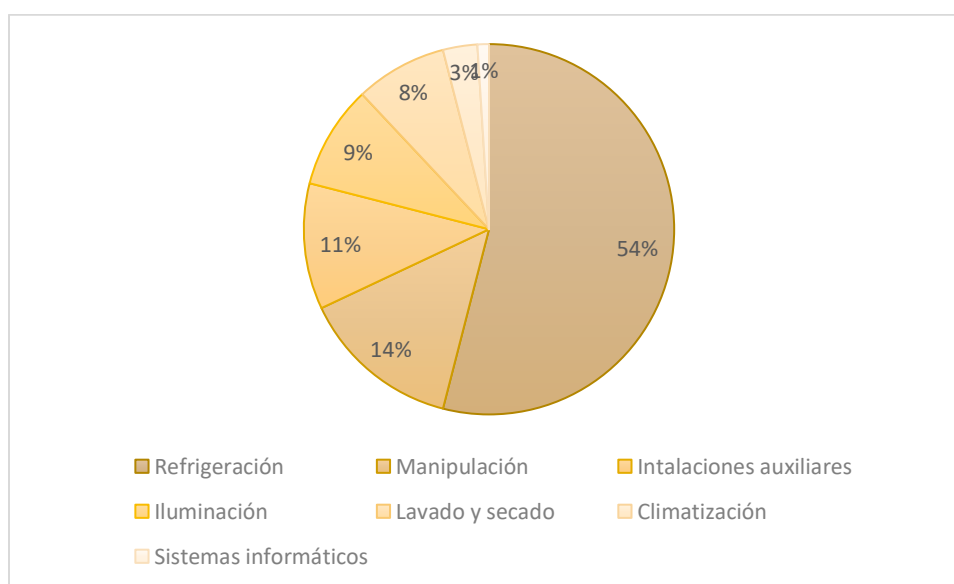
Michoacán se ubica en la región Centro Occidente, de acuerdo la clasificación regional que efectúa la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en el territorio nacional, esta región concentro el 24.6% del total de ventas de energía eléctrica registradas en el año 2017, posicionándose así con el nivel más alto dentro del total nacional (SENER, 2018). La región Centro Occidente la conforman los estados de: Nayarit, Colima, Aguascalientes, Zacatecas, Querétaro, San Luis Potosí, Michoacán, Guanajuato y Jalisco; en cuestión de consumo por estado, Michoacán se posiciona en el tercer lugar de la región a la que pertenece.

El consumo energético para industria alimentaria en México no se encuentra plenamente cuantificado, sin embargo es importante resaltar que dentro del sector industrial se contempla la energía suministrada a la industria alimentaria, a su vez de todas las áreas que requieren energía en la industria alimentaria tales como: producción agrícola, pesquera y ganadera; producción con tractores y maquinaria; producción de agroquímicos y fertilizantes inorgánicos; construcción de infraestructura; operaciones y postcosecha; almacenamiento y procesamiento de alimentos; transporte y distribución; y venta, preparación y consumo, las áreas más demandantes de energía en esta industria son el procesamiento y la distribución, cuyas actividades representan el 43% de la energía empleadas en este sector (FIDE, 2018).

Para dar cuenta de un panorama general de la distribución de consumos de energía eléctrica en una agroindustria, se debe realizar estudios energéticos de dichas entidades, un ejemplo de esto es el trabajo realizado por González et al., (2011), donde realizan la identificación y cuantificación de los consumos energéticos en cada una de las etapas de los procesos productivos de 10 empresas.

El estudio realizado por los autores, advierte que el consumo de energía eléctrica que requiere una agroindustria no solo es para las fases del proceso productivo, sino que también es atribuible a lo que ellos llaman “tecnologías horizontales”, las cuales son: equipos informáticos, sistemas de iluminación, equipos de climatización, compresores y sistemas de protección contra incendios en algunos casos (González et al., 2011). De esta manera la distribución del consumo de energía eléctrica para una agroindustria, tomando el caso de estudio de González et al., (2011) queda representado por la figura 10.

**Figura 10** Distribución del consumo de energía eléctrica por fases de producción.



Nota: elaboración propia con base en González et al., 2011.

Es preponderante el consumo de energía eléctrica en la fase de refrigeración, esto por ser una actividad constante para conservación del producto final. Especialmente para la agroindustria de *berries*, la fase de refrigeración y congelación son cruciales derivado de las características propias de estas frutillas y porque de acuerdo con Stupková (2016) hasta un 98% de la producción de *berries* en Michoacán su comercialización suele ser en fresco.

# CAPÍTULO IV. Marco metodológico

## 4.1 Introducción

En este capítulo se encuentra la descripción de la metodología y de los métodos de investigación implementados para llevar a cabo la presente investigación. El objetivo general de esta tesis es determinar en qué medida procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica de la agroindustria de *berries* del estado de Michoacán, México, pueden ser una alternativa de mitigación ante el cambio climático, para poder alcanzar este objetivo se hizo uso de la construcción de escenarios de variabilidad climática a través de los cuales se aborda el tema de cambio climático y de escenarios de eficiencia energética aplicados al consumo actual de electricidad de la agroindustria de *berries* de la entidad.

La simulación de escenarios de variabilidad climática implicó el uso de diversos métodos de investigación, se realizó descarga de datos de páginas web de libre acceso, tales como INEGI, Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, a su vez se hizo uso del Sistema de Información Geográfica libre y de código abierto (Qgis) para la introducción, análisis y procesamiento de datos, así como el programa de Excel para la presentación de los resultados.

En la construcción de escenarios de eficiencia energética, se utilizó el Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance (LEAP), la recolección de datos para utilizar este software, se solicitó a través del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), obteniendo el consumo de energía eléctrica del año 2014 de 80 empresas agroindustriales de *berries* del estado de Michoacán, a su vez se realizaron entrevistas con personal a cargo de la implementación de proyectos de eficiencia energético a nivel estatal y de FIDE central en la ciudad de México.

La finalidad de realizar escenarios de variabilidad climática es la de construir posibles realidades a futuro que permitan la toma de decisiones en el presente, los escenarios de

eficiencia energética permiten a su vez, simular los posibles efectos de tomar en cuenta estas prácticas como instrumentos de mitigación ante el aumento de temperatura del planeta.

Los datos recabados, procesados y obtenidos contribuyen a lograr el objetivo planteado, de manera cuantitativa se obtienen datos que visualizan los posibles futuros para la entidad en cuanto a su variabilidad climática y a su vez con los escenarios de eficiencia se identifica como las empresas agroindustriales están contribuyendo de manera directa al cambio climático a través de su consumo de electricidad.

#### **4.2 Construcción de escenarios de variabilidad climática**

Hoy en día, realizar estudios sobre proyecciones de cambio climático resulta fundamental para poder efectuar análisis de impactos, vulnerabilidad y adaptación, que permita una óptima toma de decisiones ante los posibles impactos proyectados que nos brinda el poder desarrollar simulaciones de cambios de temperatura y precipitaciones en determinados territorios.

Con base en el IPCC (2013), un escenario de cambio climático es: “una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherentes que se ha construido para su uso explícito en la investigación de las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, que a menudo sirve como entrada para los modelos de impacto. Las proyecciones climáticas a menudo sirven como materia prima para construir escenarios climáticos, pero los escenarios climáticos generalmente requieren información adicional, como el clima actual observado”.

En el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, se definieron cuatro escenarios denominados trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que muestran el forzamiento radiativo aproximado al año 2100 en relación con 1750. Lo que se refiere a la cantidad de radiación que se concentra en un metro cuadrado, esto es, 2.6 W/m<sup>2</sup>, en el caso del escenario RCP2.6; 4.5 W/m<sup>2</sup>, en el caso del escenario RCP4.5; 6.0 W/m<sup>2</sup>, en el caso de escenario RCP6.0, y 8.5 W/m<sup>2</sup>, en el caso del escenario RCP8.5 (IPCC - WGI, 2013, citado en Nava, 2020).

Los cuatro escenarios de RCP comprenden:

- Un escenario de mitigación conducente a un nivel de forzamiento muy bajo (RCP2.6).
- dos escenarios de estabilización (RCP4.5 y RCP6.0).
- y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8.5).

Para poder implementar esta metodología, el primer paso consiste en seleccionar una climatología base que permita determinar el escenario de cambio climático y que represente la climatología histórica del estado de Michoacán, por lo que la climatología seleccionada fue la que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), esto con base a sus datos históricos en un periodo de tiempo de 1960-2000. La simulación se realiza en cuanto a un aumento de temperatura y variación en la precipitación del estado de Michoacán, de tal forma que los datos que se descargan abarcan estas dos bases de datos climatológicas.

En cuanto a los escenarios de radiación o forzamiento radiativo (RCP), se hará la simulación en dos posibles panoramas que señala el IPCC y que son: el RCP 4.5, que representa escenarios medios en cuanto a emisiones, y son más estabilizadores; y el segundo sería el RCP 8.5, el cual es un escenario catastrófico, que supone altas emisiones de GEI. La simulación de estos dos escenarios se efectúa hacia un horizonte medio, cuya proyección abarca el periodo de 2045-2069.

Una vez que ya se tiene la descarga de la climatología base histórica a través del Servicio Meteorológico Nacional, se debe efectuar la descarga de la climatología para cada uno de los escenarios y del horizonte seleccionados, el portal que se usa para tal descarga es el que proporciona el Centro de Ciencias de la Atmósfera en la página web: <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>.

Al ingresar a la página se pueden observar los tipos de escenarios antes descritos y sus respectivos horizontes, en el caso de la presente investigación se toma los datos que corresponden a la temperatura promedio, así como los de precipitación. Páginas como el Atlas climático, representan el consenso y el trabajo de instituciones mexicanas (CCA/UNAM, IMTA, CICESE) que por largo tiempo han sido fuente de información de los escenarios de cambio climático regionalizados para México, información fundamental para los estudios de impactos del cambio climático regional (Nava, 2020).

También es necesario realizar la descarga de información espacial del área de estudio, esta extracción de información se realiza a través de INEGI, donde para el caso particular de esta tesis, se consideran los datos del estado de Michoacán, con la descarga de esta información se contribuye a una mejor apariencia para la elaboración de mapas del sitio de estudio.

#### **4.2.1 Herramienta Qgis**

El análisis que se puede realizar a un determinado espacio geográfico puede ser representado a través de dos grandes componentes: ya sea por su localización espacial específica o bien por los atributos que estas entidades tienen (Temes y Moya, 2021). Para poder representar estos dos componentes es que se hace uso de un SIG (Sistema de información geográfica).

Para la presente tesis se hace uso de un SIG, el cual tendrá como finalidad combinar bases de datos gráficas con bases de datos alfanuméricas para poder representar esta combinación dentro de un sistema de coordenadas geográficas y elaborar un tratamiento espacial de los datos, esto con la finalidad de obtener información significativa para la investigación (Temes y Moya, 2021).

El SIG que es empleado para la presente investigación es Qgis, el cual es una aplicación libre y de código abierto. A través de esta herramienta es que se llevó a cabo la elaboración de mapas que permitieron la apreciación de cambios de temperatura de acuerdo a la temperatura base y las proyecciones de escenario seleccionado de aumento de temperatura para la región de estudio.

Para poder determinar las proyecciones totales de los escenarios de cambio climático se hizo uso de la herramienta en Qgis de la calculadora ráster, en la cual realizo la siguiente operación: clima base + anomalía = proyección total, lo cual permitió generar cada una de las capas de proyección para cada uno de los modelos, con los diferentes escenarios y horizonte temporal definidos de cambio climático (Nava, 2020).

#### **4.2.2 Excel, como herramienta de análisis de datos**

A través de Microsoft Excel se generó la base de datos que contiene la información de clima base, así como las anomalías del escenario de cambio climático seleccionado. El manejo de

Excel facilito el análisis de los datos obtenidos, permitiendo la generación de tablas y de gráficas que muestran los resultados de las simulaciones efectuadas tanto para cambio de temperatura como de precipitación para el estado de Michoacán.

### **4.3 Construcción de escenarios de eficiencia energética a través de LEAP**

Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance (LEAP) es una herramienta de software ampliamente utilizada para el análisis de políticas energéticas y la evaluación de la mitigación del cambio climático desarrollada en el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (Heaps, 2021).

