



Cuernavaca, Morelos a 08 de Febrero de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUÉS DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. ELDA ANAHI HONORATO FLORES, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034040, BAJO EL TÍTULO "CONTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS", CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

DRA. MARÍA LUISA CASTREJÓN GODÍNEZ



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

MARIA LUISA CASTREJON GODINEZ | Fecha:2021-02-08 19:59:14 | Firmante
EMtQpBZV4rX9sm+XISqtHw3hmGD8mLZ+S0E20cptlQ2J1f6duzjM5OIXgGbbN3lmyun8FdmY6KKnPyWuIRleAXIRxjYYXm/7qpWDRIXmXO4aLWZeMya9+1h31NexrQloylTop
2WdzPkgMnEaj8V52gotlWj6oCl6Lyt8Ykr5QUm8Ux5MnMjS7NoXmzIDPv1snfPjT76u33cnzxNDxypp9PftFqjfo+YDufNXSuNM+AT63c6RdJSOQlOvQkhRoGlo5G4GV3xa89p
sPeVEmLNIkoCNdZocJqA3BswC7pQH+OG788BX7FyHXbastFfCioqV1y4uO6w--

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



mTDseY

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/UHF1JHw3lCS3VpGIKPvo4cXb4tVH0J>



Cuernavaca, Morelos a 08 de Febrero de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESIS, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUÉS DE HABER ANALIZADO LA TESIS QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DE LA ESTUDIANTE C. **ELDA ANAHI HONORATO FLORES**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034040, BAJO EL TÍTULO "CONTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS". CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

DR. ALEXIS JOAVANY RODRÍGUEZ SOLÍS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

ALEXIS JOAVANY RODRIGUEZ SOLIS | Fecha:2021-02-08 18:41:38 | Firmante
tLb7f6IKkt6QHwD1DlGOh56YrIwHTqPbXWDTxMsMRFQZa79ihMwiETYGaoKuyWYFisP1OMqvo9M9R67LBR1xWmngQR+bt8ad2qkyWK7Sz43Hix7W509Oho3t1Z7c3313t
KEz1xmxLneAKLL28aDl0CWabrSV2uaOfB94kEeha3IlyUu39JATccSdr6UrQ2K7oTBVYFXp0l0nPHJZC9+gqM3FRSII7QBFzlnquw6J1s4s2+UTukLp|WDb4M9DnJeyluP9aOgDg
6cAQO8kunBq5WHT3AnWJ5pojKktU8SDQJvbkcn8w+8TTUJYQqwb6+vHnS5hcsS4Zmg--

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



xjm8Fp

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/1b0nz7Dc15oPzWlpFIPnn8FJ66enDS>



Una universidad de excelencia

RECTORIA
2017-2023

Cuernavaca, Morelos a 03 de Diciembre de 2020

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. ELDA ANAHI HONORATO FLORES, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034040, BAJO EL TÍTULO “CONTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS”, CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

M en MRN. JULIO CESAR LARA MANRIQUE



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

JULIO CESAR LARA MANRIQUE | Fecha:2020-12-03 20:02:59 | Firmante
fxeEQzeCTuwoTpW9TLLzIFkhra004V/SXsuODOXjZf+vSArWWXFSmeYtA4HYaoovKDxOXboBLRz8ajMglwvF2IWhtrGhHTJrvPFPYzhogDYDCSd7cZqAbqFV/H12UTRIKLwh
aPS38nBw+XeUfHJEDYEdkFzX06KRWIU2U00AKYy6/20G0os0M7bbTr3nr2K7clkaHo3NqeX00pyEhKpAJp/karyMUKJqPwixbJgUU+bTONo1hOh2cVL5Et5kQF08yWDgPiq7
tvUIRhKvfkjVBxwjatmwHYHiORZuc5dPxx7WomPg2viq2Py/3N9fygRTBWh9cT0a4+90TKdA==

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o
escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



[mRlgpf](#)

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/0x8ZZ9OxksZNcUNiqgvyZT6TAQjvBeS>



Una universidad de excelencia

RECTORÍA
2017-2023

Cuernavaca, Morelos a 07 de Enero de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. ELDA ANAHI HONORATO FLORES, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034040, BAJO EL TÍTULO "CONTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS", CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE.

A T E N T A M E N T E
Por Una Humanidad Culta

DR. FERNANDO RAMOS QUINTANA



Se expide el presente documento firmado electrónicamente de conformidad con el ACUERDO GENERAL PARA LA CONTINUIDAD DEL FUNCIONAMIENTO DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS DURANTE LA EMERGENCIA SANITARIA PROVOCADA POR EL VIRUS SARS-COV2 (COVID-19) emitido el 27 de abril del 2020.

El presente documento cuenta con la firma electrónica UAEM del funcionario universitario competente, amparada por un certificado vigente a la fecha de su elaboración y es válido de conformidad con los LINEAMIENTOS EN MATERIA DE FIRMA ELECTRÓNICA PARA LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE MORELOS emitidos el 13 de noviembre del 2019 mediante circular No. 32.

Sello electrónico

FERNANDO RAMOS QUINTANA | Fecha: 2021-01-07 12:48:00 | Firmante
MOKk3KQ2UX9jG6/BahVovkNKMsH73UM4KEe5D3Fct6vOe5m8gCFGH4mr6IthDBnSSuATurcP56IKJQZpYsd4m+kfhv3eBjLxTMGWTEvKOxOxvo+U9HeOZQq3Hkal1wD0z3hIvAzGtf3XTKWoomueQWhtKBes9V6B7jFhIGwpFdaTgYsPDQ+IPQVtKT1dO8PNKwJ/5kGQY2cu/+oeQErc12HLKTyjxxkzF9IAm6V2poy0Z7nh0SzfW5yL3nc0l3F+7GY5jplB4e naz/utlDewL1XOTzaUCIBkBoGMSJVkqTuByJU50fyZBlnkj04TZeH0Z2/U9E4TUUw--

Puede verificar la autenticidad del documento en la siguiente dirección electrónica o escaneando el código QR ingresando la siguiente clave:



CNvjWH

<https://efirma.uaem.mx/noRepudio/tbH8JEwb8KPLXhwZIG3Ms19FWQP0VMR>




Cuernavaca, Morelos a 08 de Febrero de 2021

**COMISIÓN DE SEGUIMIENTO DE LA
ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
P R E S E N T E**

COMO MIEMBRO DEL JURADO REVISOR DE TESINA, HAGO DE SU CONOCIMIENTO QUE DESPUES DE HABER ANALIZADO LA TESINA QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA DE ESPECIALIDAD EN GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS, DEL ESTUDIANTE C. **ELDA ANAHI HONORATO FLORES**, CON NÚMERO DE MATRÍCULA 10034040, BAJO EL TÍTULO "CONTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS", CONSIDERO QUE EL DOCUMENTO REÚNE LOS REQUISITOS ACADÉMICOS PARA SU DEFENSA ORAL EN EL EXAMEN, POR LO TANTO, EMITO MI VOTO APROBATORIO.

AGRADEZCO DE ANTEMANO LA ATENCIÓN QUE SE SIRVA PRESTAR A LA PRESENTE

ATENTAMENTE
Por Una Humanidad Culta



DR. JOSÉ ANTONIO BENJAMÍN ORDÓNEZ DÍAZ



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

**CONTRIBUCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS A LA EMISIÓN DE GASES DE EFECTO
INVERNADERO EN EL ESTADO DE MORELOS**

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL DIPLOMA EN:

ESPECIALIDAD EN

GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS

P R E S E N T A:

ING. ELDA ANAHI HONORATO FLORES

DIRECTOR DE TESINA:

DRA. MARÍA LUISA CASTREJÓN GODÍNEZ

Cuernavaca, Morelos

Febrero, 2021

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN	3
I.1. Efecto invernadero.....	5
I.2. Gases de Efecto Invernadero (GEI)	6
I.3. Calentamiento global	8
I.4. Cambio climático.....	9
I.5. Causas y consecuencias del cambio climático	9
I.6. Inventarios de Gases de Efecto Invernadero	11
I.7. Residuos	15
I.7.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	16
I.7.2. Residuos de Manejo Especial (RME)	16
I.7.3. Residuos Peligrosos (RP).....	16
I.8. Generación de RSU en México y en Morelos	16
I.9. Generación de GEI por RSU en México y en Morelos	18
I.10. Políticas internacionales, nacionales y estatales en materia de cambio climático	21
CAPITULO II. JUSTIFICACIÓN	26
CAPITULO III. OBJETIVOS.....	28
III.1. Objetivo General	28
III.2. Objetivos específicos.....	28
CAPITULO IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR	29
IV.1 Sitio de estudio	29
IV.2. Tipo de investigación	31
IV.3. Fuentes de información	31
IV.4. Cálculo de emisiones de GEI por disposición final de RSU.....	33
IV.5. Valores utilizados por defecto	34
CAPITULO V. RESULTADOS.....	39
V.1. Crecimiento poblacional, económico y la generación de residuos.....	39
V.2. Generación de GEI por RSU en sitios de disposición final.....	44
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	57

DEDICATORIA

Mate, todo lo que logre en la vida siempre llevará una parte de ti, como yo. Gracias por estar a mi lado siempre que lo necesito. Eres ejemplo de todo lo bondadoso que este mundo tiene para dar. Espero algún día poder regresarte todo lo que das por mí. Te amo siempre.

May, en mis ojos siempre serás un pequeño, aunque ya no lo seas. Nunca dejes de ir tras todo aquello que soñaste, porque algún día serán realidad.

Familia, por su amor y apoyo incondicional. Los llevo en el corazón.

Sam, por acompañarme con risas y ocurrencias mientras yo redactaba. Eres la mejor amiga que alguien puede tener en el mundo entero.

Mis amigas Leslie e Isabel, son las mejores mosqueteras, gracias por creer en mí y por estar ahí.

Cupil, gracias por convertir las horas muertas en momentos de muchos ataques de risa y largas pláticas.

AGRADECIMIENTOS

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico para realizar los estudios de la especialidad en Gestión Integral de Residuos.

Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma del estado de Morelos, por la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

Dra. María Luisa Castrejón Godínez, por el tiempo, la dedicación y la guía para la realización de esta investigación.

Dra. Ma. Laura Ortiz Hernández, por sentar las bases para la ejecución de este estudio.

Dra. Xóchitl Cruz Núñez y al Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz, por los cursos impartidos y el tiempo dedicado.

Dr. Fernando Ramos Quintana, Dr. Alexis Joavany Rodríguez Solís, Mtro. Julio César Lara Manrique, por las aportaciones realizadas a este estudio.

Todos mis maestros dentro de la EGIR, por compartir sus conocimientos y tiempo.

RESUMEN

Un residuo es un material o producto que ha sido desechado y que puede ser sometido a valorización, tratamiento o disposición final. En México, existen tres categorías de residuos: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP). Los RSU son aquellos provenientes de casas habitación o los generados en cualquier actividad dentro de establecimientos o la vía pública con características domiciliarias. El aumento en la generación de RSU ha impactado de manera significativa en la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Los principales gases que se emiten son CO₂ y CH₄. Es importante cuantificar las emisiones, ya que de esta manera es posible establecer estrategias de mitigación. Debido a lo anterior, se realizó la estimación de las emisiones de GEI por RSU, durante el período 1998-2020 en el estado de Morelos. La metodología aplicada fue conforme a las Directrices del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), en la última versión del año 2006. Los resultados obtenidos, de las emisiones en el año 1999 fueron de 59.08 Gg de CO₂ eq y para el año 2020 la emisión estimada fue 301.84 CO₂ eq, lo cual indica un aumento del 410.90% en este período de tiempo. Este estudio nos permite apreciar; que, el aumento en la emisión de GEI tiene una correlación directa el crecimiento poblacional y económico de la entidad.

Palabras clave: Crecimiento Económico, Crecimiento Poblacional, Gases de Efecto Invernadero, Residuos Sólidos Urbanos, Sitios de disposición final.