Una ventaja importante de LEAP son sus bajos requisitos de datos y se basa en la energía física y las políticas ecológicas. LEAP ha sido utilizado por investigadores individuales y Organizaciones proyectar futuros suministros energéticos, consumos y emisiones de GEI que les permitan formular políticas energéticas (Hanif y Gokhan, 2018).

LEAP es una herramienta de modelado integrada basada en escenarios que se puede utilizar para rastrear el consumo de energía, la producción y la extracción de recursos en todos los sectores de una economía. Se puede utilizar para contabilizar tanto las fuentes y sumideros de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del sector energético como del sector no energético. Además de rastrear los GEI, LEAP también se puede utilizar para analizar las emisiones de contaminantes atmosféricos locales y regionales, y los contaminantes climáticos de vida corta (SLCP), lo que lo hace muy adecuado para estudios de los beneficios climáticos conjuntos de la reducción de la contaminación del aire local (Heaps, 2021).

LEAP admite una amplia gama de metodologías de modelado diferentes: en el lado de la demanda, estas van desde técnicas de contabilidad de uso final de abajo hacia arriba hasta modelos macroeconómicos de arriba hacia abajo. LEAP también incluye una gama de metodologías especializadas opcionales, incluido el modelado de rotación de existencias para áreas como la planificación del transporte. Por el lado de la oferta, LEAP proporciona una gama de metodologías de contabilidad, simulación y optimización que son lo suficientemente potentes para modelar la generación del sector eléctrico y la planificación de la expansión de la capacidad, y que también son lo suficientemente flexibles y transparentes como para

permitir que LEAP incorpore fácilmente datos y resultados de otros modelos más especializados (Heaps, 2021).

La finalidad de implementar este software, es realizar simulaciones a partir de un escenario base con los consumos energéticos de las agroindustrias de *berries* situadas en el estado de Michoacán. La simulación de escenarios permitirá analizar la demanda de consumo de energía eléctrica con los datos obtenidos del año 2014 (el cual será el año base del escenario), la proyección a futuro se generará con dos escenarios:

- El primero asumiendo los consumos actuales con una demanda prospectiva, así como sus respectivas estimaciones de GEI a la atmósfera.
- Un segundo escenario será, asumiendo procesos de eficiencia energética y sus respectivas estimaciones de GEI.

Lo anterior podrá ser contrarrestado con los resultados obtenidos de las simulaciones de variación de temperatura y precipitaciones del estado de Michoacán para poder demostrar si los procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de electricidad en la agroindustria, pueden considerarse como un mecanismo altamente significativo para la reducción de emisiones de GEI, que de manera indirecta se arrojan a la atmósfera por consumo de electricidad.

# CAPÍTULO V. Resultados

## 5.1 Introduccion

En este apartado se plasman los resultados obtenidos del presente trabajo. Como ya se detalló en el capítulo 4, se hizo uso de dos instrumentos metodológicos para poder abarcar y estudiar el problema planteado, por lo tanto, primero se detalla los resultados obtenidos a partir de la simulación de escenarios de cambio climático para el estado de Michoacán.

Posteriormente se muestran datos obtenidos a través del software de Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de Largo Alcance (LEAP, por sus siglas en ingles) y una vez realizado el análisis de los resultados, se procede a la construcción del apartado de conclusiones.

## 5.2 Escenarios de variabilidad climática para el estado de Michoacán

El éxito y la posición que ocupa el estado de Michoacán respecto a la producción agrícola de *berries* a nivel nacional deriva, entre otros aspectos, en las condiciones climáticas que posee, por lo tanto, un estudio de variabilidad climática de manera focalizada en el estado, resulta relevante para su análisis.

El estudio de variabilidad climática para el estado de Michoacán en este trabajo, está constituido bajo dos aspectos, el primero es la variabilidad de temperatura y el segundo tiene que ver con la variabilidad en la precipitación. Ambos se abarcan bajo los supuestos de dos escenarios: el escenario RCP 4.5, que considera una simulación climática estabilizadora, esto bajo el supuesto de emisiones a la atmósfera a un ritmo similar de las que se tienen registradas históricamente; el escenario RCP 8.5, se concibe como catastrófico, aquí se consideran que las emisiones a futuro serán en mayor proporción a la registradas históricamente. Ambos escenarios se plantean a un corto plazo (periodo 2015-2039) y a un mediano plazo (periodo 2045-2069), considerando los registros climáticos históricos que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional del periodo 1950-2000.

## 5.2.1 Temperatura

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de la proyección de los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, considerando un corto y mediano plazo para ambos escenarios, específicamente de la variabilidad de temperatura para el estado de Michoacán.

### 5.2.1.1 Escenarios RCP 4.5 y 8.5 a un corto plazo (2015-2039)

Una vez efectuado la extracción de datos, se realizó la construcción de escenarios de variabilidad en la temperatura para el estado de Michoacán. Tomando como base la climatología histórica que proporciona el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) en un periodo que abarca del año 1961 al 2000 y con el modelo de circulación CNRMCM5, se obtuvieron los datos correspondientes a las trayectorias de concentración representativas 4.5 y 8.5, los datos obtenidos se encuentran concentrados en la tabla 2, la cual indica los meses del año, la temperatura histórica, las anomalías y proyecciones totales a futuro para ambos escenarios.

**Tabla 2** Resultados de la variabilidad de temperatura bajo el modelo de simulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5, en un corto plazo, en el estado de Michoacán, México.

Mes	Histórico (1960-2000) °C	Anomalía °C	Proyección Total, RCP 4.5 (2015-2039) °C	Anomalía °C	Proyección Total, RCP 8.5 (2015-2039) °C
Enero	18.25	0.51	18.76	0.87	19.12
Febrero	19.09	0.42	19.51	0.67	19.76
Marzo	20.82	0.89	21.71	0.83	21.65
Abril	22.52	0.75	23.27	0.98	23.5
Mayo	23.70	0.73	24.43	1.02	24.72
Junio	23.14	0.47	23.61	0.85	23.99
Julio	21.90	0.89	22.79	0.85	22.75
Agosto	21.80	0.84	22.64	0.86	22.66
Septiembre	21.48	0.92	22.4	0.91	22.39
Octubre	21.04	0.94	21.98	0.91	21.95
Noviembre	20.04	0.93	20.97	0.91	20.95
Diciembre	18.67	0.85	19.52	0.82	19.49

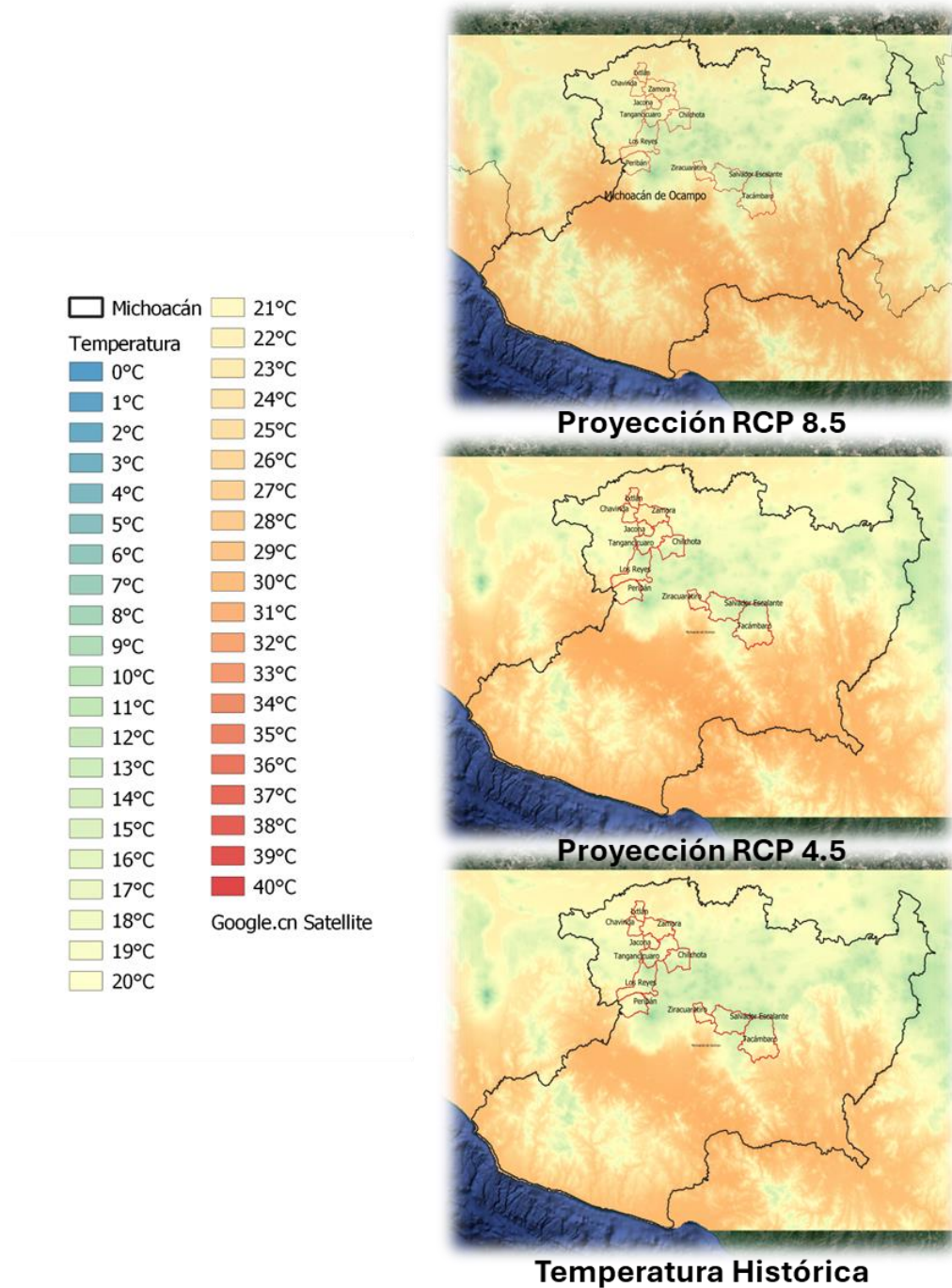
Nota: elaboración propia, con datos obtenidos a través del software Qgis.

Las anomalías obtenidas para el escenario RCP 4.5 prevén un aumento de temperatura para la entidad en promedio de 0.42 °C. La menor anomalía se presenta en el mes de febrero, mientras que las más altas se ubican en los meses de septiembre, octubre y noviembre.

En cuanto a las anomalías del escenario RCP 8.5, se detecta un incremento respecto a las anomalías obtenidas bajo el escenario RCP 4.5. Las variaciones de temperatura para este segundo escenario oscilan de los 0.67 °C a 1.02 °C, la mayor anomalía se concentra en los meses de abril y mayo y la menor, al igual que con el RCP 4.5, se da en el mes de febrero.

La figura 11 contiene los mapas obtenidos de la simulación de variabilidad de temperatura en el corto plazo, donde de forma visual se puede identificar los aumentos previstos para la entidad. La construcción de mapas a través de procesamiento de datos, ayuda para identificar la climatología en general del estado y en este caso, para ubicar las regiones donde principalmente se realiza mayormente la producción de *berries*.

**Figura 11** Mapas de temperatura media histórica en el periodo 1950-200, respecto a las proyecciones de temperatura media en un corto plazo (2015-2039) con el modelo CNRMCM5 RCP 4.5 Y 8.5 en el mes de julio en Michoacán, México.



Nota: elaboración propia a partir de Qgis, considerando el mes de julio por ser cuando a modo de temporal se inicia con el cultivo de *berries*.

### 5.2.1.2 Escenarios RCP 4.5 y 8.5 a un mediano plazo (2045-2069)

Siguiendo con la modelación de temperatura para la entidad, se efectuaron las proyecciones de las trayectorias de concentración representativa 4.5 y 8.5, pero en este caso con un horizonte medio, que comprende del año 2045 a 2069. Los resultados obtenidos de estos escenarios se encuentran la tabla 3, la cual concentra las anomalías obtenidas, así como la proyección total para ambos escenarios

**Tabla 3** Resultados de la variabilidad de temperatura bajo el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5, a un futuro medio, en el estado de Michoacán, México.

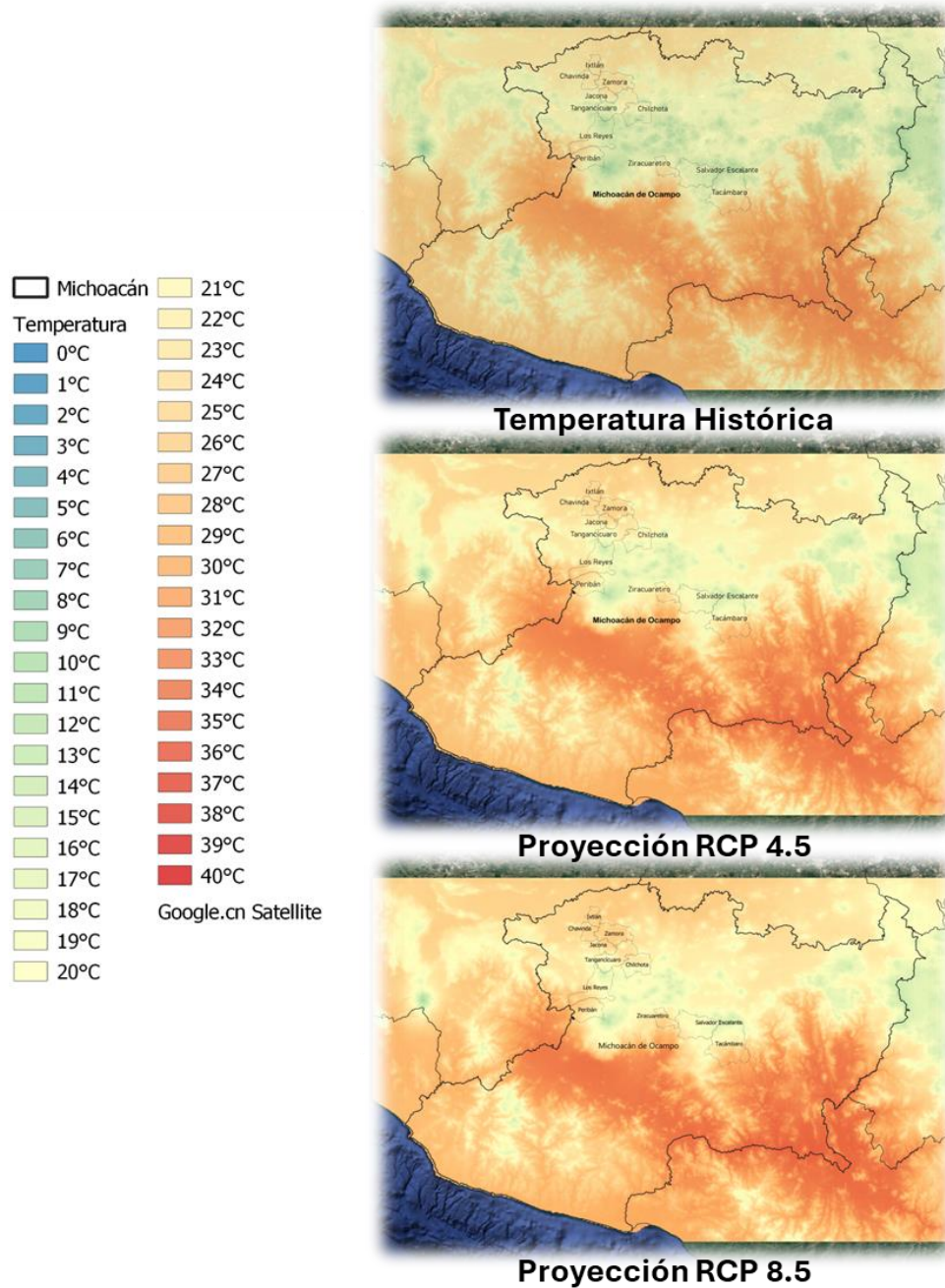
Mes	Histórico (1961-2000) °C	Anomalía RCP 4.5 °C	Proyección Total, RCP 4.5 (2045-2069) °C	Anomalía RCP 8.5 °C	Proyección Total, RCP 8.5 (2045-2069) °C
Enero	18.25	1.55	19.80	1.97	20.22
Febrero	19.09	1.45	20.54	2.05	21.14
Marzo	20.82	1.69	22.51	2.29	23.11
Abril	22.52	1.80	24.32	2.34	24.86
Mayo	23.70	1.63	25.33	2.24	25.94
Junio	23.14	1.48	24.62	1.93	25.07
Julio	21.90	1.48	23.38	2.01	23.91
Agosto	21.80	1.56	23.36	2.08	23.88
Septiembre	21.48	1.61	23.09	2.03	23.51
Octubre	21.04	1.60	22.64	2.03	23.07
Noviembre	20.04	1.35	21.39	2.09	22.13
Diciembre	18.67	1.55	20.22	2.03	20.70

Nota: elaboración propia, con datos obtenidos a través del software Qgis.

La simulación realizada bajo un escenario con un RCP 4.5 a un periodo medio, indica un aumento de temperatura para el estado de Michoacán de poco más de 1.5 °C, es decir un grado más arriba de lo previsto en el corto plazo. Las anomalías más altas se ubican en los meses de marzo, abril y mayo, así como para septiembre y octubre. Con la simulación de escenario a través del RCP 8.5, las anomalías se tornan alarmantes, el cual prevé que el aumento de la temperatura en la entidad puede llegar a ser de 2 °C a 2.5 °C mayor a los registros históricos, las anomalías más altas se registran en los meses de marzo, abril y mayo.

La figura 12 contiene los mapas obtenidos de la simulación en el mediano plazo en cuanto a la variabilidad de temperatura en el estado. Con este mapa a diferencia de la figura 11, la paleta de colores cálida, se acentúa con los incrementos de temperatura previstos con el RCP 8.5, es importante señalar como la región productora de *berries* se ve afectada con los posibles cambios en la temperatura señalados.

**Figura 12** Mapas de temperatura media histórica en el periodo de 1950-2000, respecto a la proyección de temperatura media a un futuro medio (2045-2069), con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5 en el mes de mayo, en el estado de Michoacán, México.



Nota: elaboración propia a través de Qgis y considerando el mes de mayo por tener una de las más altas anomalías de aumento de temperatura.

## 5.2.2 Precipitación

En este apartado se presentan los resultados obtenidos, pero ahora en cuanto la variabilidad de las precipitaciones previstas para el estado Michoacán, al igual que con la temperatura se realiza la modelación con los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, considerando a su vez, el corto plazo (2015-2039) y el mediano plazo (2045-2069).

### 5.2.2.1 Escenarios RCP 4.5 y 8.5 a un corto plazo (2015-2039)

Una vez realizada la simulación de escenarios para la variabilidad en las precipitaciones del estado de Michoacán, se obtuvieron los datos que se concentran en la tabla 4, en ella se muestran las anomalías obtenidas y la proyección total que se prevén para la entidad con los escenarios RCP 4.5 y 8.5 respecto al periodo histórico.

**Tabla 4** Resultados de la variabilidad en precipitaciones con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5, en el corto periodo (2015-2039), para el estado de Michoacán, México.

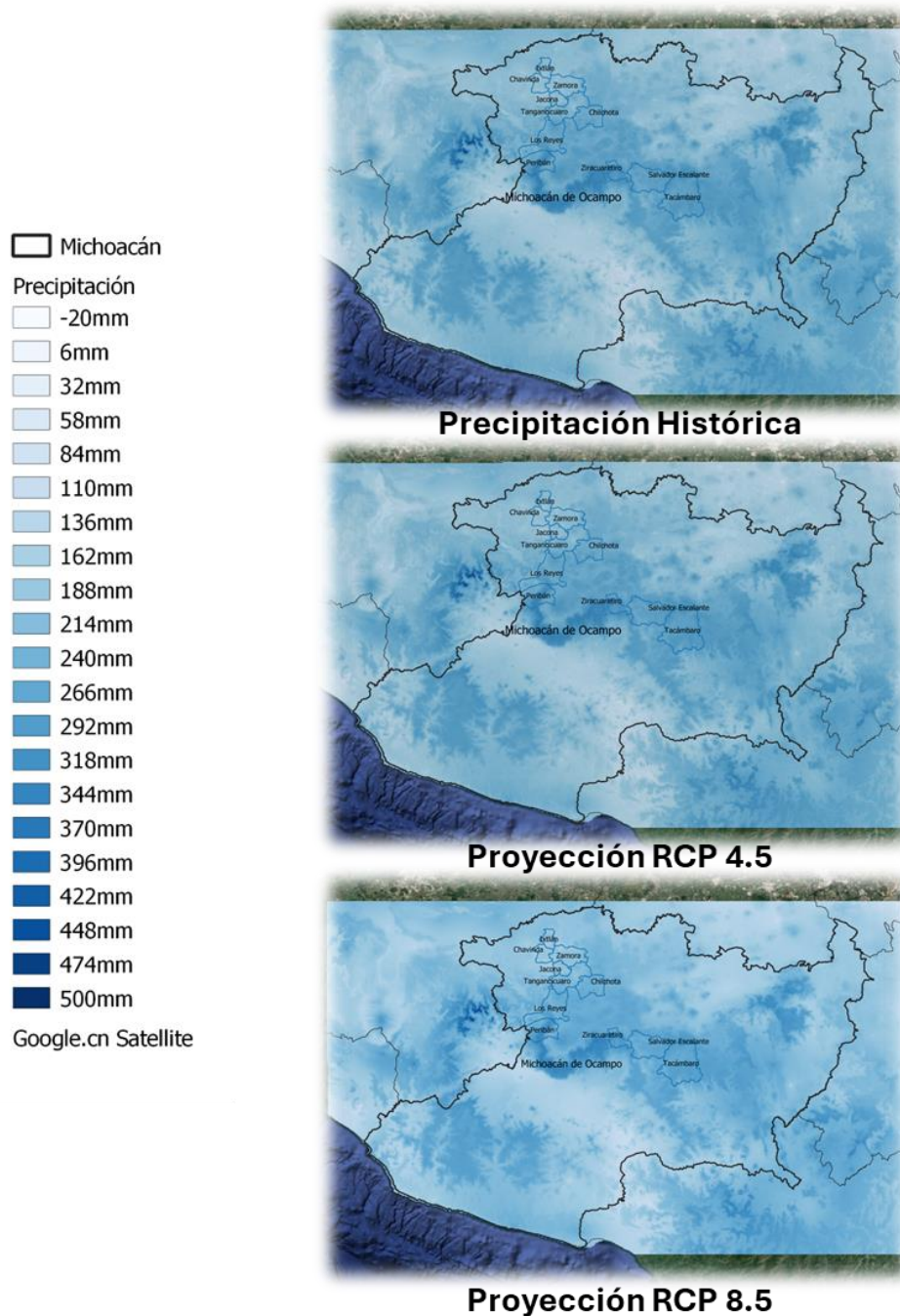
Mes	Histórico (1960-2000) (mm)	Anomalía RCP 4.5 (mm)	Total RCP 4.5 CNRMCM (2015-2039) (mm)	Anomalía RCP 8.5 (mm)	Total RCP 8.5 CNRMCM (2015-2039) (mm)
Enero	20.45	10.41	30.86	-1.00	19.45
Febrero	4.81	-3.62	1.19	0.61	5.42
Marzo	4.48	-3.03	1.45	0.38	4.86
Abril	6.02	1.81	7.83	0.78	6.80
Mayo	34.83	21.87	56.70	-0.66	34.17
Junio	166.50	5.14	171.64	2.49	168.99
Julio	220.66	-25.79	194.87	1.83	222.49
Agosto	205.79	13.36	219.15	13.17	218.96
Septiembre	189.75	-8.86	180.89	16.10	205.85
Octubre	83.76	4.09	87.85	0.84	84.60
Noviembre	22.18	0.52	22.70	-4.70	17.48
Diciembre	9.14	-9.88	-0.74	-6.56	2.58

Nota: elaboración propia a través del software Qgis.

Estos resultados indican que bajo el escenario RCP 4.5, los meses de enero, mayo y agosto mantendrían un ligero aumento de precipitaciones, mientras que, el mes de julio tendría una disminución significativa respecto al resto de los meses en precipitaciones, la anomalía más alta en cuanto a un posible aumento de las precipitaciones se da en el mes de mayo.

Con el escenario RCP 8.5, los datos cambian significativamente, los números negativos se concentran en los meses de enero, mayo, noviembre y diciembre, mientras que los incrementos en las precipitaciones se van para los meses de septiembre y octubre. A continuación, se presenta la figura 13, la cual concentra las proyecciones realizadas, pero a través de mapas del estado de Michoacán. La figura 13, presenta los mapas obtenidos de la entidad, en cuanto a su variabilidad de precipitaciones en el mes de julio, considerando el mapa histórico y la proyección total del RCP 4.5 y 8.5.