ABSTRACT

Waste is a material or product that has been discarded and can be subjected to recovery, treatment, or final disposal. In Mexico, there are three categories of waste: Municipal Solid Waste (MSW), Special Handling Waste (SHW), and Hazardous Waste (HW). MSW are those from residential homes or those generated in any activity within establishments or on public roads with domiciliary characteristics. The increase in the solid urban waste generation has significantly impacted greenhouse gas emissions in the waste sector. The emitted gases are CO₂ and CH₄. It is important to quantify emissions, because this way it is possible to establish mitigation strategies. Due to the above, an inventory of greenhouse gas emissions was carried out in Municipal Solid Waste during 1998-2020. The applied methodology was according to the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, for its acronym in English) guidelines, in the latest version of 2006. According to the obtained results, the 1999 emission was 59.08 Gg of CO₂eq, while for the year 2020, emission will be 301.84 CO₂eq, which would indicate an increase of 410.90% in this period. According to this study, the increase in greenhouse gas emissions correlates with the population and economic growth of the entity.

Keywords: Economic Growth, Final Disposal Site, Greenhouse Gases, Municipal Solid Waste, Population Growth.

INTRODUCCIÓN

A través del tiempo los patrones de consumo de productos y servicios han cambiado de manera significativa. Lo anterior ha llevado a una mayor generación de residuos desde la extracción de recursos hasta la disposición final. De acuerdo con la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (2018), los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son aquellos con características domiciliarias, generados en casa habitación, establecimientos o en vías públicas.

Existen diversos problemas sociales y ambientales en torno a los RSU. En la parte social, existen impactos en la salud humana, debido a la acumulación de RSU que permite el desarrollo y hábitat de organismos, que pueden ser la causa directa de la transmisión de enfermedades provocadas por virus, bacterias y parásitos. Por otro lado, el personal que trabaja directamente con RSU puede lesionarse o contraer infecciones por manipulación de objetos punzocortantes. Asimismo, el sistema respiratorio puede verse afectado para aquellos que estén en constante exposición a los gases derivados de la quema de RSU (Contreras, 2008). Otro impacto que considerar es la vulnerabilidad y la exclusión a la que se encuentran sometidos los trabajadores de este sector, debido a la baja remuneración económica, el bajo o nulo acceso a seguridad social, los precarios derechos laborales y como se mencionó anteriormente, el riesgo a su salud (MIDESI, 2012).

Otros impactos ambientales generados por los residuos, incluyen la contaminación de agua, ya sea superficial o subterránea. También existe la contaminación del suelo debido a los lixiviados que se generan en los RSU y que no reciben la correcta canalización para ser tratados (Jaramillo *et al.*, 2008). Otro impacto de relevancia es la contaminación al aire debido a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) mayormente metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), gases que contribuyen de manera significativa al cambio climático, causando consecuencias a la salud, a la

seguridad alimentaria, pérdida de biodiversidad, entre otros problemas (Grimmond, 2007).

Para evaluar las emisiones de GEI a nivel internacional el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) estableció metodologías, para su cálculo, con la finalidad de mitigar las emisiones de GEI. Actualmente, el IPCC cuenta con la metodología 2006 la cual establece cuatro sectores generadores de GEI, los cuales son: *Energía; Procesos industriales y uso de productos* (IPPU, por sus siglas en inglés); *Agricultura, silvicultura y uso de suelo* (AFOLU, por sus siglas en inglés); y *Residuos*.

En el presente estudio se analizaron y evaluaron las emisiones de GEI generados a partir de los RSU en el estado de Morelos, para período de 1998 a 2020, empleando la metodología propuesta por el IPCC, 2006. Estas estimaciones podrían ser utilizadas para establecer políticas públicas en el Estado de Morelos que permitan la mitigación de estos GEI en el sector residuos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

I.1. Efecto invernadero

El sol emite radiaciones, las cuales son recibidas por la Tierra, y atraviesan la atmósfera realizando un calentamiento térmico en la superficie terrestre y en sus componentes, una cantidad de la energía recibida es liberada, mientras que la otra permanece en la Tierra (Cabrera, 2019), permitiendo las condiciones de temperatura propicias para el desarrollo de la vida, a este proceso se le conoce como *efecto invernadero* (Figura I.1). Una parte de la radiación que permanece en el planeta es absorbida por los GEI que conforman la atmósfera, lo que provoca un aumento de la temperatura, es decir, a mayor concentración de GEI, mayor será el incremento de la temperatura media global de la superficie terrestre (Sánchez, 2020).

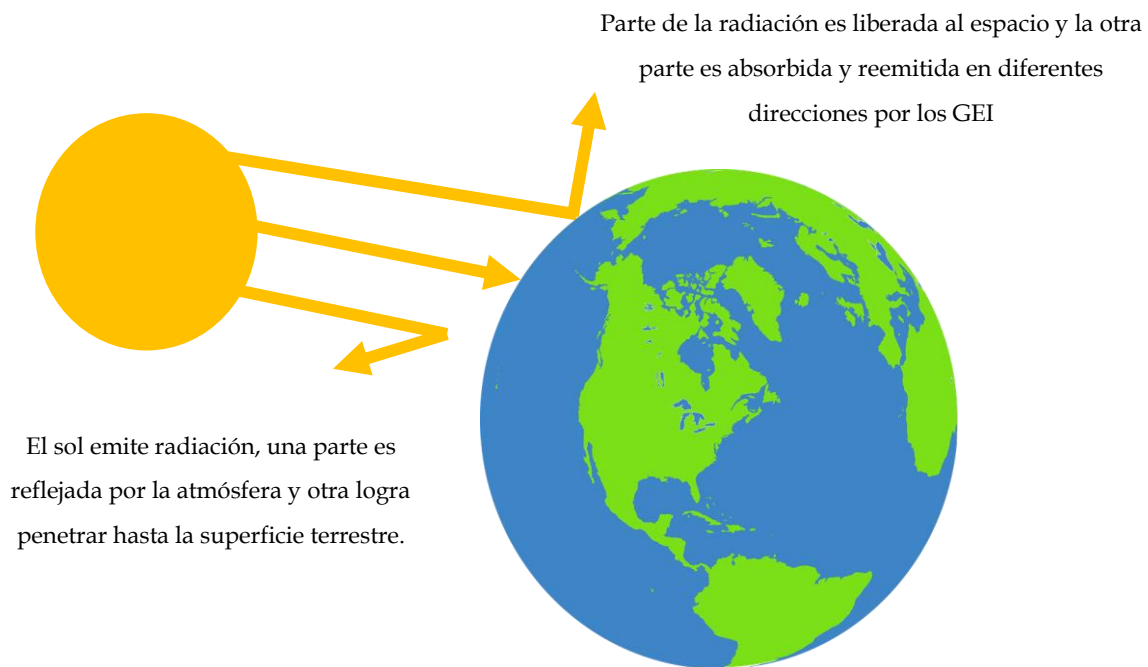


Figura I.1. Efecto invernadero (Adaptación de Steger, 2013).

I.2. Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Los componentes de la atmósfera son conocidos como Gases de Efecto Invernadero, son de origen natural y antropogénico. Su función es absorber y emitir la radiación proveniente del sol en diferentes longitudes de onda dentro del espectro electromagnético (SMN, 2020).

Por otro lado, desde la revolución industrial, las actividades humanas, han provocado un incremento en la concentración de GEI. Algunos ejemplos de estas actividades son el incremento en el uso del transporte, quema de combustibles fósiles, deforestación, erosión del suelo, actividades industriales y la generación de RSU (Romanov, 2017). En la Tabla I.1 se muestran los diferentes GEI presentes en la atmósfera, así como sus principales orígenes, tanto naturales como antropogénicos.

Tabla I.1. Principales Gases de Efecto Invernadero.

Gases de efecto invernadero	Origen natural	Origen antropogénico	Autor
Dióxido de carbono (CO ₂)	Producto de la respiración de seres humanos y fauna Descomposición de biomasa	Quema de combustibles fósiles Residuos sólidos urbanos Industrias Deforestación	
Clorofluorocarbonos (CFC's)	No hay producción de manera natural	Procesos industriales	
Metano (CH ₄)	Descomposición anaerobia Incendios naturales Liberación de gas natural	Actividades agrícolas Residuos sólidos urbanos Quema de biomasa Incendios provocados	(EPA, 2019)
Óxido nitroso (N ₂ O)	Nitrificación y desnitrificación del suelo Procesos biológicos	Actividades agrícolas Quema de combustible fósil Residuos sólidos urbanos Aguas residuales	
Monóxido de carbono (CO)	Descomposición anaerobia Descomposición de biomasa	Combustión incompleta del carbono Quema de combustibles fósiles	Contreras <i>et al.</i> , 2020

Óxidos de nitrógeno (NOx)	Descomposición de biomasa Procesos biológicos	Procesos industriales Quema de combustibles fósiles	Calla y Luján, 2018
Ozono (O ₃)	Reacciones químicas naturales	Contaminación atmosférica Quema de combustibles fósiles	Racines, 2018
Vapor de agua (H ₂ O)	Aumento de la temperatura en la atmósfera	Actividades agrícolas Establecimiento de reservorios de agua	Gómez, 2016
Hidrofluorocarbonos	No hay producción de manera natural	Procesos industriales	Kerr, 2010
Hexafluoruro de azufre	No hay producción de manera natural	Procesos industriales	

Los países desarrollados son los mayores emisores de GEI, mientras que los países en vías de desarrollo contribuyen en menor proporción. La contribución de los países como China y Estados Unidos tiende a ir en aumento para satisfacer necesidades sociales y de desarrollo (Londoño *et al.*, 2020). En la Figura I.2 se muestran los principales emisores de GEI a nivel mundial.

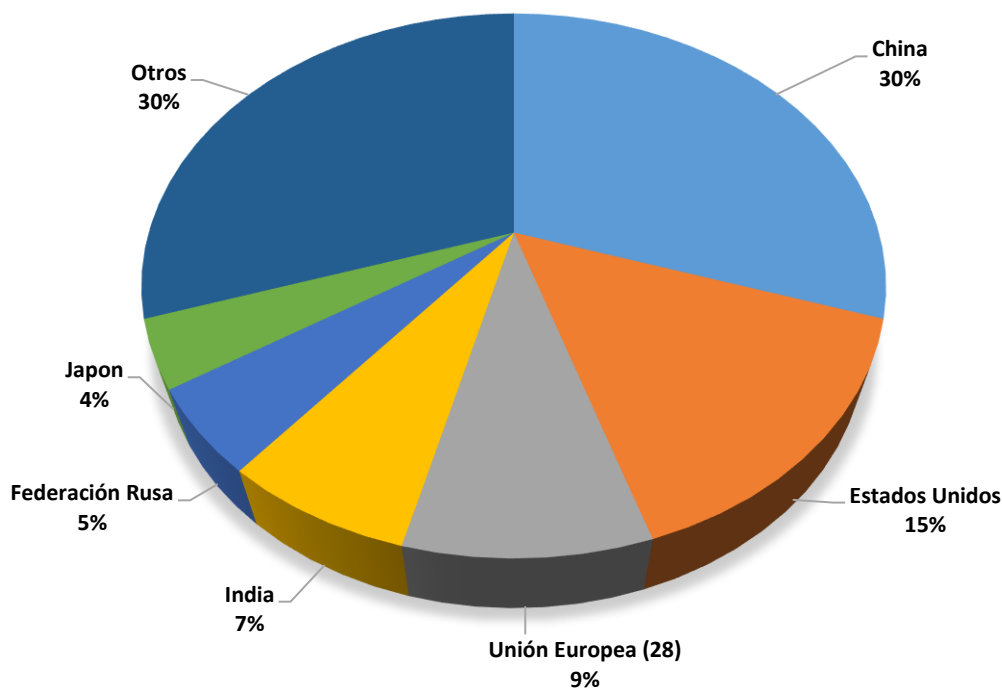


Figura I.2. Principales emisores de GEI (Boden *et al.*, 2017; Maenhout *et al.*, 2017; NCI, 2019).