**Figura 13** Mapas de variabilidad de precipitaciones históricas en el periodo de 1950-2000, respecto a la proyección a un corto plazo (2015-2039) con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 y 8.5 en el mes de julio, en el estado de Michoacán, México.



Nota: elaboración propia.

### 5.2.2.2 Escenarios RCP 4.5 y 8.5 a un mediano plazo (2045-2069)

Al efectuar la simulación de los escenarios RCP 4.5 y 8.5 a un plazo medio, es decir, del año 2045 a 2069, los resultados que se obtuvieron se concentran en la tabla 5, donde se pueden observar las anomalías obtenidas, así como las proyecciones totales previstas en precipitaciones para el estado de Michoacán.

**Tabla 5** Resultados de la variabilidad en precipitaciones con el modelo CNRMCM5 RCP 4.5 Y 8.5, a un futuro medio (2045-2069), para el estado de Michoacán, México.

Mes	Histórico (1961-2000) (mm)	Anomalía RCP 4.5 (mm)	Total RCP 4.5 CNRMCM (2045-2069) (mm)	Anomalía RCP 8.5 (mm)	Total RCP 8.5 CNRMCM (2045-2069) (mm)
Enero	20.45	-4.05	16.4	-4.29	12.11
Febrero	4.81	-2.85	1.96	-0.72	1.24
Marzo	4.48	-0.51	3.97	-3.51	0.46
Abril	6.02	1.07	7.09	0.42	7.51
Mayo	34.83	9.63	44.46	-7.12	37.34
Junio	166.5	3.94	170.44	6.58	177.02
Julio	220.66	-11.51	209.15	0.29	209.44
Agosto	205.79	-26.27	179.52	20.89	200.41
Septiembre	189.75	19.9	209.65	-4.37	205.28
Octubre	83.76	-2.03	81.73	5.09	86.82
Noviembre	22.18	12	34.18	-13.76	20.42
Diciembre	9.14	-6.43	2.71	3.87	6.58

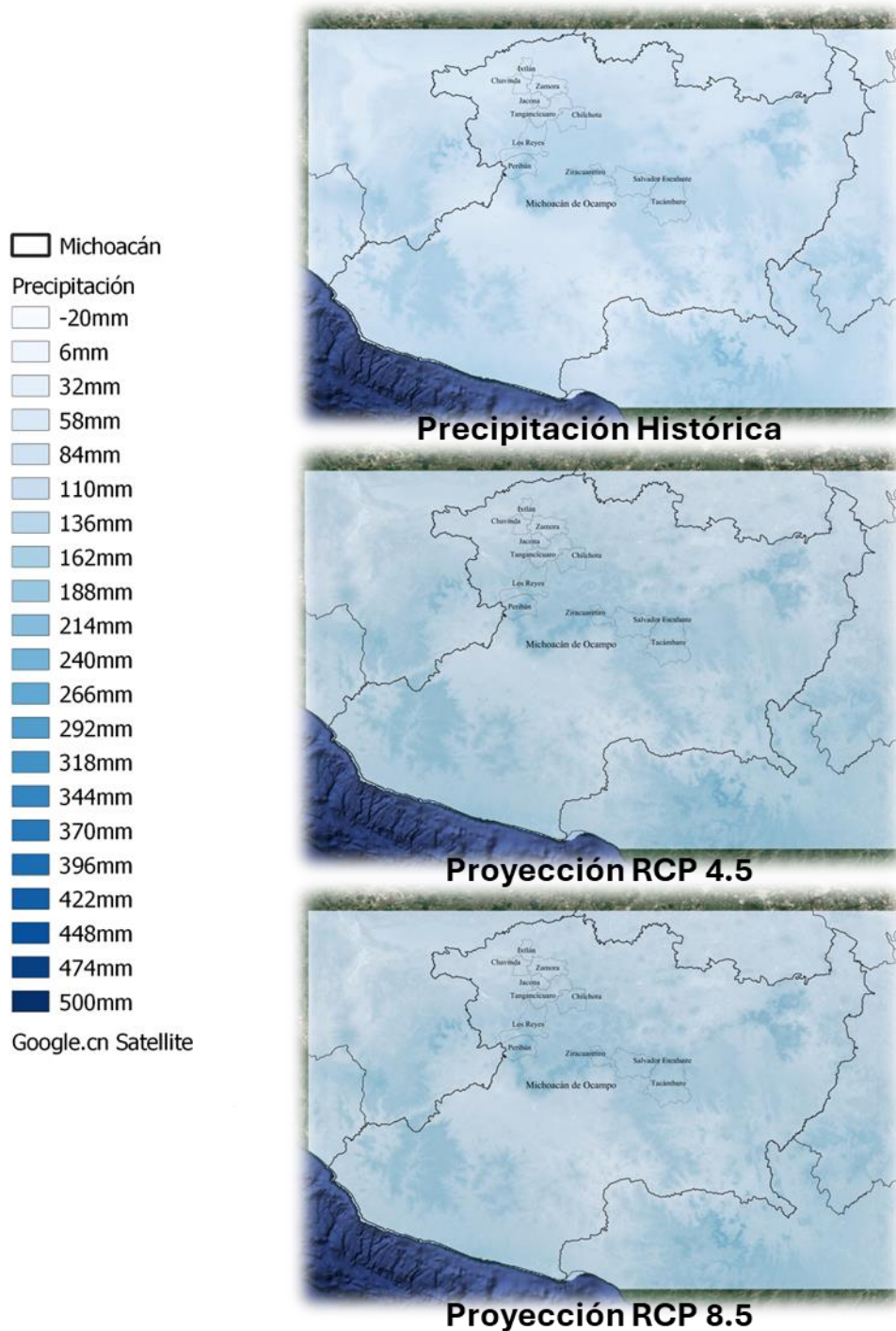
Nota: elaboración propia, con datos obtenidos a través del software Qgis.

Los datos obtenidos bajo el escenario RCP 4.5 indican precipitaciones inferiores respecto al periodo histórico en los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto, octubre y diciembre; mientras que los meses con incrementos serían los de abril, mayo, junio, septiembre y noviembre. Bajo este escenario y a diferencia del corto plazo, en el futuro medio, las variaciones se acentúan, tanto en para los meses en los que disminuyen las precipitaciones como en aquellos que aumenta, lo cual puede indicar eventos extremos, por un lado, aumento de sequías y por el otro, periodos de lluvias intensas.

Con el escenario RCP 8.5, los meses de enero, febrero, marzo, julio, agosto, noviembre y diciembre, obtienen números negativos, es decir una baja en sus precipitaciones promedio históricas, mientras que, los meses de abril, mayo, junio, septiembre y octubre, tendrían una tendencia de aumento de lluvia, en algunos meses, como es el caso de agosto, la variabilidad de lluvia es muy variable respecto a cada escenario, con un RCP 4.5 la premisa es que tenderán a disminuir el agua pluvial de la entidad, mientras que con un RCP 8.5 muestra incrementos.

La elaboración de la figura 14 contiene los mapas obtenidos en el mediano plazo de acuerdo a la variabilidad en las precipitaciones de la entidad, se toma el mes de agosto, porque de manera peculiar, con un RCP 4.5 se estima una disminución pluvial, mientras que con el RCP 8.5 se asumen aumentos en las mismas, donde, ambos casos son perjudiciales para la producción *berries*. La disminución de precipitaciones es preocupante por la alta demanda de agua que requieren estos cultivos, pero a su vez, el agua en exceso puede alterar el cultivo.

**Figura 14** Mapas de variabilidad de precipitaciones históricas en el periodo de 1950-2000, respecto a la proyección con el modelo de circulación CNRMCM5 RCP 4.5 Y 8.5, a un futuro medio (2045-2069) en el mes de agosto, en Michoacán, México.



Nota: elaboración propia

### **5.3 Escenarios de eficiencia en el consumo de energía eléctrica de las agroindustrias de *berries* en el estado de Michoacán, México**

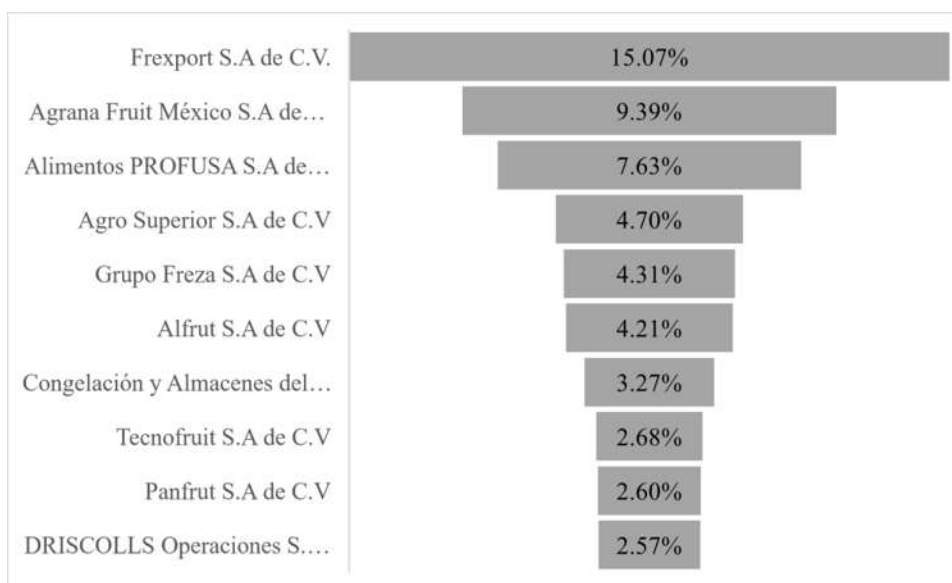
A través del software LEAP, se presentan los hallazgos obtenidos del análisis realizado a las empresas agroindustriales de *berries* en el estado de Michoacán. Es importante resaltar que para poder considerar a las agroindustrias de *berries* del estado, como objeto de estudio de la presente tesis, es porque estas unidades económicas se encuentran dentro de la tarifa que denomina Comisión Federal de Electricidad (CFE) como HM (GDMTH en el nuevo esquema tarifario) y OM (GDMTO en el nuevo esquema tarifario), que representan a la gran demanda en media tensión horaria y a la gran demanda en media tensión ordinaria respectivamente y que a su vez, están asociadas al sector industrial.

De acuerdo con la última prospectiva efectuada por la Secretaría de Energía (SENER, 2018), la mayor demanda de energía eléctrica se asocia al sector industrial con una participación del 56.5%. Michoacán, con base en la clasificación de regiones que mantiene CFE, se ubica en la región Centro Occidente, la cual de acuerdo con la SENER mantiene una mayor participación de consumo a nivel nacional, con un porcentaje del 21.9% del total nacional.

Específicamente para Michoacán su participación de consumo dentro de la región Centro Occidente es del 14.7% en consumo, ocupando así, el quinto lugar respecto a los estados que conforman a la regional los cuales son: San Luis Potosí, Colima, Nayarit, Guanajuato, Michoacán, Jalisco, Querétaro, Zacatecas y Aguascalientes (SENER, 2018).

Las agroindustrias que actualmente se encuentran situadas en el estado de Michoacán y que están enfocadas en la conservación, procesamiento y comercialización de *berries* son principalmente 80 unidades económicas, donde, el consumo de energía eléctrica total consumida en el año 2014 de estas empresas fue de 98,952,789 kWh. Los consumos dados por cada unidad económica están proporcionados por la CFE a través del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE), con base en estos datos se realiza la gráfica de la figura 15, en la cual se ponderaron las 10 empresas con los consumos más altos de las 80 unidades de análisis.

**Figura 15** Empresas agroindustriales de *berries* situadas en el estado de Michoacán, México, con los consumos de energía eléctrica más elevados en el año 2014.



Nota: elaboración propia con datos de consumo de energía eléctrica que proporcionó el FIDE.

Las primeras tres empresas; Frexport, Agrana y Profusa, son quienes tienen el consumo más alto, las cuales, están enfocadas en la comercialización de *berries* en fresco y congelada para la industria alimentaria nacional e internacional, pero a su vez, realizan procesamiento de mermeladas, cajetas, jarabes, entre otros más productos.