Para realizar una comparación de los impactos de los diferentes GEI a través de un período de tiempo, se estableció una medida de referencia, llamada potencial de calentamiento global (EPA, 2016). El potencial de calentamiento global (GWP, por sus siglas en inglés), es el potencial que tiene cada GEI para contribuir al calentamiento global por medio del efecto invernadero en la atmósfera (Ramírez, 2019). El GWP se calcula utilizando el forzamiento radiativo y la vida media de cada gas. La unidad que permite realizar comparaciones entre los diferentes gases debe estar expresada como dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) (Gray, 2015). En la Tabla I.2 se muestran los valores de GWP más recientes para un horizonte temporal de 100 años para diferentes gases, presentadas en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (2013).

Tabla I.2. Potenciales de calentamiento global (IPCC, 2013).

Gas de efecto invernadero	Potencial de calentamiento global
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Clorofluorocarbonos (CFC's)	4,660-13,900
Metano (CH ₄)	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	298
Monóxido de carbono (CO)	1.8
Óxidos de nitrógeno (NO _x)	8.2
Hidrofluorocarbonos	124-12,700
Hexafluoruro de azufre	23,900

I.3. Calentamiento global

El calentamiento global hace referencia al aumento de las temperaturas planetarias, este cambio ocurre de manera natural a través del tiempo. Sin embargo, se tienen

registros de que las actividades antropogénicas en los últimos años han tenido una contribución significativa (Paterson, 2014). El calentamiento y los efectos asociados varían por región en el mundo. El aumento de la temperatura global ha sido de 1°C, desde el comienzo de la Revolución Industrial hasta el año 2017, pero si el aumento continúa con el mismo crecimiento anual, es probable que este incremento llegue a 1.5°C entre 2030-2052 (IPCC, 2018).

I.4. Cambio climático

El Cambio Climático se define como la *“Variación del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera global y se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables”* (LGCC, 2018).

La aceleración del cambio climático representa un riesgo que altera parte de las medidas que han sido propuestas y empleadas en diferentes sectores, en los cuales se plantea disminuir la vulnerabilidad de la población ante determinados cambios ambientales (Zamora, 2015). La vulnerabilidad a la que está expuesta la población es diferenciada, esto se debe a la desigualdad que existe entre los países desarrollados, principales causantes del cambio climático, y los países en vías de desarrollo, los cuales afrontan con mayor complejidad los riesgos y consecuencias de este fenómeno (Borrás, 2016).

I.5. Causas y consecuencias del cambio climático

El cambio climático se ha dado a través del tiempo de manera natural. Sin embargo, en el último siglo la contribución antropogénica ha sido notable. El aumento en la concentración de GEI, ha propiciado el calentamiento del planeta, que a su vez genera alteraciones climáticas que, a través del tiempo, sólo van en aumento. La

combinación de los cambios se presenta como una amenaza a la comunidad, los ecosistemas, la seguridad alimentaria y al sector salud (Gleick *et al.*, 2010).

Los impactos que se presentan en cada región no son lineales ni homogéneos. A continuación, se presenta una lista de las consecuencias originadas por el cambio climático con base en la información de CEPAL (2020).

- Disminución de la producción y la calidad de los alimentos
- Diminución de ingresos e incremento en los precios, aumentando la desigualdad
- Menor disponibilidad de agua
- Derretimiento de glaciares
- Incremento en el nivel del mar
- Fenómenos extremos
- Inundaciones en áreas rurales y urbanas
- Desaparición de bosques
- Blanqueamiento de corales
- Pérdida de biodiversidad
- Aparición de especies invasoras
- Pérdida de servicios ecosistémicos
- Propagación de enfermedades transmitidas por vectores

Debido a esta problemática, se han planteado diferentes herramientas para determinar las emisiones de GEI, una de las más utilizadas son los Inventarios de Gases de Efecto Invernadero, en los cuales se reportan las emisiones de GEI en periodos de tiempo, así como los impactos y las acciones que se pueden realizar para la mitigación y adaptación ante el cambio climático.

I.6. Inventarios de Gases de Efecto Invernadero

Los inventarios de GEI son una herramienta que provee información acerca de los niveles y fuentes de emisión de este tipo de gases, son utilizados para conocer la situación actual, proyecciones futuras y como referencia para los objetivos de reducción (USDA, 2016). Con base en los resultados de los inventarios de GEI, se pueden fundamentar bases científicas que permitan establecer medidas de mitigación y posteriormente de adaptación (Li *et al.*, 2017).

La elaboración técnica, incluye la recopilación y análisis de información, elaboración de bases de datos, el seguimiento de protocolos, así como el uso del software para el cálculo de emisiones (Boswell *et al.*, 2019).

Las metodologías aplicadas para la elaboración de los inventarios suelen estar condicionadas a tres parámetros: los sectores de emisión, las fórmulas de cálculo y los factores de emisión. Cada metodología determina la manera de evaluar estos tres parámetros, así mismo, el uso de estos parámetros asegura la confiabilidad del inventario (Rivas, 2020). Una de las metodologías más utilizadas es la del IPCC (2006), la cual aborda cuatro sectores como: *Energía, Procesos industriales y uso de productos* (IPPU, por sus siglas en inglés), *Agricultura, silvicultura y uso de la Tierra* (AFOLU, por sus siglas en inglés) y *Residuos*.

La metodología del IPCC se guía por buenas prácticas, las cuales se basan en cinco indicadores: transparencia, exhaustividad, coherencia, comparabilidad y exactitud. Los indicadores mencionados son la base para asegurar la calidad del inventario, abarcando desde la etapa de recolección de datos, hasta la elaboración de informes. El uso de un método basado en buenas prácticas permite que los inventarios sean coherentes, comparables, completos, exactos y transparentes, así como asegurar que la calidad del inventario aumentará a través del tiempo (IPCC, 2019b).

Desde el año de 1992, México forma parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Actualmente se han publicado seis comunicaciones Nacionales, en las que se ofrece una perspectiva actualizada y generalizada de los efectos del cambio climático en México, muestra los sectores que tienen mayor aportación en la generación de GEI, las acciones de mitigación y adaptación, arreglos institucionales y políticas públicas que se han realizado en la búsqueda de disminuir las emisiones de GEI (INECC, 2018).

En la Sexta Comunicación publicada en el año 2018, se presenta el análisis del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INEGyCEI), en el cual explica la aportación de GEI conforme a la metodología del IPCC (2006), contemplando los cuatro sectores: *Energía*, *Procesos industriales y uso de productos* (IPPU, por sus siglas en inglés), *Agricultura, silvicultura y uso de la Tierra* (AFOLU, por sus siglas en inglés) y *Residuos*.

En la Figura I.3 se muestra el porcentaje de GEI emitidos por sector, siendo Energía el que más aporta con 71.11%, seguido de AFOLU con 14.59%, Procesos industriales y usos de productos con 7.74% y finalmente Residuos con 6.56%.

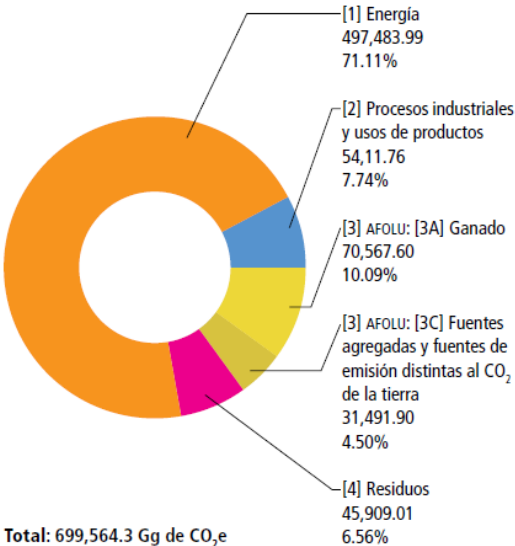


Figura I.3. Emisiones y contribución de GEI en México por sector para el año 2015 (INECC y SEMARNAT, 2018).

Por otro lado, en la Tabla I.3 se presentan los GEI considerados en el anexo A del Protocolo de Kioto, además se incluyen las emisiones de los gases.

Tabla I.3. Emisiones en México por tipo de GEI (INECC y SEMARNAT, 2018).

Tipo de gas	Emisiones (Gg de CO ₂ eq)
CO ₂	503,473.80
CH ₄	142,143.76
N ₂ O	41,134.72
HFC	12,616.74
SF ₆	195.25
CO ₂ (absorciones)	-148,346.07

eq= Equivalente

Para el estado de Morelos, en el año 2013 se publicó el inventario de emisiones de GEI para los años 2005, 2007 y 2009. Se calcularon las emisiones con la metodología del IPCC, 1996 de los cinco sectores establecidos: *Energía; Procesos Industriales y Solventes; Agricultura y Ganadería; Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUSyS); y Residuos* (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013). Los resultados obtenidos de este inventario muestran que para el año 2005 la emisión fue de 8,993.06 Gg de CO₂ eq, para el año 2007 fueron 10,413.92 Gg de CO₂ eq y en el 2009 fueron 9,149.76 Gg de CO₂ eq (Figura I.4), observándose una disminución en las emisiones de este último año, ocasionadas por el sector de *procesos industriales y solventes* y del sector de *Residuos*. La reducción en las emisiones por procesos industriales se debió a la disminución en la producción de piedra caliza, por otra parte, en el sector residuos

se debió a la disminución en el caudal tratado de aguas residuales industriales (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

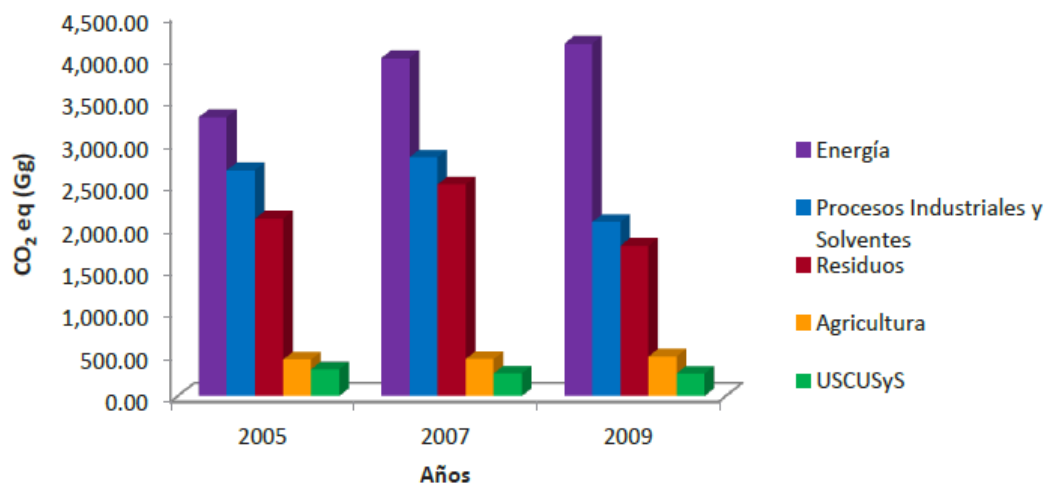


Figura I.4. Emisiones de GEI durante los años 2005, 2007 y 2009 de los sectores evaluados en el inventario estatal de Morelos (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

Asimismo, en la Figura 1.5 se muestra el promedio de la aportación porcentual a las emisiones de GEI por sector durante el período 2005-2009. Energía mostró la mayor aportación con un 41% seguido de procesos industriales con un 39% y residuos con un 22%. Por otro lado, los sectores que menos emisiones aportaron fueron Agricultura y Ganadería con 5% y USCUSyS con 3%.

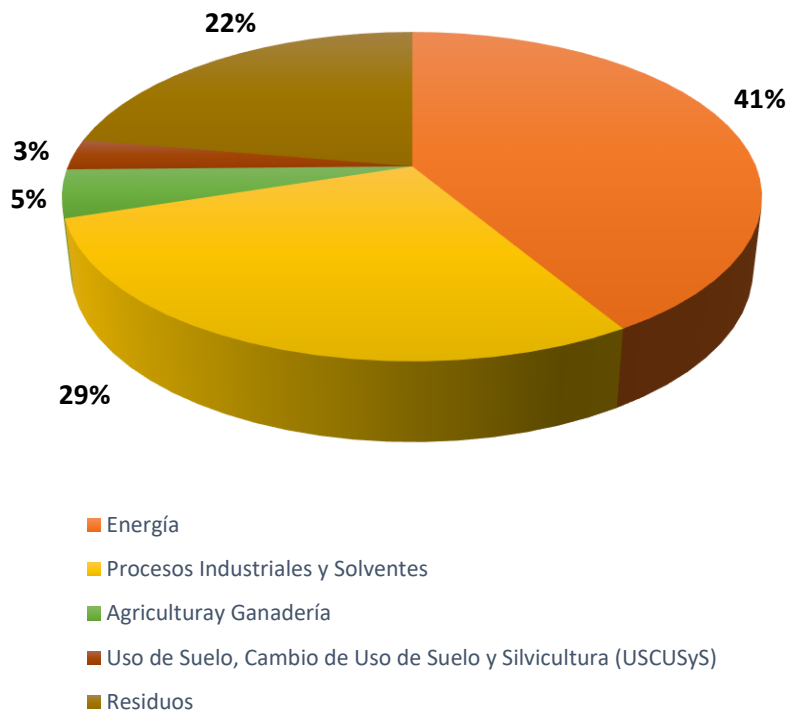


Figura I.5. Aportación porcentual de emisiones por sector en el período 2005-2009 (Adaptación de Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

I.7. Residuos

En México la LGPGIR (2018) establece que un residuo, *“es un material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esa Ley y demás ordenamientos que de ella deriven”*. La LGPGIR también realiza la clasificación de los residuos en: Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP).

I.7.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

De acuerdo a la LGPGIR (2018), se establece que los RSU, *“son aquellos generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole”*.

I.7.2. Residuos de Manejo Especial (RME)

Los RME *“son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”* (LGPGIR, 2018).

I.7.3. Residuos Peligrosos (RP)

Por su parte, los RP *“son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad (CRETIB), así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley”* (LGPGIR, 2018).

I.8. Generación de RSU en México y en Morelos

Los países desarrollados o en vías de desarrollo enfrentan el crecimiento urbano y el desarrollo industrial que es asociado al incremento de la generación de RSU, esto

aunado al ineficiente manejo de los residuos, provocando diversas repercusiones ambientales, económicas y sociales (Akhtar *et al.*, 2017).

Para México en el año de 1998, la generación de los RSU se estimó en 30,550 miles de toneladas (Mt) (Castrejón-Godínez *et al.*, 2015), mientras que para el año 2012, fue de 42,102 Mt (SNIARN, 2020), lo que corresponde a un incremento del 38% para este periodo. Particularmente, en el estado de Morelos, la generación de RSU en el año de 1998 fue de 443.2 Mt (Castrejón-Godínez *et al.*, 2015) y para el año 2012 fue de 631.45 Mt (SNIARN, 2020), representando un incremento del 42% de generación para este período. La Figura I.6 muestra la generación de RSU para México y Morelos para el período de 1998-2012.

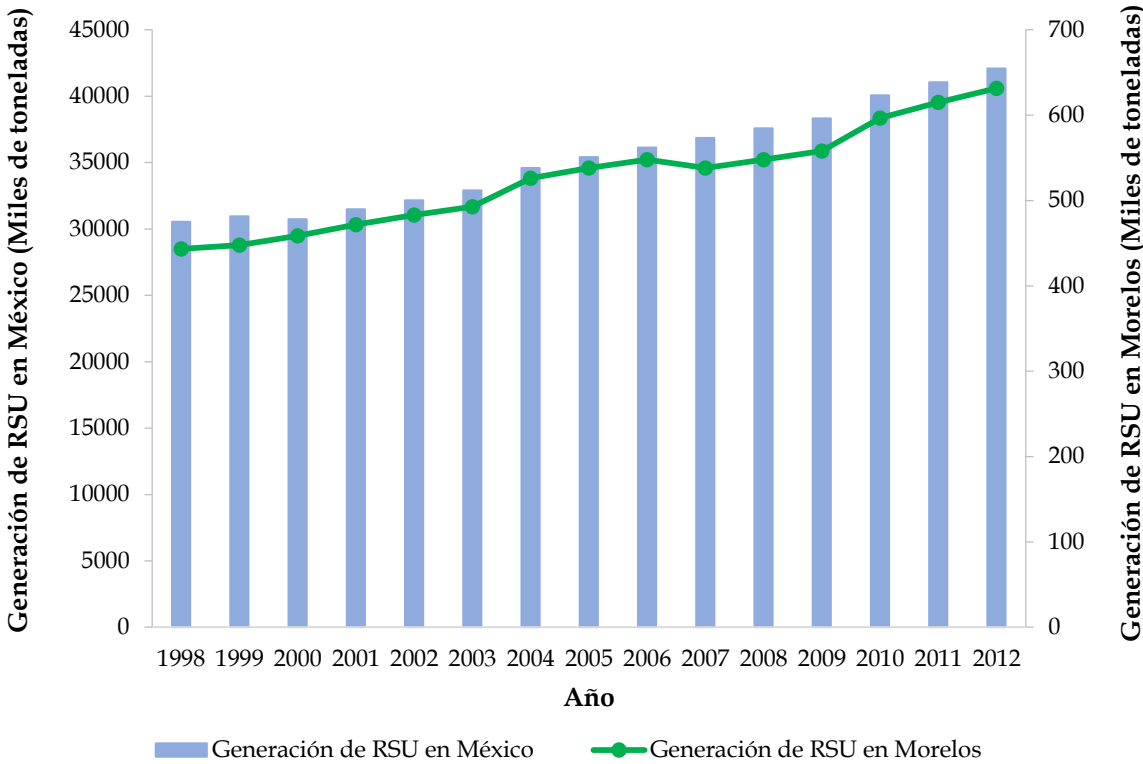


Figura I.6. Generación total de RSU (Mt) en el período 1998-2012 (Castrejón-Godínez *et al.*, 2015 y SEMARNAT, 2013).

I.9. Generación de GEI por RSU en México y en Morelos

Para la elaboración de inventarios de GEI, de acuerdo con la metodología del IPCC 2006, para el sector de residuos se determinan cuatro categorías: La primera es la *disposición de residuos sólidos*, la segunda es el *tratamiento biológico de residuos*, el tercero es la *incineración y quema de residuos a cielo abierto* y la cuarta es el *tratamiento y descarga de aguas residuales* (IPCC, 2019a).

En la Sexta Comunicación Nacional sobre el Cambio Climático se menciona la estimación de los GEI provenientes de la categoría residuos para el año 2015, para la cual se consideraron la fuente de emisión por disposición final de RSU, el tratamiento biológico de residuos, la incineración y quema de residuos a cielo abierto, y el tratamiento y descarga de aguas residuales (INECC, 2015; INECC y SEMARNAT, 2018). El sector de Residuos emitió el 6.56% del total de las emisiones, esta contribución es menor en comparación con algunos otros sectores como Energía con 71.11% y AFOLU en la categoría de ganado con 10.09%. Sin embargo, es importante resaltar el incremento que ha tenido, desde el año de 1990 donde la generación fue de 12,550.11 Gg de CO₂ eq, con respecto al año 2015 cuya emisión fue de 45,909.01 Gg de CO₂ eq (INECC y SEMARNAT, 2018), lo cual representó un aumento del 266%. Asimismo, en la Figura I.7 se muestra que la segunda categoría que generó la mayor proporción de las emisiones fue la disposición final de RSU.

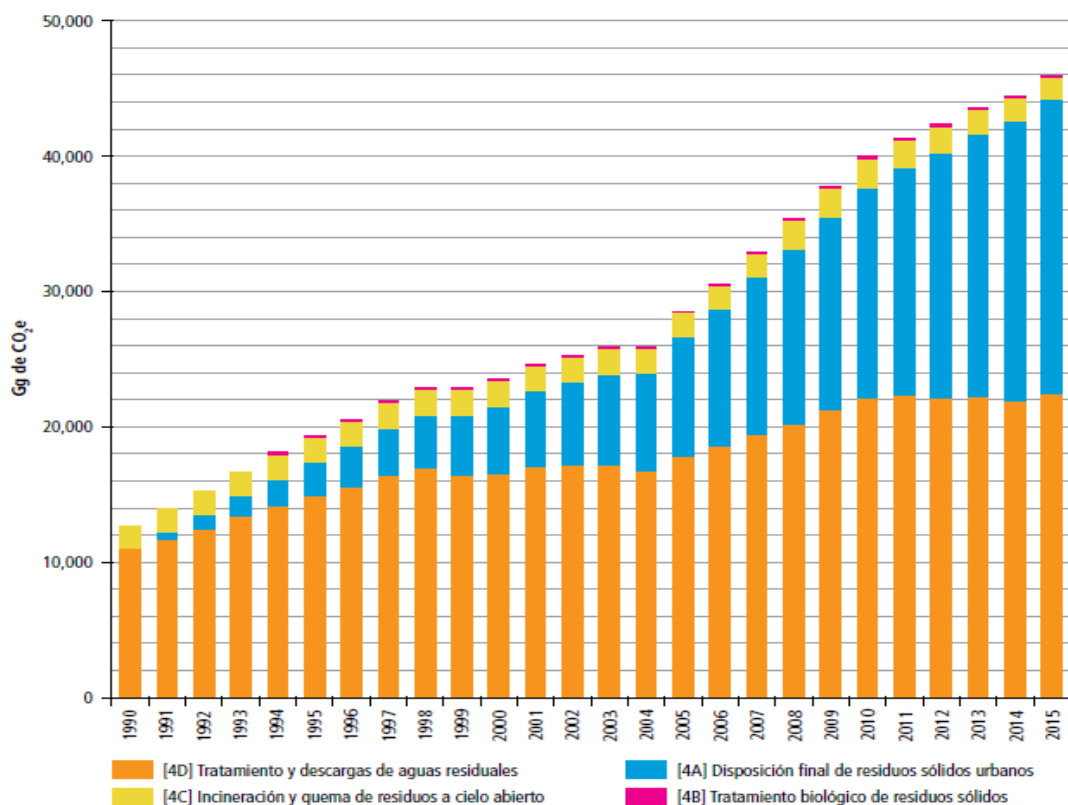


Figura I.7. Emisiones de GEI en el sector de Residuos para el periodo 1990-2015, (INECC y SEMARNAT, 2018).

En el estado de Morelos, como ya se mencionó, se publicó en el año 2013 el inventario de GEI, para los años 2005, 2007 y 2009. Para el sector de residuos se contemplaron tres categorías por tipo de fuente de emisión: disposición de residuos sólidos urbanos en el suelo, manejo y tratamiento de aguas residuales municipales e industriales, así como la incineración de residuos. Los resultados para cada categoría muestran una variación en la emisión de GEI para cada año. En el 2005 considerado como el año base, la emisión de GEI fue de 2,096.6 Gg de CO₂ eq, mientras que para el año 2007 se incrementó en un 19% con respecto al año base, con una emisión de 2,501.3 Gg de CO₂ eq y para el 2009 se muestra una disminución del 15.4% comparado con el año base, las emisiones fueron 1,774.4 Gg de CO₂ eq (Tabla I.4). A pesar del aumento de emisiones de N₂O por el crecimiento poblacional y el consumo de proteína, las emisiones de GEI disminuyeron, esto proviene de la reducción de

emisión de CH₄, debido a la disminución del caudal tratado de las aguas residuales industriales. Para la categoría de incineración de residuos no se obtuvo información, debido a que las instituciones no proporcionaron la información, además en Morelos no existían incineradores operando, por lo que se contratan empresas para trasladar sus residuos a otros estados del País (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

Tabla I.4. Emisiones de GEI en CO₂ provenientes del sector residuos en el estado de Morelos para los años 2005, 2007 y 2009 (Ortiz-Hernández *et al.*, 2013).