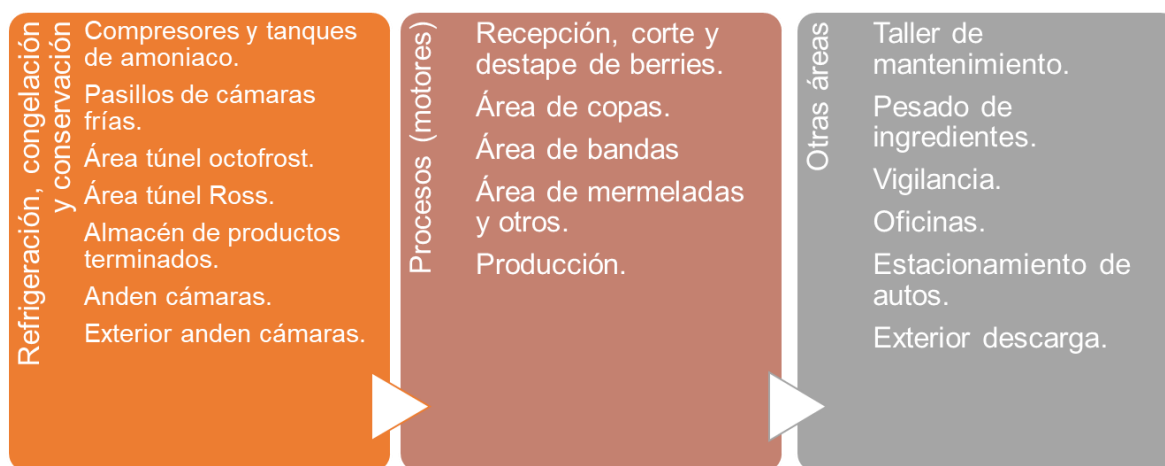
Aunado a la información de consumo de energía eléctrica de las unidades agroindustriales estudiadas, fue necesario contar con información sobre fichas técnicas de eficiencia energética elaboradas por el FIDE, que permitieran una ponderación de eficiencia en el ahorro de energía eléctrica a los consumos existentes y reales de las unidades económicas estudiadas. Por lo tanto, fue necesario el acercamiento al personal encargado de realizar estos análisis de eficiencia, en este caso, las consultas fueron con el jefe de zona de Zamora del FIDE, el Ingeniero de Proyectos a nivel regional del FIDE en la ciudad de Morelia y con el área de subdirección técnica de FIDE central en la Ciudad de México.

Con la información obtenida y considerando una aproximación a la realidad, ya que cada unidad económica tiene sus propias particularidades, se determinó que el consumo de energía eléctrica en una agroindustria de *berries* del estado de Michoacán, se encuentra distribuida

de la siguiente manera: área de refrigeración, congelación y conservación en un 46.14%, área de producción donde el mayor consumo de electricidad radica en los motores con un 43.43% y otras áreas en un 10.43%.

Estas tres grandes áreas tienen respectivamente sus departamentos, los cuales pueden variar dependiendo de la estructura y necesidades de cada una de las 80 agroindustrias que se estudiaron, sin embargo, se realizó un esbozo de manera general a través de la figura 16, para dar cuenta de manera de dichos espacios.

**Figura 16** Representación de la distribución general tentativa de áreas de una agroindustria de berries en el estado de Michoacán, México.



Nota: elaboración propia.

### 5.3.1 Procesamiento de información con el software LEAP

Para el procesamiento de datos en LEAP y poder generar el escenario de referencia a futuro, se establecieron algunos parámetros que inciden en el comportamiento del consumo de la energía eléctrica, es importante destacar que los porcentajes establecidos pueden variar de acuerdo a las necesidades particulares de cada empresa y también del entorno económico en el cual se desenvuelven, el periodo que se consideró fue del año 2014 a 2040.

Los resultados obtenidos están concentrados en la tabla 6. Se establecieron dos ramas, en la primera se hizo el registro del consumo real que tienen las 80 agroindustrias de *berries* del

estado de Michoacán del año 2014, los 98,952.8 MWh, es la sumatoria de la energía eléctrica consumida en dicho año. La segunda rama importante denominada “agroindustrias con consumo eficiente”, es el resultado del análisis de estudios técnicos realizados por parte de FIDE a algunas empresas que forman parte del listado y de la experiencia del personal consultado de dicha dependencia, los 50,465,6 MWh, serían el resultado de que las empresas agroindustriales implementaran procesos de eficiencia en su consumo de energía eléctrica, con lo cual, se tiene estimado que aproximadamente podrían disminuir hasta en un casi 49% su consumo.

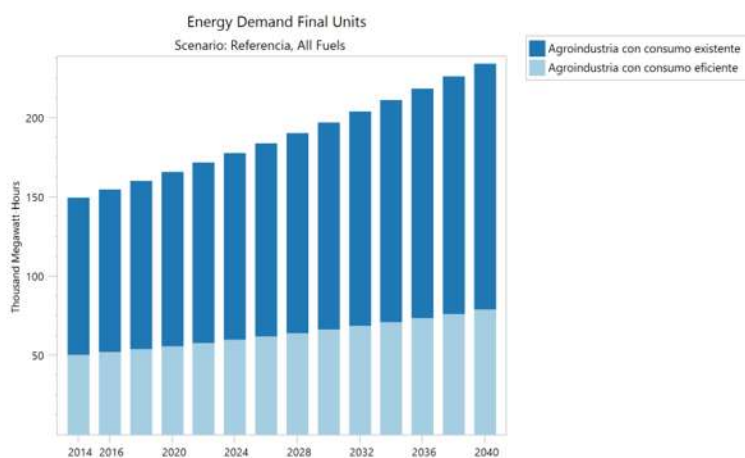
**Tabla 6** Resultados obtenidos a través de LEAP, sobre los consumos reales y con eficiencia en MWH, de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México.

Ramas	2014	2040	Total
<b>Agroindustria con consumo existente</b>	<b>98,952.8</b>	<b>154,957.7</b>	<b>3,373,629.9</b>
Refrigeración congelación y conservación	45,656.8	71,435.5	1,555,283.0
Producción	42,975.2	67,298.1	1,465,167.5
Otras áreas	10,320.8	16,224.1	353,179.5
<b>Total</b>	<b>98,952.8</b>	<b>154,957.7</b>	<b>3,373,629.9</b>
<b>Agroindustria con consumo eficiente</b>	<b>50,465.6</b>	<b>79,027.9</b>	<b>1,720,540.1</b>
Refrigeración congelación y conservación	23,284.8	36,463.5	793,857.2
Producción	21,917.2	34,321.8	747,230.6
Otras áreas	5,263.6	8,242.6	179,452.3
<b>Total</b>	<b>50,465.6</b>	<b>79,027.9</b>	<b>1,720,540.1</b>

Nota: elaboración propia a través del software LEAP y datos que proporciona el FIDE.

De acuerdo con los porcentajes establecidos para las tres áreas que se describen en la figura 6 es que se realiza la distribución del consumo global para estas áreas. La figura 17 se obtiene de realizar la proyección al 2040 del consumo de electricidades de las 80 unidades, con consumo existente y con consumo eficiente, esta proyección se realiza tomando en cuenta los parámetros de crecimiento en el consumo de energía eléctrica a nivel nacional.

**Figura 17** Gráfica del consumo existente y eficiente en MWh, de las 80 agroindustrias de berries del estado de Michoacán, México, en un periodo del 2014 a 2040.



Nota: elaboración propia a través del software LEAP y datos que proporciona el FIDE.

Los aumentos anuales reales y que proporciona la SENER a través de sus reportes de balance energético del país, fueron los siguientes:

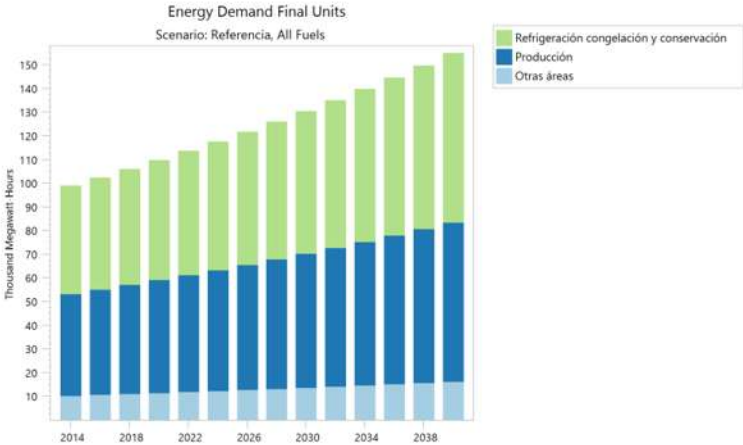
Año	% variación anual
2014	2.60%
2015	3.13%
2016	4.55%
2017	-0.07%
2018	6.94%
2019	2.26%
2020	-0.71%
2021	3.32%

A partir del año 2022 se toma el supuesto planteado en la última prospectiva realizada por la SENER, donde menciona que se prevé que la demanda de consumo de energía eléctrica sea del 1.5% mayor cada año hasta el 2033 y después un 1% hasta el año 2050, dichos parámetros están basados en las proyecciones del PIB hasta el 2045 y los posibles cambios estructurales que puedan llegar a tener la CFE (SENER, 2018).

A continuación, se muestra la figura 18, esta gráfica se elaboró a partir de los datos obtenidos de la distribución del consumo de energía existente en el año 2014 de las agroindustrias de

berries del estado de Michoacán y su comportamiento a través de sus tres grandes áreas hacia el año 2040.

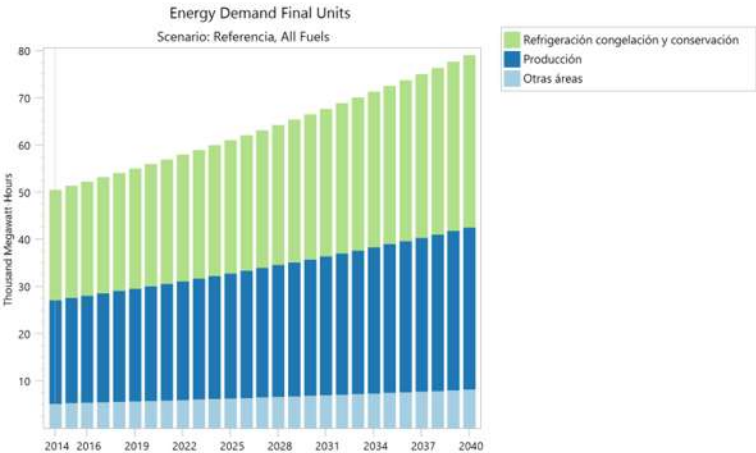
**Figura 18** Consumo de energía eléctrica existente por área en MWh, de las 80 agroindustrias de berries del estado de Michoacán, México, proyectado hacia el 2040.



Nota: elaboración propia a través del software LEAP y datos que proporciona el FIDE.

La figura 19 contiene la información en el supuesto de implementar procesos de eficiencia en uso de la energía eléctrica hacia el año 2040.

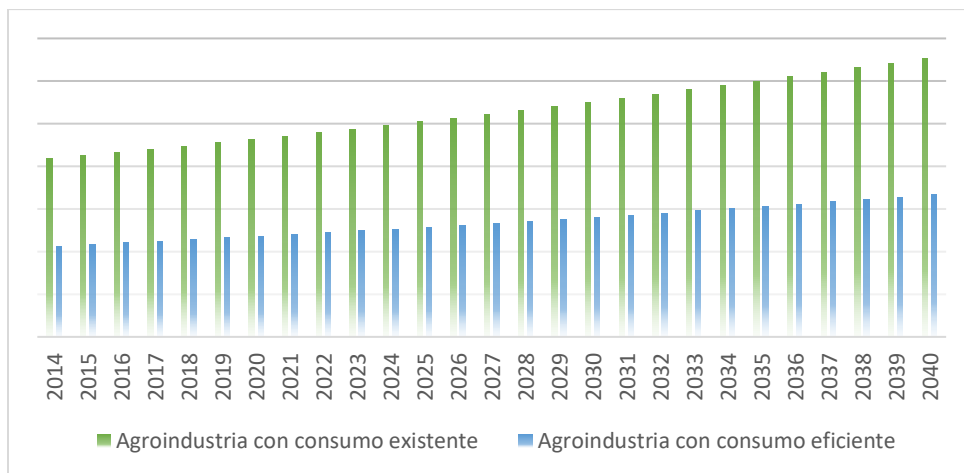
**Figura 19** Consumo de energía eléctrica eficiente por área en MWh, de las 80 agroindustrias de berries del estado de Michoacán, México, proyectado hacia el 2040.