Categoría	CO ₂ eq (Gg)					
	2005		2007		2009	
Gas	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O
Disposición de residuos sólidos	742.4	-	742.4	-	770	-
Aguas residuales municipales (domésticas/comerciales)	1,315.9	38.4	1,714.9	44.1	958.5	45.9
Total por gas	2,058.2	38.4	2,457.2	44.1	1,728.5	45.9
Total CO ₂ eq (Gg)	2,096.6		2,501.3		1,774.4	

En la actualización del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos (Sheinbaum *et al.*, 2016), se reportan las emisiones de GEI para el año 2010, así como las proyecciones para el año 2030. En cuanto al sector Residuos, la categoría evaluada es disposición final de Residuos Sólidos Urbanos. Los resultados indican que en el año del escenario base, 2010, se emitieron 97.7 Gg de CO₂ eq y de acuerdo con la proyección para el año 2030 se emitirán 933.77 Gg de CO₂eq, información disponible en la Figura I.8. Las emisiones entre este período de 20 años son casi 10 veces mayores. Los resultados anteriores son de los residuos generados únicamente en el estado de Morelos, es decir, no se contabilizan las emisiones de los residuos de otros estados depositados en los sitios de disposición final de Morelos.

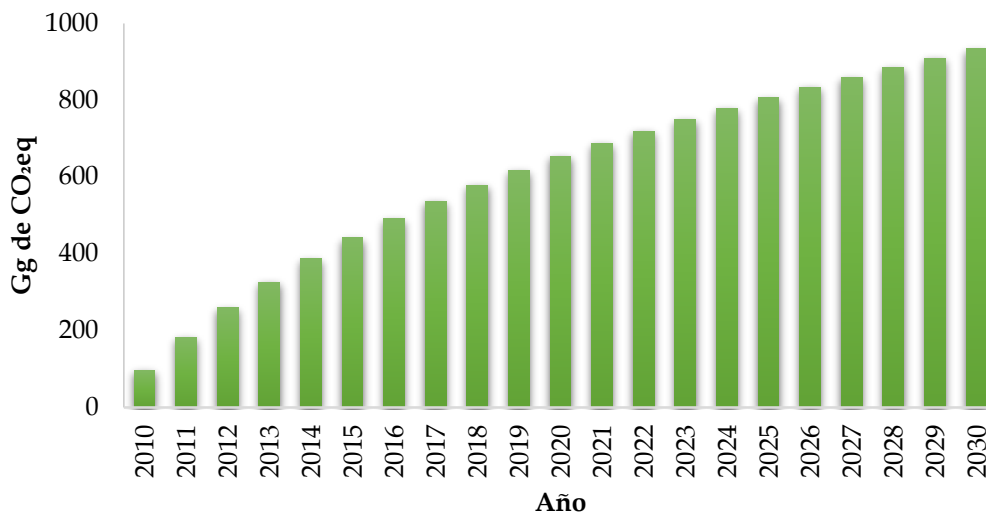


Figura I.8. Emisiones totales por disposición final de RSU del estado de Morelos (Adaptación de Sheinbaum *et al.*, 2016).

I.10. Políticas internacionales, nacionales y estatales en materia de cambio climático

A nivel internacional existen diversos acuerdos y convenios en materia de cambio climático. Mismos que han sentado bases para que los países que aceptan firmar enfoquen su política nacional en favor del ambiente. A continuación, se mencionan algunos documentos que hacen referencia a la mitigación de GEI, a la delimitación y eliminación de emisiones de GEI.

El *Convenio de Viena* es emitido a través de diversas negociaciones intergubernamentales en 1985. Tiene como objetivo la cooperación a través de observaciones sistemáticas, investigación e intercambio de información. Esto permitirá la comprensión y evaluación de actividades de origen antropogénico que afectan la capa de ozono y los efectos negativos en la salud humana y del ambiente.

También se busca que sean emitidos instrumentos legislativos y administrativos que permitan prevenir, controlar, limitar y reducir actividades que repercutan de manera negativa en la modificación de la capa de ozono (SEMARNAT, 2015).

Con motivo del Convenio de Viena, se elabora el *Protocolo de Montreal* en 1987. El cual tiene como objetivo la protección a la capa de ozono. Lo anterior llevó a tomar medidas que controlan la producción y el consumo a nivel mundial de sustancias que agoten o causen efectos negativos en la capa de ozono. También menciona diversas sustancias que deberán ser eliminadas de manera gradual en la producción y en el consumo, con el fin de ser desplazadas por completo (PNUD, 2007).

La *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC, 1992), tiene como objetivo lograr la estabilidad de las concentraciones de GEI en la atmósfera, mismas que son producidas por actividades antropogénicas y que ponen en riesgo la estabilidad del ambiente. La estabilización debe realizarse en un período que permita la adaptación de los ecosistemas ante el cambio climático. Dentro del CMNUCC se establecen las responsabilidades diferenciadas para países desarrollados y en vías de desarrollo. Todas las naciones que estén dentro deberán elaborar inventarios nacionales con técnicas comparables. También tendrán que elaborar políticas nacionales enfocadas a la mitigación de los efectos del cambio climático, así como la limitación y eliminación de emisiones de GEI.

A partir de la CMNUCC, en 1998 surge el *Protocolo de Kioto*, cuyo objetivo es generar y dar cumplimiento a medidas que conduzcan a reducir emisiones de GEI. Las naciones en desarrollo tenían como compromiso la reducción de emisiones de GEI, tomando como referencia los niveles del año 1990 y como plazo de reducción, el período 2008-2012.

Asimismo, el *Acuerdo de París* (2015), tiene como objetivo mejorar la respuesta mundial ante los efectos del cambio climático. Lo anterior a través del aumento de la capacidad de adaptación, la resiliencia y la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático llevado a un enfoque de contribución al desarrollo sostenible. Para el cumplimiento del objetivo principal se han fijado diversas metas, una de esas metas es mantener el aumento de la temperatura media mundial debajo de 1.5°C.

Asimismo, en México se han determinado instrumentos que establecen responsabilidades en los diferentes niveles de gobiernos (CD, 2019). Las políticas nacionales que se mencionan a continuación: están enfocadas a la disminución de emisiones de GEI.

La Ley General de Cambio Climático (LGCC) publicada en el 2012, establece facultades de manera federal, estatal y municipal para elaborar y aplicar políticas públicas reguladas que busquen la mitigación de los efectos del cambio climático, así como la adaptación. Dentro de esta ley se visualiza la regulación y mitigación de emisiones de GEI, teniendo también como objetivo la estabilización de las concentraciones de estos gases. Incluye también fomentar actividades educativas, de investigación y la difusión de información en materia de adaptación y mitigación al cambio climático. De la misma forma se buscan reducir los efectos del cambio climático a los que está expuesta la población y los ecosistemas de México.

La Estrategia Nacional de Cambio Climático publicada en el año 2013, cuyo objetivo es determinar la política nacional en diferentes temporalidades para afrontar los efectos del cambio climático. Este instrumento tiene la facultad de dar ejes estratégicos y las acciones, mismas que deberán tomarse en los tres niveles de gobierno y en la sociedad, con el fin de atender y alcanzar las prioridades nacionales deseables en materia de cambio climático.

En el año 2014 se publica el *Reglamento de la Ley General de Cambio Climático*, el cual tiene como objetivo reglamentar la LGCC en lo referido al registro nacional de emisiones. Lo anterior se realizará por medio de la compilación de información en materia de emisión de gases y compuestos de efecto invernadero derivados de los diversos sectores productivos del país.

El *Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018 (PECC)*, fue publicado en el año 2014, cuyo objetivo es buscar que México transite hacia una economía competitiva, sustentable y que permita la disminución de emisiones de carbono. Este programa es un instrumento de planeación política que a través de acciones genere beneficios con menores costos a la población y a su vez promueve el posicionamiento de México ante acuerdos globales en materia de cambio climático.

En el Plan Nacional de Desarrollo, publicado en el año 2019, se estipula que se debe crear el Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales. El objetivo general es lograr el bienestar social, a través de un modelo de desarrollo económico viable. El Programa contiene 5 objetivos, 18 estrategias prioritarias y 84 acciones que deberá seguir la SEMARNAT en conjunto con sus organismos sectorizados. Entre los cinco objetivos destaca la importancia de la mitigación y la adaptación al cambio climático.

En el estado de Morelos existen instrumentos que son utilizados para la prevención y mitigación del cambio climático, mismos que implican la disminución de GEI.

La actualización del Programa Estatal de Acciones ante el Cambio Climático en el estado de Morelos, fue publicada en el año 2016. Tiene como objetivo aportar información en lo referente a la emisión de GEI en el estado. Por lo cual fue elaborado un inventario de emisiones de GEI para los diferentes sectores, así como, escenarios base y medidas de mitigación. A su vez, cada medida ha sido evaluada económicamente y

se han propuesto estrategias para la implementación, medición y verificación de cada una de ellas.

El Programa Estatal de Acciones ante el Cambio Climático en el estado de Morelos (PEACCMOR publicado en el año 2015), tiene como objetivo impulsar acciones públicas de carácter natural, social y económico, que permitan aportar medidas de mitigación y prevención al cambio climático de acuerdo con las metas nacionales. A su vez, establece medidas para evitar la generación, la reducción y la captura de GEI.

El Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN) fue un programa financiado por la Embajada Británica en México para el período 2011-2015. Contó con el respaldo del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) y por ICLEI- Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. El objetivo fue orientar las políticas públicas de los municipios en materia de mitigación y adaptación al cambio climático (Alcérreca, 2012). De acuerdo con la Secretaría de Desarrollo Sustentable, los 33 municipios del estado de Morelos estuvieron inscritos en el programa y de manera oficial, hasta el año 2019, han sido publicados los planes de los municipios de Cuernavaca, Tlayacapan, Xochitepec, Yautepec, Zacualpan de Amilpas, Jiutepec, Ocuilco, Amacuzac, Mazatepec, Axochiapan, Temoac, Ayala, Tepoztlán, Temixco y Emiliano Zapata (SDS, 2019).

CAPITULO II. JUSTIFICACIÓN

Los patrones de consumo de productos y servicios han cambiado de manera significativa a lo largo del tiempo, además del crecimiento poblacional, la urbanización y el desarrollo económico, lo que ha conllevado a una mayor generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), desde la extracción de recursos hasta la disposición final. Aunado a esto, el manejo inadecuado de los RSU se relaciona con diferentes problemas ambientales, entre los que se encuentra la generación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), principalmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), debido a la descomposición anaerobia de la materia orgánica y por la incineración de residuos, respectivamente; así como el óxido nitroso (N_2O) liberados por la quema de residuos inorgánicos como los plásticos.

A nivel Nacional en el año 2018, se presentó la Sexta Comunicación Nacional y su Segundo Informe Bienal de Actualización a las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en donde el sector de residuos contribuyó con el 6.6% de las emisiones nacionales cuantificadas para el año 2015. Mientras, que el estado de Morelos, reporta en la actualización del Programa Estatal de Acción antes el Cambio Climático (2016), que el sector residuos contribuyó con el 4% de las emisiones estatales de GEI reportadas para el año 2010, asimismo se proyecta que este sector contribuya con el 13% de las emisiones para el año 2030. En este Programa Estatal se utilizó la metodología del IPCC, 2006 para el cálculo de las emisiones, sin embargo, los años utilizados cubrieron el periodo comprendido entre 2010 y 2030, por lo que determinar el nivel de las emisiones de GEI del sector residuos desde el año de 1998 permite contar con mayor información, sobre las emisiones de GEI a través del tiempo.

Debido a lo anterior el objetivo del presente trabajo fue estimar las emisiones de GEI generadas por los RSU en el Estado de Morelos para el periodo 1998-2020, con la

finalidad de complementar la información de los GEI generados a lo largo de los años, y que sea de utilidad para la creación y/o modificación de las estrategias del manejo integral de los residuos, lo cual permitirá disminuir los GEI emitidos por el sector residuos en el estado de Morelos.

CAPITULO III. OBJETIVOS

III.1. Objetivo General

Evaluar las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los Residuos Sólidos Urbanos en el estado de Morelos para el período 1998-2020.