Nota: elaboración propia a través del software LEAP y datos que proporciona el FIDE.

La figura 20 muestra la diferencia que existe en el consumo de energía eléctrica, cuando se aplican procesos de eficiencia, y hace evidente que, aunque exista un consumo incremental a través de los años, los procesos de eficiencia energética contrarrestan significativamente estos incrementos.

**Figura 20** Consumo de energía eléctrica existente y eficiente en MWH, proyectada hacia el año 2040, de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México.



Nota: elaboración propia a través del software LEAP y datos que proporciona el FIDE.

### 5.3.2 Emisiones

Las emisiones por consumo de energía eléctrica son consideradas como emisiones indirectas, ya que, se consideran directas aquellas que provienen de la producción y generación de energía eléctrica en el país. LEAP fue también la herramienta para determinar las emisiones indirectas que resultan del consumo de energía eléctrica en las agroindustrias de *berries* del estado de Michoacán, los resultados obtenidos están resumidos en la tabla 7.

**Tabla 7** Resultado de emisiones en toneladas métricas, derivadas del consumo existente y eficiente de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México.

Ramas	2014	2040	Total
<b>Agroindustria con consumo existente</b>	<b>44,924.6</b>	<b>73,140.0</b>	<b>1,552,526.0</b>
Refrigeración congelación y conservación	20,728.2	33,717.6	715,732.5
Producción	19,510.7	31,764.7	674,262.0
Otras áreas	4,685.6	7,657.8	162,531.5
<b>Total</b>	<b>44,924.6</b>	<b>73,140.0</b>	<b>1,552,526.0</b>
<b>Agroindustria con consumo eficiente</b>	<b>22,911.4</b>	<b>37,301.2</b>	<b>791,783.1</b>
Refrigeración congelación y conservación	10,571.3	17,210.8	365,328.7
Producción	9,950.4	16,199.9	343,871.4
Otras áreas	2,389.7	3,890.5	82,583.0
<b>Total</b>	<b>22,911.4</b>	<b>37,301.2</b>	<b>791,783.1</b>

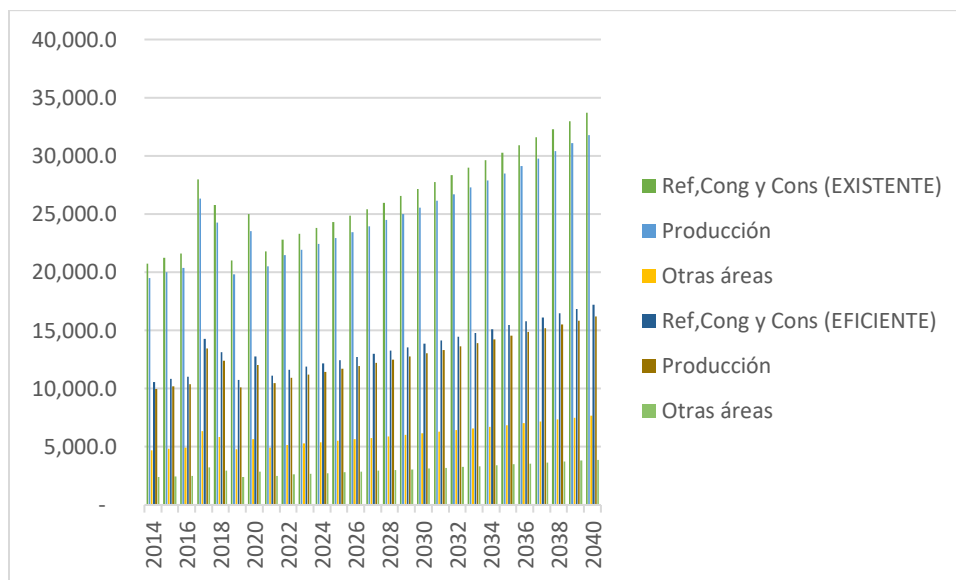
Nota: elaboración propia a través del software LEAP.

Para esta proyección fue necesario contar con el factor de emisión por consumo de energía eléctrica de los años 2014 al 2022, para la proyección a futuro se obtuvo un factor promedio resultante de los factores históricos reales con lo que se contaba.

Año	Factor de emisión tCO <sub>2</sub> e / MWh
2022	0.435
2021	0.423
2020	0.494
2019	0.423
2018	0.527
2017	0.582
2016	0.458
2015	0.458
2014	0.454

La figura 21 concentra y proyecta los resultados obtenidos en cuanto a emisiones tanto del consumo real existente y con el supuesto de implementar procesos de eficiencia.

**Figura 21** Resultado de emisiones en toneladas métricas del consumo de energía eléctrica existente y eficiente por área, proyectada hacia el año 2040, de las 80 empresas agroindustriales situadas en el estado de Michoacán, México.



Nota: elaboración propia con base en datos que proporciona el FIDE.

La figura 21 hace evidente la proporción en la cual disminuyen las emisiones de GEI con los procesos de eficiencia aplicados a los consumos de energía eléctrica de las agroindustrias de *berries* del estado de Michoacán.

#### 5.4 Discusión de resultados

La finalidad de realizar proyecciones de variabilidad climática y de escenarios de eficiencia energética de manera focalizada, es la de contribuir e incentivar a la toma de decisiones a favor de la reducción de emisiones GEI a la atmósfera, tomando conciencia de los diversos escenarios posibles a futuro, que podrían llegar a ser una realidad si es que no se toman acciones en el presente.

Las proyecciones en este trabajo de variabilidad climática apuntan a que Michoacán en un plazo no mayor a 15 años, el aumento de su temperatura promedio llegue a ser hasta de 1°C más respecto a su temperatura promedio histórica, y en un plazo no mayor a 40 años, el aumento sea entre 1.5 °C y 2.5 °C. Al respecto el IPCC advierte que con cada 0.5 °C de

aumento en la temperatura global existirán incrementos graduales de lluvias severas y sequías regionales, que el caso del sector agrícola, provocaría una reducción de su productividad y, por lo tanto, el riesgo de la seguridad alimentaria.

La *berries*, para su producción, requieren de condiciones climáticas específicas, actualmente México ocupa los primeros lugares en el ranking mundial de estas frutillas y Michoacán por su parte, es líder nacional en la producción de fresa y zarzamora, de hecho, Michoacán, provee de poco más del 60% de la producción de fresa a nivel nacional y hasta un 90% de la producción nacional de zarzamora. Para las *berries* como lo son la fresa y la zarzamora su periodo de plantación inicia entre julio y agosto para que a finales octubre y primeros de noviembre se lleve a cabo el primer corte. Este periodo, de acuerdo a las simulaciones efectuadas también se ve alterado con anomalías superiores a la de los otros meses.

En este sentido, tendrá que estudiarse a detalle la cadena agroalimentaria que conforma la producción de *berries* en la entidad, no solo por encontrarse en riesgo su producción, ya que, estas frutillas no conforman el suministro básico de alimentos para el país, sino que se trata de atender las implicaciones socio-económicas que genera esta red agroalimentaria para la entidad.

La variabilidad de precipitaciones proyectadas da como resultado un aumento pluvial en los meses de septiembre, octubre y noviembre, contrario a esto, la disminución pluvial se denota en mayor proporción en el periodo de marzo – agosto. El periodo aproximado de producción de frambuesa y arándano es normalmente de octubre a mayo, en este caso la concentración de precipitaciones puede afectar de forma intensiva las producciones de estas frutillas por requerir de manera específica cierto grado de humedad para su producción. La frambuesa y el arándano ponen a México en el segundo y sexto lugar respectivamente del top mundial y Michoacán en ambos casos se sitúa en el segundo lugar como productor. En general para las *berries*, el estrés hídrico es un factor imperante por la cantidad de agua que conlleva la producción de las mismas.

Por su parte, queda demostrado a través de los resultados obtenidos en LEAP, lo importantes que son los procesos de eficiencia en el consumo de electricidad para disminuir de manera

indirecta las emisiones de GEI a la atmósfera. Al final del escenario construido el ahorro en toneladas métricas de GEI son de 760,742.89 del acumulado anual hasta el 2040.

El consumo de energía eléctrica en la agroindustria de *berries* está determinado por los niveles de producción que se manejan de dichas frutillas, un detrimento o un mayor auge en los cultivos son detonantes no solo para el consumo de electricidad, sino que también para la propia existencia de estas empresas, de hecho, el principal atractivo de muchas de ellas para colocarse en la entidad proviene de vislumbrar el potencial que mantiene Michoacán en su actividad agrícola.

Los estudios técnicos elaborados por el FIDE, en su mayoría muestran una factibilidad financiera, sin embargo, en los casos que no sea así, la aplicación de procesos de eficiencia puede irse llevando a cabo por áreas, dando prioridad a aquellas donde los consumos son mayores. En este sentido y en particular para las agroindustrias de *berries* del estado de Michoacán, sus principales áreas de oportunidad son las de refrigeración, congelación y motores, que son las que mantienen el mayor consumo de energía eléctrica en sus procesos productivos, tal y como lo demuestran los resultados obtenidos en el presente trabajo.

En el camino por transitar a una verdadera eficiencia energética, deben darse acciones y políticas concretas hacia la consolidación de producciones más sostenibles, la ecoeficiencia por su parte, aporta grandes avances en la construcción de este camino, donde el sistema energético mundial es altamente dependiente de combustibles fósiles que son uno de los principales responsables de las emisiones de GEI a la atmósfera y que han detonado el aumento de la temperatura del planeta.

Los temas de eficiencia en el sistema energético del mundo toman un eje central como mecanismos de mitigación al cambio climático y el aumento de la temperatura del planeta, su implementación a grandes escalas y de forma prioritaria puede ser un detonante para alcanzar una mayor estabilidad climática, ya que los escenarios a futuro que se tienen en cuanto al aumento de temperatura global según simulaciones del IPCC pueden llegar a alcanzar más de 2 °C.

La eficiencia en el consumo de electricidad para el sector agroindustrial contribuye de manera significativa para la disminución de las emisiones de GEI, las ramas del sector industrial son pieza clave en el tema de cambio climático, por posicionarse en el primer lugar en uso y consumo de electricidad en sus procesos productivos, de tal forma que, la búsqueda de mecanismos que hagan más eficiente este consumo, repercute directamente no solo al medio ambiente si no a su vez en los costos fijos de operación de estas empresas.

Además, a partir de la modelación climática es que se han podido realizar estudios de cambio climático que han permitido dimensionar la gravedad de la situación medioambiental del planeta y que ha sido la base para toma de decisiones que fijan el rumbo hacia lograr una mayor y real sostenibilidad de la Tierra. La combinación de estudios de manera focalizada, en este caso de variabilidad climática y de consumo de energía eléctrica, resultan factibles para la toma de decisiones a nivel empresarial y de políticas que coadyuven al problema de cambio climático en el mundo.

# Conclusiones

La pregunta de investigación que fue planteada en la presente tesis es: ¿En qué grado los procesos de eficiencia energética aplicados al consumo de energía eléctrica, contribuyen a la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera en la agroindustria de *berries* en Michoacán, México? Una vez obtenidos los resultados, la respuesta es:

Al realizar la comparativa del consumo de electricidad existente de las 80 empresas agroindustriales de *berries* del estado de Michoacán, respecto al consumo obtenido en el supuesto de aplicar procesos de eficiencia energética, se observa que se disminuye el consumo de energía eléctrica en hasta un 49%. A su vez las emisiones de GEI que de manera indirecta se arrojan a la atmósfera por consumo de electricidad de estas empresas, también disminuyen en la misma proporción.

Por lo tanto y partiendo de que, al disminuir las emisiones de GEI a nivel global se pueden alcanzar escenarios más estables de variabilidad climática, los procesos de eficiencia energética aplicados en el consumo de electricidad si representan una alternativa significativa para disminuir las emisiones de GEI que de manera indirecta se desprenden a la atmósfera.

Con el objetivo de lograr un desarrollo y crecimiento económico, la mayoría de los países del mundo han tomado como factor clave la industrialización de sus economías, sin embargo, los requerimientos para los niveles de industrialización del mundo han traído consigo la degradación de los ecosistemas. Con la finalidad de continuar con el ritmo de desarrollo y crecimiento, pero a su vez generar la manifestación de preocupación por los cambios tan abruptos que ha padecido el planeta, es que surge el concepto de ecoeficiencia.

Ecoeficiencia es hacer más con menos y aplica principalmente para todos y cada uno de los procesos productivos de cualquier empresa, un concepto que toma relevancia y que surge de la ecoeficiencia, es el de eficiencia energética, donde, una parte sustancial de esta, es la eficiencia en el uso y consumo de la energía eléctrica, ya que, a nivel mundial un poco más de la mitad de la producción de energía eléctrica es a través de la quema de combustibles fósiles, dicha acción es una de las principales causas de emisiones de GEI a la atmósfera y

que han traído consigo el calentamiento global y sus efectos de cambio climático para el planeta.

La eficiencia en el consumo de energía eléctrica a nivel industrial si representa grandes avances en las disminuciones de GEI a la atmósfera, sin embargo, su implementación queda en manos de los tomadores de decisiones en las empresas donde, no siempre existe conocimiento y conciencia para el tema de cambio climático. Es importante reconocer que independiente a la viabilidad financiera que puedan llegar a tener este tipo de proyectos energéticos, son urgentes las acciones para disminuir las emisiones de GEI a la atmósfera.

La situación para México al respecto, es que, se cuenta con mecanismos privados y gubernamentales que alientan a las empresas a invertir en este tipo de procesos, por ejemplo, se encuentra el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica, pero se recalca que la respuesta de los tomadores de decisiones a nivel empresarial, es la de llevar a cabo estos procesos solo si es financieramente factible y existe quienes, aunque sea factible económicamente, tampoco lo ejecutan.

En el estado de Michoacán, existe un gran auge en la producción de *berries*, de acuerdo con el SIAP, el estado ocupa los primeros lugares en la producción de fresa y zarzamora y el segundo lugar en arándanos y frambuesa, esto deriva de las condiciones climáticas que posee la entidad para la producción de dichas frutillas y también obedece a la gran demanda del extranjero que existe hacia las *berries*.

Este auge de producción ha sido un centro de atracción para empresarios agroindustriales e incluso trasnacionales ubicadas especialmente en los municipios de Zamora, Jacona y Los Reyes, la tarifa de consumo de energía eléctrica que manejan estas empresas es de alto consumo y por lo tanto entran en la clasificación de CFE, como tarifa industrial.

Los estudios realizados en el presente trabajo son importantes para el estado, porque es imperante dar cuenta de la situación de variabilidad climática de manera focalizada para Michoacán y a su vez hacer evidente la contribución que tiene el sector empresarial agroindustrial en el estado en cuanto a su consumo de energía eléctrica y por lo tanto su injerencia en emisiones a la atmósfera.

De acuerdo con los datos obtenidos con el modelo de simulación CNRM RCP 4.5 y 8.5 para corto y mediano plazo, dependiendo de un escenario estabilizador o catastrófico, en el corto plazo se podrían estar viviendo aumento de temperatura de hasta 1 °C, de continuar con el ritmo de emisiones o incluso aumentarlas el panorama apunta a que se puede alcanzar de 1.5 °C hasta 2.5° C, mientras que la variabilidad de las precipitaciones se prevé en algunos meses con disminuciones y en otros con aumentos en las mismas.

De tal forma que, de acuerdo a los resultados obtenidos, el estado de Michoacán se encuentra expuesto y es altamente vulnerable ante eventos meteorológicos extremos derivados del cambio climático, siendo en este caso su sector agrícola uno de los más afectados. Aquí es importante recordar que el éxito en la producción de *berries* que se tiene en la entidad, obedece principalmente a sus condiciones climáticas, por lo tanto, la afectación directa será para los productores y agricultores, por lo que es importante también generar estudios que deriven en propuestas de mitigación y adaptación al respecto.

Es conveniente destacar que la simulación de escenarios efectuados en el presente trabajo, no actúa como predicciones climáticas, son simplemente escenarios de simulación con rangos de incertidumbre derivado de todos y cada uno de los factores de los que depende el fenómeno del cambio climático global, sin embargo, brinda un panorama y una perspectiva de algo probable que incite al actuar de los tomadores de decisiones.

Por otro lado, los resultados obtenidos con la elaboración de escenarios de eficiencia energética a través de LEAP, dan cuenta de lo óptimo que son los procesos de eficiencia aplicados al consumo de energía eléctrica para contrarrestar las emisiones indirectas que trae consigo el consumo de electricidad en México, este estudio demuestra como las empresas agroindustriales deben asumir el compromiso hacia procesos más sostenibles y el cual deben aceptar como parte de la cadena productiva de la cual forman parte.

El consumo de energía eléctrica de los agroindustriales de *berries* obedece principalmente a su alta comercialización en fresco y congelado de frutas y vegetales, por lo que el mayor consumo de electricidad está en sus sistemas de enfriamiento y congelación, así como los motores de la maquinaria de producción de sus procesos. Por lo tanto, en estas áreas es donde

se vislumbran las grandes áreas de oportunidad que tienen los agroindustriales para ahorrar en su consumo de energía eléctrica.

Pasar de un escenario estabilizador a uno catastrófico como los que fueron elaborados en la presente tesis, depende de acciones concretas que inciten a la disminución de emisiones de GEI a la atmósfera. Las agroindustrias de *berries* en la entidad, guarda la oportunidad de asumir el compromiso y ejecutar acciones de eficiencia energética en su consumo de electricidad que le permitan ser participes en este tipo de mecanismos de mitigación ante el problema global de cambio climático.

Ante los escenarios obtenidos de variabilidad climática y pese a resultados un tanto alarmantes, se puede seguir afirmando que la producción de *berries* continuara, pero quizá, solo podrán producir y cosechar aquellos agricultores con una alta tecnificación y que cuenten con los recursos económicos para invertir en contrarrestar las posibles afectaciones a las que está y estará aún más expuesto el campo mexicano.

Mientras la producción en el país de energía eléctrica siga siendo contaminante en mayor proporción, por diversos factores, como lo es la misma infraestructura y la red de transmisión existente a nivel nacional con la que se cuenta, se tienen que aplicar alternativas en los sectores donde el consumo es significativo, y donde los procesos de eficiencia energética y energías renovables se consideran una opción esperanzadora para las disminuciones de GEI.

Por lo tanto, el reto que afrontan las agroindustrias de *berries* en el estado de Michoacán es atender y participar de manera conjunta con todos y cada uno de los actores de la cadena productiva en la cual están inmersos, considerando no solo la ganancia económica, sino también, atendiendo a los problemas de variabilidad climática que impactan al territorio en el cual realizan sus actividades económicas.

Los temas de eficiencia en el sistema energético del mundo toman un eje central como mecanismos de mitigación al cambio climático y el aumento de la temperatura del planeta, su implementación a grandes escalas y de forma prioritaria puede ser un detonante para modificar de manera crucial los escenarios futuros que se tienen sobre el aumento de temperatura, los cuales según simulaciones del IPCC pueden llegar a alcanzar más de 2 °C.

A partir de la modelación climática es que se han podido realizar estudios de cambio de climático que han permitido dimensionar la gravedad de la situación medioambiental del planeta y que ha sido la base para toma de decisiones que fijan el rumbo hacia lograr una mayor y real sostenibilidad de la Tierra.

Con la presente tesis, se da apertura para futuras investigaciones. La modelación climática del estado contribuye con la generación de alternativas de mitigación y adaptación en el tema del cambio climático global y en cuanto al consumo de electricidad en la agroindustria de *berries* de la entidad, se puede seguir generando información más específica de los procesos de eficiencia energética que se han optado de manera particular en cada una de ellas, ya que, el estudio realizado aquí, corresponde solo a una aproximación con base en datos proporcionados por el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica.

# Fuentes de referencia

- Acquatella, J. (2008). Energía y cambio climático: oportunidades para una política energética integrada en América Latina y el Caribe. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- AEDENAT, CODA, C.S. de CC.OO y U.G.T. (1998). Ante el cambio climático, menos CO2. *Boletín CF+S*, (5), Madrid, España. <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n5/amco2.htm>
- Álvarez, M. P. (2010). Evaluación de la capacidad de carga. Una herramienta para el manejo y la conservación de los sitios patrimoniales. *Revista Canto Rodado*, 5, 213-240. ISSN-e- 1818-2917.
- Albuquerque, M. R., Prange, J. L., Cardoso, B. F., y Shikida, P. F. (2013). O PIB verde da agroindústria canavieira enquanto indicador de sustentabilidade: Um estudo de caso no Paraná de 2007 a 2011. *Economía & Região, Londrina (Pr)*, 1(2), 61-75.
- ARAGÃO, M. A. D. S. (2003). Instrumentos científicos e instrumentos jurídicos: perspectivas de convergência rumo à sustentabilidade no direito comunitário do ambiente. *Revista jurídica do urbanismo e do ambiente*, 20.
- Aragón, J., Senise, M., y Matías, F. (1998). Estrategia, estructura organizativa y desempeño medioambiental: repercusiones del ajuste. *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 4(3), 41-56.
- Bastida, O. (2021, 10 de diciembre). La producción de *berries* en México en los últimos años. *PRODUCEPAY*. <https://es.producepay.com/blog/articulos/la-produccion-de-berries-en-mexico-en-los-ultimos-anos/>.
- Cely, V. H. (2017). Medición de la productividad en procesos industriales que integren cadena de frío, basada en evaluaciones de exergoeconomía y ecoeficiencia. *Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Doctorado en Ingeniería - Industria y Organizaciones, Tesis Doctoral*.
- CEPAL (2022). Temas estadísticos de la CEPAL. La energía en América Latina y el Caribe: acceso, renovabilidad y eficiencia. ISSN: 2788-5828.
- Cifuentes, M. (1992). Determinación de la capacidad de carga turística en áreas protegidas. *Serie Técnica. Informe Técnico*, n. 194.
- Conde, C. (2011). México y el Cambio Climático Global. *SEMARNAT*, 1-21.

- Conde, C., y Gay, C. (2008). Guía para la generación de escenarios de cambio climático a escala regional. Primera versión, Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM.
- Correa, M. I., y Cruz, C. A. (2013). Perspectiva internacional sobre sustentabilidad, conceptos relevantes y desarrollo de indicadores. *Denarius, Revista de Economía y Administración* (26), 209-232.  
<https://denarius.izt.uam.mx/index.php/denarius/article/view/107>
- Cortés, S. (2009). La capacidad de carga como herramienta para la ordenación sostenible del territorio. *Simposio Internacional Desarrollo, Ciudad y Sostenibilidad (Boletín CF+S 42/43)*, 39-55.
- Cota, J. L., Gutiérrez, E. P., Criollo, M., y Zamudio, V. E. (2021). Tecnologías convencionales y emergentes para el procesamiento e industrialización de berries. En Cultivo, postcosecha, procesado y comercio de *berrie*. *Valencia, España: Especialistes en serveis per a la Producció Editorial*, 283-299.
- Cury, K., M.Sc. Aguas, Y., M.Sc. M. A., Esp, O., M.Sc. R., y Chams Ch, L. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista colombiana de ciencia animal* (9), 122-132.
- Daly, H. (1991). Steady-state economics. *Island Press*. <http://pombo.free.fr/daly1991.pdf>
- Daly, H. (2012). Una economía de estado estacionario. *PAPELES de relaciones ecosociales y cambio global* (117), 43-55.
- Daly, H., Urquidí, V., y de la Peña, R. (1974). La economía del estado estacionario. *Demografía y Economía*, 8(3), 357-365. <http://www.jstor.org/stable/40593574>
- DE., G. (2012). Eficiencia energética. *ENERGÉTICA*, 20, 28.
- Delegación SADER Michoacán (2018, 15 de mayo). Sagarpa Michoacán, en busca de fortalecer la Agroindustria. *Representación Agricultura Michoacán, Gobierno de México*. <https://www.gob.mx/agricultura/michoacan/articulos/sagarpa-michoacan-en-busca-de-fortalecer-la-agroindustria?idiom=es>
- Embí, A., y Martín, L., (2018). El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en América Latina y el Caribe: planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritarias. *Serie: Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL*.