III.2. Objetivos específicos

- Determinar la generación de Residuos Sólidos Urbanos para el periodo 1998 al 2020.
- Estimar la generación de Gases de Efecto Invernadero originados por la disposición de residuos sólidos urbanos, en el estado de Morelos para el periodo 1998 al 2020.

CAPITULO IV. PROPUESTA A IMPLEMENTAR

IV.1 Sitio de estudio

El estado de Morelos se divide en 36 municipios, siendo Cuernavaca la capital. Se localiza en el centro del país y representa el 0.25% del total de la superficie de México. Las coordenadas entre las que se encuentra el estado de Morelos son 18°325 y 19.150 longitud Norte, 98.625-99.500° latitud Oeste. La colindancia del estado con la Ciudad de México es al norte, Guerrero al sur, estado de México al noreste y noroeste y al oriente con Puebla (INEGI, 2017).

De acuerdo con la información de INEGI (2015), la población total del estado de Morelos es de 1, 903, 811, del cual 48.1% son hombres y 51.9% son mujeres. El 84% de la población habita en zonas urbanas y el 16% en zonas rurales.

Morelos presenta ocho tipos de climas: cálido subhúmedo, templado subhúmedo, semifrío subhúmedo, semicálido subhúmedo (tres tipos, que varían en el índice de precipitación total anual), semiárido semicálido y cálido subhúmedo (Figura IV.1). Las características de temperatura y precipitación se encuentran detallados en la Tabla IV.1.

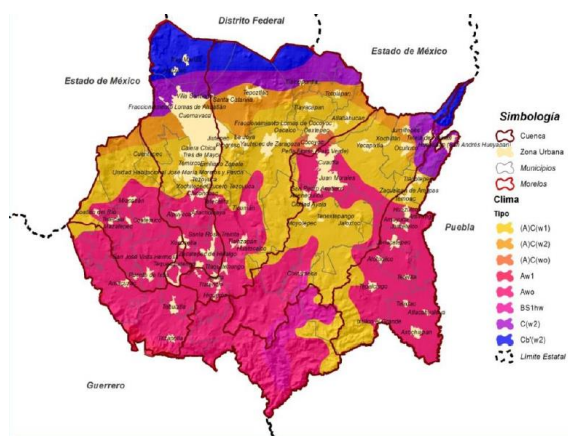


Figura IV.1. Climas en el estado de Morelos (CEA, 2014).

Tabla IV.1. Tipos de climas en Morelos (CEA, 2014).

Tipo de clima	Características de la temperatura (T)	Características de precipitación (P)
Cálido subhúmedo Awo	Temperatura media anual mayor a 22°C y temperatura del mes más frío mayor a 18°C	Precipitación del mes más seco entre 0 y 60 mm; lluvias de verano con índice P/T menos de 43.2 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Templado subhúmedo C(w2)	Temperatura media anual entre 12°C y 18°C, temperatura del mes más frío entre 3°C y 18°C y temperatura del mes más cálido bajo 22°C	Precipitación en el mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual
Semifrío subhúmedo Cb'(w2)	Con verano fresco largo, temperatura media anual entre 5°C y 12°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más cálido bajo 22°C.	Precipitación en el mes más seco menos de 40 mm; lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semicálido subhúmedo (A)C(w2)	Del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más cálido mayor a 22°C.	Precipitación del mes más seco menor a 40 mm; lluvias de verano con índice P/T mayor de 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semicálido subhúmedo (A)C(w1)	Del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más cálido mayor a 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2 y 55 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semicálido subhúmedo (A)C(wo)	Semicálido subhúmedo del grupo C, temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más cálido mayor a 22°C.	Precipitación del mes más seco menor de 40 mm; lluvias de verano con índice P/T menor de 43.2, y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Semiárido semicálido BS1hw	Temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más cálido mayor a 22°C.	Lluvias de verano y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.
Cálido subhúmedo Aw1	Temperatura media anual mayor de 22°C y temperatura del mes más frío mayor a 18°C.	Precipitación del mes más seco menor de 60 mm; lluvias de verano con índice P/T entre 43.2 y 55.3 y porcentaje de lluvia invernal del 5% al 10.2% del total anual.

IV.2. Tipo de investigación

La investigación presentada es de diseño longitudinal. Este tipo de diseño se centra en la evolución del problema planteado en la investigación, a través de un período de tiempo determinado (Ballestín *et al.*, 2018). En este estudio, el problema planteado es el aumento en la emisión de GEI y el período de tiempo es de 1998-2020.

IV.3. Fuentes de información

En la elaboración de Inventarios de GEI, el sector de Residuos se divide de acuerdo con las categorías: *disposición final de RSU, tratamiento biológico de RSU, incineración y quema a cielo abierto de residuos y el tratamiento y descargas de aguas residuales*. Para este trabajo solo se estimaron los GEI generados de la disposición final de los RSU en el estado de Morelos.

Primero se realizó la búsqueda de datos de la generación de RSU en Morelos para el periodo comprendido del año 1998 al 2020 en el Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales (SNIARN) de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), además de artículos publicados en revistas indizadas (Castrejón-Godínez *et al.*, 2015), cabe señalar que solo se obtuvieron los datos de generación de RSU para el periodo de 1998 a 2012 en miles de toneladas. Por lo que, para el periodo 2013-2020, se realizaron regresiones lineales para estimar la generación de RSU en el Estado (Tabla IV.2). El aumento de la generación de RSU (variable dependiente), a través del tiempo (variable independiente), resultó en una correlación de 0.989 (Figura IV.2). Una vez obtenidos, los datos fueron utilizados para calcular los volúmenes de generación *per cápita* (kg/cap/año), de acuerdo con lo indicado por el software del IPCC.

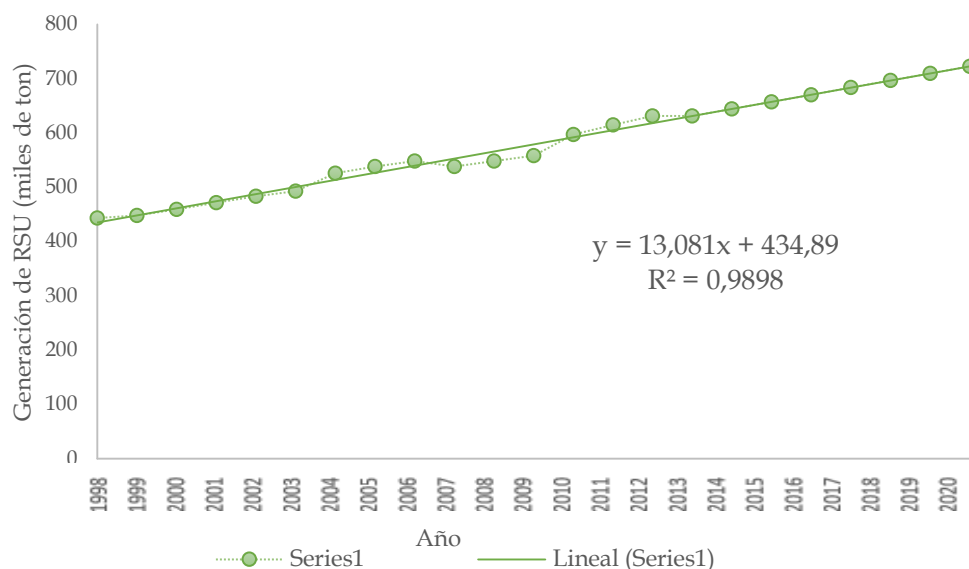


Figura IV.2. Generación de RSU en el período 1998-2020.

Para obtener los datos correspondientes a la población total del Estado para el período de estudio, se consultaron las proyecciones realizadas por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), que se encuentran en la siguiente página electrónica <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050> (Tabla IV.2).

Tabla IV.2. Población y generación de RSU para el estado de Morelos.

AÑO	POBLACIÓN	GENERACIÓN RSU			
		Miles de Ton	Ton	Kg	Kg/cap/año
1998	1,513,643	443.2	443,200	443,200,000	292.8
1999	1,538,390	447.8	447,790	447,790,000	291.1
2000	1,562,835	458.9	458,850	458,850,000	293.6
2001	1,576,909	471.7	471,730	471,730,000	299.1
2002	1,592,959	483.2	483,210	483,210,000	303.3
2003	1,608,975	492.8	492,750	492,750,000	306.3
2004	1,625,072	526.0	526,000	526,000,000	323.7
2005	1,640,511	538.0	538,000	538,000,000	327.9
2006	1,656,910	548.0	548,000	548,000,000	330.7
2007	1,686,723	538.0	538,000	538,000,000	319.0
2008	1,718,205	548.0	548,000	548,000,000	318.9
2009	1,750,624	558.0	558,000	558,000,000	318.7
2010	1,783,439	596.8	596,780	596,780,000	334.6
2011	1,810,631	615.0	615,030	615,030,000	339.7
2012	1,838,938	631.5	631,450	631,450,000	343.4
2013	1,865,477	631.1	631,095	631,095,000	338.3
2014	1,892,420	644.2	644,176	644,176,000	340.4
2015	1,918,034	657.3	657,257	657,257,000	342.7
2016	1,942,864	670.3	670,338	670,338,000	345.0
2017	1,966,476	683.4	683,419	683,419,000	347.5
2018	1,989,302	696.5	696,500	696,500,000	350.1
2019	2,011,648	709.6	709,581	709,581,000	352.7
2020	2,033,373	722.7	722,662	722,662,000	355.4

IV.4. Cálculo de emisiones de GEI por disposición final de RSU

Para realizar el cálculo de emisiones correspondiente a la disposición final de RSU, se utilizó el sector cuatro de residuos del software IPCC 2006 disponible en la siguiente [página electrónica https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html). Asimismo, se basó en el volumen 5 de residuos de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, el cual se encuentra integrado por seis capítulos y un anexo que presenta las hojas de trabajo.

Asimismo, se utilizó el Tier 1 debido al nivel de la información con la que se cuenta en el Estado de Morelos. Los Tiers representan los niveles de complejidad metodológica de la generación de inventarios de GEI del IPCC. Se clasifican en tres niveles, el nivel 1 (Tier 1) es el método básico, el nivel 2 (Tier 2) es intermedio y el

nivel 3 (Tier 3) más exigentes en términos de complejidad y de requisitos de datos, estos dos últimos suelen ser más precisos.

IV.5. Valores utilizados por defecto

Uno de los datos solicitados en el software es la composición de los RSU, es uno de los principales factores que influyen sobre las emisiones provenientes del tratamiento de los RSU, debido a que los residuos contienen diferentes cantidades de carbono degradable orgánico (DOC) y de carbono fósil. La composición y la clasificación de los RSU varían en cada región y país.

La Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos (EGIREM, 2017), reporta que el Estado presentó una generación de RSU de 1,939.95 toneladas al día para el año 2010, y una composición del 51% de orgánicos, 20% de otros residuos, 13% de plástico, 10% de papel, 4% de vidrio y 2% de metal. Estos son los únicos datos reportados, por lo que debido a la falta de información para el estado de Morelos durante el período 1998-2012, se utilizó la composición anual de los RSU de México proporcionados por el SNIARN. Para los años que no se obtuvo información, fueron estimados con extrapolación, los cuales se presentan en la Tabla IV. 3.

Por otro lado, se utilizó el valor por defecto de 0.5 de la fracción de carbono orgánico degradable (DOC_i), estipulado en la metodología IPCC-2006, y es una estimación de la fracción de carbono que se degrada y se libera desde un sitio de eliminación de residuos sólidos, asimismo refleja que bajo condiciones anaerobias una parte del carbono orgánico potencialmente degradable, no se degrada, o se degrada lentamente.

También, se utilizó la fracción de los RSU eliminados en los sitios de disposición, la fracción de 0.49 para México se encuentra descrita en el cuadro 2A.1 del capítulo 2 de las directrices del IPCC de 2006.

Tabla IV.3. Composición de los RSU porcentual para México.

Año	Papel, cartón, productos de papel	Textiles	Basura de comida, jardines y materiales orgánicos similares	Otro tipo de basura (residuos finos, pañal desechable, etc.)	Plásticos e inertes (plásticos+vidrios+metales)
1998	14.07	1.49	52.40	18.86	13.18
1999	14.07	1.49	52.40	18.86	13.18
2000	14.07	1.49	52.40	18.86	13.18
2001	14.07	1.49	52.40	18.86	13.18
2002	14.07	1.49	52.40	18.86	13.18
2003	14.90	1.51	50.41	17.33	15.85
2004	14.91	1.50	50.40	17.33	15.85
2005	14.90	1.50	50.75	17.01	15.84
2006	14.91	1.50	50.74	17.00	15.85
2007	14.89	1.50	50.39	17.32	15.90
2008	13.83	1.43	52.42	12.11	20.21
2009	13.83	1.43	52.42	12.11	20.21
2010	13.83	1.43	52.42	12.11	20.21
2011	13.83	1.43	52.42	12.11	20.21
2012	13.83	1.43	52.42	12.11	20.21
2013	14.10	1.43	51.81	11.22	21.44
2014	14.07	1.42	51.81	10.62	22.07
2015	14.05	1.42	51.82	10.02	22.70
2016	14.03	1.41	51.82	9.41	23.32
2017	14.01	1.41	51.82	8.81	23.95
2018	13.99	1.40	51.82	8.21	24.58
2019	13.97	1.40	51.83	7.60	25.21
2020	13.95	1.39	51.83	7.00	25.84

De acuerdo con la Estrategia para la Gestión Integral de los Residuos del Estado de Morelos (EGIREM) publicada en el año de 2017, en Morelos se han presentado dificultades históricas en el manejo de los residuos, lo cual se ve reflejada en la mala operación de los rellenos sanitarios y la inadecuada disposición en sitios no autorizados, la EGIREM presenta los rellenos sanitarios y los sitios de disposición que se encuentran en operación en el Estado (Tabla IV.4).

Con apoyo de la Actualización del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos se estableció la clasificación de los sitios de disposición final (SDF) de RSU (Sheinbaum *et al.*, 2016), y se calcularon los porcentajes, los cuales fueron de 50% para sitios de disposición no gestionado-profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada; y 10% para cada uno de los sitios no gestionado-poco profundo (<5 m de residuos), 10% gestionado-anaeróbico, y 30% para sitios de Disposición de RSU no categorizados. Asimismo, se utilizaron los factores de corrección de metano de las directrices del IPCC, estos factores son un indicador del tipo de sitio de disposición final de residuos.

Por otro lado, el factor de oxidación (OX) indica la cantidad de CH₄ en los SDF que se oxida sobre el material que cubre los residuos. El OX que se utilizó en este estudio es cero, debido a que los SDF no cuentan con el recubrimiento de material aireado.

Tabla IV.4. Rellenos sanitarios y sitios de disposición del estado de Morelos (EGIREM, 2017; Sheinbaum *et al.*, 2016).

Tipo	Nombre	Municipio de ubicación	Clasificación	Factor de corrección de metano
Rellenos sanitarios	Cuatla "La perseverancia"	Cuatla	Gestionado-anaeróbico	1
	Jojutla	Jojutla	No gestionado-profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada	0.8
	Región poniente	Mazatepec	No gestionado-profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada	0.8
	Región nororiental	Yecapixtla	No gestionado-profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada	0.8
Tiraderos a cielo abierto	El pitayo	Axochiapan	Sitios de Disposición de RSU no categorizados	0.6
	El naranjo	Puente de Ixtla	No gestionado-poco profundo (<5 m de residuos)	0.4
	El coronel	Tlaltizapán de Zapata	No gestionado-profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada	0.8
	Benito Juárez	Zacatepec	Sitios de Disposición de RSU no categorizados	0.6
	Celda emergente el tezontle	Huitzilac	Sitios de Disposición de RSU no categorizados	0.6
	Celda emergente el zarco	Yautepec	No gestionado-profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada	0.8

Por otro lado, el IPCC proporciona ecuaciones que utiliza el software para realizar el cálculo de las emisiones. Para estimar la cantidad del CH₄ neto emitido se debe utilizar la ecuación 3.1, del capítulo 3 denominado eliminación de desechos sólidos, del volumen cinco de las directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Al CH₄ generado se le debe restar el CH₄ recuperado. La fracción que no se recupera, se somete a la oxidación en la capa cubierta de los SDF. Esta oxidación se determina a través del factor de oxidación, de acuerdo a los valores establecidos por el IPCC, pueden ser 0 o 0.1. En caso de tener un número mayor, éste debe ser justificado por medio de documentación que lo avale.

$$Emisiones\ de\ CH_4T = \left[\sum_x CH_4generado_{x, T} - R_T \right] * (1 - OXT)$$

Donde:

Emisiones de CH₄T= CH₄ neto emitido durante el año T (Gg)

T= año del inventario

x= categoría o tipo de desecho y/o material

R_T= CH₄ recuperado durante el año T (Gg)

OXT= factor de oxidación durante el año T, (fracción)

Una vez realizado el cálculo de Gg de CH₄, es necesario realizar la conversión a Gg de CO₂ eq. La fórmula que se ocupó para este cálculo se encuentra en la ecuación 11, propuesta en la metodología para el cálculo de emisiones de GEI generadas por residuos sólidos urbanos en SDF del INECC (2020). El cual se realiza multiplicando la cantidad de CH₄ generado, por el potencial de calentamiento. En este estudio se utilizó el último potencial de calentamiento de 28, publicado en el AR5 del IPCC (2013).

$$Emisiones\ de\ CO_2\ eq = Emisiones\ de\ CH_4 * PCG_{CH_4}$$

Donde:

Emisiones de CO₂eq: total de emisiones de CH₄, expresadas en términos de CO₂ eq durante el año de reporte (Gg)

Emisiones de CH₄: total de las emisiones de CH₄ durante el año de reporte (Gg)

PCG_{CH₄}= potencial de calentamiento global de CH₄

CAPITULO V. RESULTADOS

En este capítulo, se presentan los principales hallazgos, derivados de la metodología aplicada.

V.1. Crecimiento poblacional, económico y la generación de residuos

De acuerdo con la información proporcionada por CONAPO (2018), en 1998, la población del año base, fue de 1,513,643 habitantes, mientras que, para el último año 2020, se estima que la población será de 2,033,373 habitantes. En este período el incremento es de 34.33%. La Figura V.1 muestra la relación que existe entre el crecimiento poblacional y el aumento en la generación de los RSU a través del tiempo.

En el caso de los RSU, la información obtenida del SNIARN (2020) y de Castrejón-Godínez- *et al.* (2015), mostraron que la generación de RSU en el año base (1998), fue de 443.20 miles de toneladas y para el último año de proyección (2020), la generación será de 827.31 miles de toneladas, para este período el incremento es de 89.61%. La generación de RSU para el periodo se ajusta a un modelo lineal, obteniéndose la siguiente ecuación $y=13.081x + 434.89$, donde y es la generación de RSU en miles de toneladas, m es el incremento anual en la generación (pendiente), x corresponde al número de años transcurridos con respecto al año base (1998 año cero) y b es la generación de RSU resultante de la tendencia para el año base 1998. La ecuación fue utilizada para el cálculo de la generación de RSU correspondiente al periodo 2013 a 2020, debido a que no se contaba con la información para este período de tiempo.

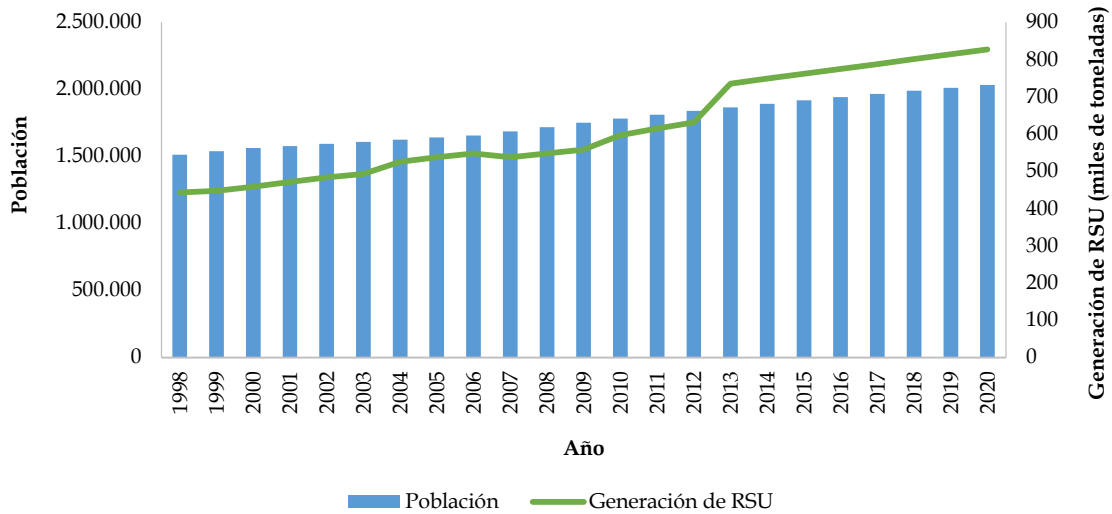


Figura V.1. Relación entre el crecimiento poblacional y la generación de RSU a través de 1998 a 2020 de acuerdo al modelo lineal.

Por otro lado, la Figura V.2 muestra la relación entre el crecimiento poblacional como una variable independiente y al aumento en la generación de residuos como una variable dependiente, dando como resultado una correlación de 0.9843, lo que permite apreciar una alta correlación entre las variables analizadas.

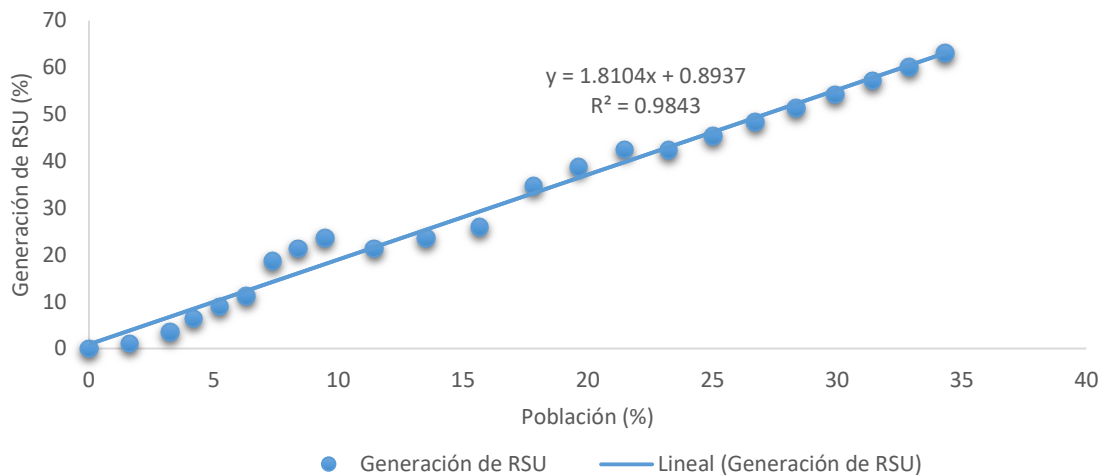


Figura V.2. Correlación entre la población y la generación de RSU.

Al analizar la información es posible notar que, en este período, existe un aumento en la población del 34.34% y en la generación de residuos el aumento es de 63.06%. Los resultados indican que la generación de residuos ha sido de casi el doble en comparación con el crecimiento poblacional. Lo anterior permite realizar una comparación con una de las hipótesis generadas por Sheinbaum *et al.* (2016). La cual señala que el incremento de la generación de RSU *per cápita* varía conforme al crecimiento de la población.

El estudio de Rivera-Castañeda *et al.* (2014), realizado en Zacatecas, México, muestran resultados similares. Las estimaciones señalan que desde el año base 2010, hasta el último año de proyección 2030, se presenta una tendencia en aumento para la generación de RSU. El resultado del incremento está ligado al crecimiento de la tasa poblacional, así como a los patrones de consumo y a los niveles de ingreso. Estos últimos tres factores, influyen a su vez en la composición de los RSU, los cuales de ser en su mayoría orgánicos ahora son voluminosos y parcialmente no biodegradables. La problemática en torno a la nueva composición indica que esta sobrepasada la capacidad del ambiente para reincorporarlos y también sobrepasa la capacidad de los rellenos sanitarios en el Estado.