- Energía y Sociedad (s.f.). ¿Qué es la eficiencia energética?  
<https://www.energiaysociedad.es/manual-de-la-energia/1-1-que-es-la-eficiencia-energetica/>
- Estrada, J. I., (2011). Aplicación de diversas herramientas de ingeniería industrial en el área de producción de la empresa Frexport S.A. de C.V. *Instituto Tecnológico de Colima*.
- Estupiñan, I., Ballesteros, F., y Pezo, D. (2022). Uso de las energías renovables en la agroindustria en Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5679-5697.
- FAO, (1993). Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. *Oficina regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.
- FAO, (2003). Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. *Boletín de servicios agrícolas de la FAO*, 151. ISSN 1020-4334.
- FIDE, (2018). Secado solar: una tecnología verde para reducir los costos de la industria alimentaria. *Revista Eficiencia Energética*, 19.
- FIRCO (2017). Agroindustria en México. *Fideicomiso de Riesgo compartido*.  
<https://www.gob.mx/firco/articulos/agroindustria-en-mexico?idiom=e>
- García, M., Riveros, H., Pávez, I., Rodríguez, D., Lam, F., y Arias, J., Herrera, D., (2009). Cadenas agroalimentarias: un instrumento para fortalecer la institucionalidad del sector agrícola y rural. *COMUNICA 5*. <http://repiica.iica.int/docs/B1610e/B1610e.pdf>
- González, A. B., Bastida, P., Corres, M., López, A., Fernández, M., López, J., (2011). Manual de ahorro y eficiencia energética del sector de central hortofrutícolas. *Cooperativas agroalimentarias, Fundación Biodiversidad, Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España*.
- González, F. d., Rebollar, S., Hernández, J., Morales, J. L., y Ramírez, O. (2019). Situación actual y perspectivas de la producción de berries en México. *Revista mexicana de agronegocios*, 260-272.
- González, M. F. (enero, 2013). Ecoeficiencia: Propuesta de diseño para el mejoramiento ambiental. *Editorial Universitaria, Universidad de Guadalajara*.
- González, M., y Morales, M. (2011). La ecoeficiencia empresarial: su contribución al desarrollo local sostenible, en los marcos de la globalización neoliberal. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, 4(10).

- Gutiérrez, E., y González, É. (2010). De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable: construcción de un enfoque multidisciplinario. *México: Siglo XXI Editores.*
- Hanif, I., y Gokhan, K. (2018). Electricity Demand and Supply Scenario Analysis for Nigeria Using Long Range Energy Alternatives Planning (LEAP). *Journal of Scientific Research & Reports (JSRR.39719), 1-12.*
- Heaps, C. (2021). LEAP: The Low Emissions Analysis Platform. [Software versión: 2020.1.46]. *S. E. Institute, Productor, & Somerville, MA, USA.* <https://leap.sei.org>
- Henson, S., y Cranfield, J. (2013). Capítulo 2. Planteamiento de un caso político para las agroindustrias y agronegocios en los países en desarrollo. *En O. D. AGRICULTURA, Agroindustrias para el Desarrollo (11-49). Roma: FAO.*
- Hernández, R. (2003). El hombre y el ambiente: la ecoeficiencia como responsabilidad empresarial. *ANALES, 3(1), 235-253.*
- ICACC (2021, 15 de mayo). La modelación climática es la clave para el estudio del cambio climático. *Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático.* <https://www.atmosfera.unam.mx/la-modelacion-climatica-es-clave-para-estudio-del-cambio-climatico/>.
- Indicadores de ecoeficiencia (s.f.). Facultad de estudios a distancia, Universidad Militar Nueva Granada. [http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/asso/ecologia\\_y\\_medio\\_ambiente/unidad\\_3/medios/documentacion/p4h1.php#:~:text=Los%20indicadores%20de%20ecoefficiencia%20sirven,ciclo%20de%20vida%20del%20mismo.](http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/ovas/asso/ecologia_y_medio_ambiente/unidad_3/medios/documentacion/p4h1.php#:~:text=Los%20indicadores%20de%20ecoefficiencia%20sirven,ciclo%20de%20vida%20del%20mismo.)
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2022. López-Díaz F., Nava Assad Y.S., Rojas Barajas M, González Terrazas D.I. Guía de Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones. pp 65.
- INECC (s.f.). Acuerdos internacionales. *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.* [http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/biblioteca\\_de\\_recursos](http://elcambioclimaticodefrente.inecc.gob.mx/biblioteca_de_recursos)
- IPCC. (2013). Cambio Climático 2013. Bases Físicas. Resumen para responsables de políticas, resumen técnico y preguntas frecuentes. Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

- IPCC, (2013b). Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- IPCC, (2014) Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resúmenes, preguntas frecuentes y recuadros multicapítulos. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suiza), 200 págs.
- IPCC. (2018). Calentamiento global de 1,5°C. Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. Resumen para responsables de políticas Resumen técnico Preguntas frecuentes. Grupo de trabajo I, II y III.
- IPCC (2019) Calentamiento global de 1,5 °C Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza Resumen para responsables de políticas.
- Janqui, M., y Segundo, W. (2022). Importancia de la ecoeficiencia en las organizaciones empresariales en Latinoamérica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 2281-2297.

- La Gra, J., (2016). Metodología de evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectos: un primer paso para la disminución de pérdidas de alimentos. *IICA, vol. VIII. San José, C.P. ISBN: 978-92-92-48-649-5*
- Leal, J. (2005). Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. *CEPAL - SERIE Medio ambiente y desarrollo. Santiago de Chile: Naciones Unidas.*
- López, J., y López, L. (2008). La capacidad de carga turística: revisión crítica de un instrumento de medida de sostenibilidad. *El Periplo Sustentable, (15), 123-150.*
- Martín, M., y Díaz, E. (2007). La integración del medio ambiente en la dirección de operaciones: un análisis en la industria española. El comportamiento de la empresa ante entornos dinámicos: XIX congreso anual y XV congreso hispano francés de AEDEM. *Asociación Española de Dirección y Economía de la empresa (AEDEM).*
- Martínez, R. (2007). Algunos aspectos de la huella ecológica. *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, VIII (14), 11-25.*
- McWeeney R. y Hausfather Z. (2018). Q&A: How do climate models work? CarbonBrief Clear on Climate. Recuperado el 18 de junio de 2021 de <https://www.carbonbrief.org/qa-how-do-climate-models-work>
- Merino, L. (2007). Las energías renovables. *Madrid, España, Haya Comunicación.*
- Molina, M., Sarukhán, J., y Carabias, J. (2017). Cambio Climático. Causas efectos y soluciones. *Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica. doi:9786071643858*
- Mora, E. (1999). Desarrollo agroindustrial de México. *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), REDAR, México.*
- Mora, K. (2017). El Pib verde como estrategia de sustentabilidad en Colombia. *Boletín semillas ambientales, 11(2), 163-163.*
- Nakaniwa, C. (2004). Ecoefficiency indicator handbook for products. *Japan Environmental Management Association for Industry (JEMAI), Tokio, Japón, p. 25.*
- ONG de Desarrollo, Sociedad y Medio Ambiente (2012). Eficiencia energética en la enseñanza media científica humanista. Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA Nacional, Gobierno de Chile.
- ONU (s.f.). Conferencias, medio ambiente y desarrollo sostenible. [https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972.](https://www.un.org/es/conferences/environment/stockholm1972)

- Opschoor, J. (1994). Institutional change and development towards sustainability. *Serie Research Memoranda*, (42). Faculty of Economics and Business Administration, Vrije Universiteit Amsterdam.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (s.f.). Agrifood chains. <https://www.fao.org/energy/agrifood-chains/en/>.
- Ortiz, C., Zamora, A., y Bonales, J. (2018). Vulnerabilidad económica municipal del impacto agrícola ante condiciones de cambio climático en Michoacán. *Análisis Económico*, XXXIII (82), 73-93.
- Ortiz, D., Morales, A., Barrón, A. L., Ríos, L., Sierra, J. C., Molina, J. M., y Matsumoto, S. (2017). *ETHOS Laboratorio de Políticas Públicas*. Obtenido de <https://www.ethos.org.mx/ethos-publications/hacia-mexico-sostenible-app-eficiencia-energetica/>
- Pardo, C. I., y Cotte, A. (junio de 2011). La eficiencia energética en la industria manufacturera colombiana: una estimación con Análisis Envolvente de Datos-DEA y Datos de Panel. *Revista Economía* (11), 39-58.
- Pedersen, A. (2002). Managing tourism at world heritage sites: a practical manual for world heritage site managers. *UNESCO World Heritage Centre*.
- Pérez, L. (2007). Los derechos de la sustentabilidad: desarrollo, consumo y ambiente. *Colihue*.
- Pérez, C. A., y Vera, F. (2012). Fundamentos para la administración energética en la industria colombiana a través de indicadores de gestión. *Scientia Et Technica*, XVII (50), 58-67.
- Ponce, J., y Loor, I. (2020). Ecoeficiencia empresarial, un repaso sobre su implementación en América Latina. *Digital Publisher*, 5(5), 252-262.
- Poveda, M. (2007). Eficiencia energética, recurso no aprovechado. *OLADE*.
- Riechmann, J. (2003). Tres principios básicos de justicia ambiental. *Revista Internacional de Filosofía Política*, 21, 103-120. *Universidad de Barcelona. ISSN 1132-9432*.
- Riechmann, J. (2005). Evaluación de las estrategias europea y española de desarrollo sostenible. *Paralelo Edición, S.A., Fondo Social Europeo*.
- Rincón, E., y Wellens, A. (2011). Cálculo de indicadores de ecoeficiencia para dos empresas ladrilleras mexicanas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 27(4), 333-345.

- Romero, M., Herrera, A., y Barboza, M. (2019). La ecoeficiencia en pequeñas y medianas empresas: retos y beneficios para un desarrollo sostenible. *Revista de jóvenes investigadores Ad Valorem*, 2(2), 83-97.
- SAGARPA (2017). Planeación agrícola nacional 2017-2030: frutas del bosque mexicanas. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Sáenz de Miera, G., Muñoz, M. (2009). La eficiencia energética: análisis empírico y regulatorio. *Real Instituto Elcano* (116). 50p. ISSN: 1696-3326.
- Samaniego, J. (2009). Cambio climático y desarrollo en América Latina y el Caribe: una reseña. CEPAL-Colección de documentos de proyectos, Naciones Unidas.
- SEMARNAT (2017, 18 de noviembre). ¿Qué es la COP sobre el cambio climático? <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/que-es-la-cop-sobre-cambio-climatico#:~:text=El%20Acuerdos%20de%20Canc%3%BA%20estableci%3%B3,Fondo%20Verde%20para%20el%20Clima>.
- SENER. (2018). Prospectiva del sector eléctrico 2018-2032. Secretaría de Energía.
- SENER (2022a). Balance nacional de energía 2021. Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, Dirección General de Planeación e Información Energéticas, México.
- SENER (2022b). Programa de desarrollo del sistema eléctrico nacional 2022-2036. <https://www.gob.mx/sener/articulos/programa-para-el-desarrollo-del-sistema-electrico-nacional-304042>.
- Sevilleja, D. (2011). Eficiencia energética en el sector industrial. Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ingeniería Eléctrica. Leganés.
- SIAP. (2019). Panorama Agroalimentario 2019. Secretaría de agricultura y desarrollo rural. Ciudad de México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- SIAP. (2022). Panorama Agroalimentario 2022. Secretaría de agricultura y desarrollo rural. Ciudad de México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Spangenberg, J. H., Femia, A., Hinterberger, F., Schütz, H., Bringezu, S., Liedtke, C., ... y Schmidt-Bleek, F. (1999). Material flow-based indicators in environmental reporting Copenhagen, Danmark: European Environment Agency, (14).

- Stupková, C., (2016). Global Value Chain in Agro-esport Production socio-economic impact in Michoacán, México. *AGRIS online papers in Economics and Informatics*, 1(8), 25-36.
- Temes, R., y Moya, A. (2021). Qgis aplicado al urbanismo. Bogotá: Ediciones de la U.
- Tobasura, I. (2008). Huella ecológica y biocapacidad: indicadores biofísicos para la gestión ambiental, el caso de Manizales, Colombia. *Luna Azul*, (26), 119-136.
- UICN-PNUMA-WWF (1991). Cuidar la tierra: estrategia para el futuro de la vida. Gland, 49. Suiza.
- Vargas, Y. A., y Pérez, L. (2018). Aprovechamiento de residuos agroindustriales para el mejoramiento de la calidad del ambiente. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 14, 59-72.
- Vega, O. (2015). Uso eficiente de la energía en las cadenas agrícolas de alimentos: sistematización de indicadores y estudios de caso. Instituto Interamericano de Cooperación para la agricultura (IICA).
- WBCSD (2006). Ecoefficiency learning module. World Business Council for Sustainable Development. Geneva, Switzerland.
- Wackernagel, M., y Rees, W. (2001). Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la tierra. *Editorial LOM, Santiago, Chile*.