La misma tendencia se presenta en el estudio de Araiza *et al.* (2011), realizado en Berriozábal, Chiapas, México. El período de tiempo que evaluaron fue del 2016 al 2026. En este lapso, el crecimiento poblacional fue del 40% y el aumento en la generación de RSU fue del 51.31%. Los resultados de este estudio señalan que el aumento en la generación de RSU está ligado al crecimiento poblacional y a las estrategias mal planteadas en el manejo de los RSU del municipio evaluado.

Para este estudio se contempló también analizar la influencia del producto interno bruto (PIB), sin embargo, este indicador no mostró una relación con la generación de RSU.

Con base en la información proporcionada específicamente para el estado de Morelos por el INEGI (2018) y a proyecciones realizadas a partir de estos valores, en el año 1998 el PIB con valores deflactados¹ fue de \$157,453 millones de pesos y para el año 2021, se estima que sea de \$219,746 millones de pesos. La Figura V.3 muestra el crecimiento económico y el aumento en la generación de RSU a través del tiempo. Por otro lado, en la Figura V.4, se presenta la relación que existe entre el PIB determinada como una variable independiente y al aumento en la generación de RSU como variable dependiente, dando como resultado una correlación de 0.842.



Figura V.3. Relación de crecimiento económico y aumento en la generación de RSU a través del tiempo.

¹ Valores deflactados: deflactar las cifras nos permiten realizar cálculos sobre una misma base o una base constante, lo anterior es con el fin de evitar variaciones significativas (Azagra *et al.*, 2015).

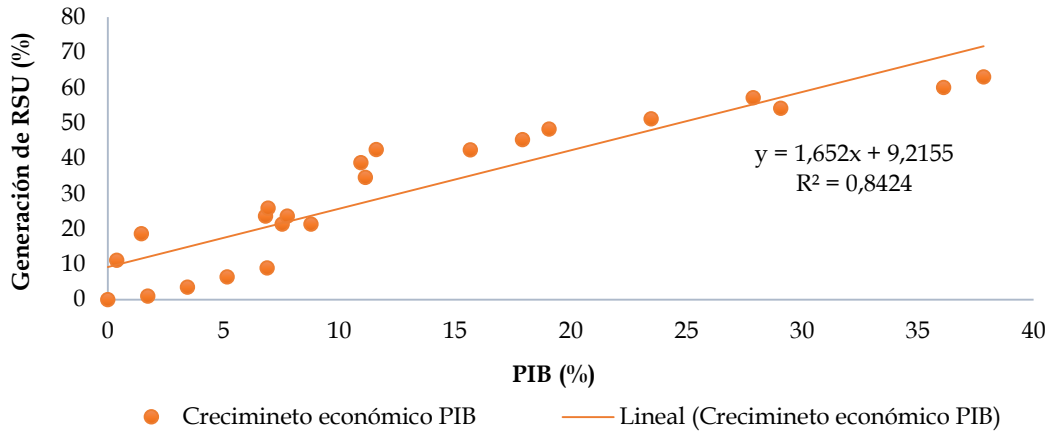


Figura V.4. Correlación de crecimiento económico y aumento en la generación de RSU.

Analizando la información, es posible identificar que, durante el período de tiempo asignado, existe un crecimiento tanto económico del 37.84% y en la generación de residuos el aumento fue del 63.06%. Los resultados muestran que la generación de residuos fue de casi el doble comparado con el crecimiento económico. Lo cual nos indica que los patrones de consumo a los que está sometida la sociedad, son los causantes del aumento en la generación de RSU.

Los resultados coinciden con los presentados en el estudio realizado por Klavenieks *et al.* (2016). En Latvia, durante el período 2015-2020, la tendencia de crecimiento económico (PIB) es de 2.9% durante todo el período evaluado y la generación de residuos aumenta un 4.3%. En el estudio se concluye que el aumento en la generación de RSU se propicia a través de factores como el crecimiento económico y el aumento de la población, incluso el aumento que se da a través de la migración.

Un caso similar se presenta en Arabia Saudita, en el estudio realizado por Ghazi (2016). La hipótesis planteada indica que el aumento del crecimiento económico evaluado en PIB generará un aumento en la generación de RSU, durante el período de tiempo entre 1981-2012. Al realizar la evaluación de los resultados, se determinó

que por cada 1% que el PIB en Arabia Saudita aumente, también habrá un aumento del 0.71% en la generación de RSU.

De acuerdo a Liu y Wu (2010) deben ser revisados otros factores socioeconómicos como población urbana, área de construcción urbana, área pavimentada, áreas verdes, consumo de energía, PIB per cápita. De igual manera, Nilanthi et al. (2007), hacen referencia a otros factores como clima, hábitos de consumo, nivel de educación, religión, creencias culturales y acciones tanto políticas como sociales, que influyan en la generación de RSU.

V.2. Generación de GEI por RSU en sitios de disposición final

Por la descomposición anaerobia de la materia orgánica en los sitios de disposición final se generan principalmente emisiones del gas CH₄. Por lo que los resultados obtenidos en este estudio muestran que la generación de CH₄ para el año 1999 fue de 2.11 Gg, mientras que para el año de 2020 la generación es de 10.78 Gg, lo que representa un aumento de 510.90%. En la Tabla V.2 se muestran las emisiones de CH₄.

Por otro lado, al realizar la conversión de Gg de CH₄ a Gg de CO₂eq. La emisión calculada para el año 1999 fue de 59.08 Gg de CO₂eq, mientras que para el año 2020, fue de 301.84 Gg de CO₂eq. La Tabla V.1 muestra el incremento de las emisiones de CH₄ y CO₂ en Gg a lo largo del período 1998-2020.

Tabla V.1. Emisiones de CH₄ y CO₂ eq en Gg para el período 1998-2020.

Año	Emisión de CH ₄ (Gg)	Emisión de CO ₂ eq (Gg)
1999	2.11	59.08
2000	3.58	100.24
2001	4.65	130.20
2002	5.46	152.88
2003	6.10	170.80
2004	6.50	182.0
2005	6.96	194.88
2006	7.36	206.08
2007	7.70	215.60
2008	7.90	221.20
2009	8.16	228.48
2010	8.40	235.20
2011	8.75	245.00
2012	9.09	254.52
2013	9.41	263.48
2014	9.60	268.80
2015	9.80	274.40
2016	9.99	279.72
2017	10.19	285.32
2018	10.39	290.92
2019	10.58	296.24
2020	10.78	301.84

De acuerdo con el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero se reporta que México ha incrementado sus emisiones de CH₄ causadas por Residuos, y que este incremento se relaciona con el aumento en las cantidades de residuos derivado por los cambios de hábitos de consumo de la población y el incremento de población (INECC y SEMARNAT, 2018).

Asimismo, Ortiz-Hernández *et al.* (2013) reporta las emisiones de CH₄ del sector de residuos en el estado de Morelos para el periodo 2005-2009, mostrando que las emisiones se incrementaron específicamente para la disposición de RSU de 742.35 a 769.95 Gg de CO₂ eq. Para este estudio se concluye que el aumento de las emisiones de GEI se debe al incremento en la disposición de RSU. De la misma forma, se señala que el incremento en la disposición de RSU está liga al incremento poblacional y a los patrones de consumo de la población de la entidad.

Por otro lado, de acuerdo con la Actualización del Programa Estatal de Acción ante el Cambio Climático de Morelos se reportó la emisión de CH₄ por la disposición final de RSU para el año 2010 la emisión fue de 97.13 Gg de CO₂ eq, en el año 2020 fue de 653.8 Gg de CO₂ eq y para el año 2030 fue de 933.77 Gg de CO₂ eq. Al realizar la comparación entre los datos de los años 2010 y 2020, existe una diferencia, ya que los datos calculados en la Actualización del PEACCMOR son mayores. La metodología utilizada para este proyecto fue conforme a las Directrices establecidas por el IPCC del año 2006 (Sheinbaum *et al.*, 2016) y con un nivel de Tier 1. La hipótesis del estudio sugiere que las emisiones de GEI se incrementan en este período de tiempo debido a que la generación de RSU varía en función del crecimiento poblacional. A pesar de que los resultados en ambos estudios son diferentes, la tendencia en el incremento de emisiones de GEI a raíz del incremento poblacional es similar.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Derivado del presente trabajo se desglosan las siguientes conclusiones:

- El porcentaje del incremento en la generación de RSU duplica al porcentaje del crecimiento poblacional y del PIB, lo que indica que el incremento en la generación no es resultado directo del crecimiento poblacional y económico, sino del modelo de consumo actual.
- Las emisiones calculadas fueron de 59.08 a 301.84 Gg de CO₂ eq para el periodo de 1999-2020, observándose un incremento debido a la falta de una gestión integral de residuos.
- La disposición final de RSU en el estado de Morelos contribuye con el 0.6% de las emisiones de GEI del sector residuos.
- Estos datos permiten diseñar medidas de mitigación para la disminución de los RSU generados en el estado de Morelos. Como impulsar campañas de educación ambiental de las etapas del manejo de RSU, específicamente en la prevención de la generación y la separación de residuos.
- En relación con el metano, es importante que se considere el daño ambiental que ocasiona su liberación directa, por lo cual, se sugiere su aprovechamiento para la generación de energía eléctrica.
- Se sugiere que el estado de Morelos cuente con información actualizada y específica sobre los RSU para el cálculo de las emisiones de GEI.
- Es recomendable para trabajos futuros la revisión de indicadores como PIB per cápita, desarrollo urbano, hábitos de consumo, entre otros, que influyan en la generación de RSU.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akhtar, S., Ahmad, A., Qureshi, M., & Shahraz. (2017). Households willingness to pay for improved solid waste management. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 3(2), 143-152.
- Alcérreca, C. (2012). Plan de Acción Climática Municipal (PACMUN). En: Congreso Nacional de Cambio Climático. ICLEI-Gobiernos Locales por la Sustentabilidad. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Azagra, J., García, J. (2015). La sociedad inclusiva: entre el realismo y la audacia. Editorial PCC. España, 232 pp.
- Ballestín, B., Fábregues, S. (2018). La práctica de la investigación cualitativa en ciencias sociales y de la educación. Editorial UOC. Barcelona, España, 270 pp.
- Boden, T., Marland, G., Andres, R. (2017). Global, Regional and National fossil-fuel CO2 emissions. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A. doi 10.3334/CDIAC/00001_V2017
- Boswell, M., Greve, A., Seale, T. (2019). Greenhouse gas emissions accounting. pp 94-131. En: Climate action planning. Island Press. Washington, DC., United States of America. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-964-7_4
- Borrás, S. (2016). Movimientos para la justicia climática global: replanteando el escenario internacional del cambio climático. *Universidad Autónoma de Madrid: relaciones internacionales*, 33, 97-119 p.
- Cabrera, S. (2019). Cambio global: una mirada desde la biología. *Revista Chilena de enfermedades respiratorias*, 35(1), 9-14. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-73482019000100009>
- Calla, D., Luján, P. (2018). Inventario de emisiones de fuentes móviles con una distribución espacial y temporal en el área metropolitana de Cochabamba, Bolivia. *Revista Acta Nova*, 3(8), 322-353.

- Cámara de Diputados [CD]. (2019). Cambio Climático: principales acciones de adaptación y mitigación en México. Recuperado de: <http://www.diputados.gob.mx/sedia/sia/spi/SAPI-ISS-10-19.pdf> Consultado en Noviembre del 2020.
- Castrejón-Godínez, M. L., Sánchez-Salinas, E., Rodríguez, A., Ortiz-Hernández, Ma. L. (2015). Analysis of solid waste Management and greenhouse gas emissions in México. A study case in the Central region. *Journal Environmental Protection*, 6, 146-159.
- Comisión Estatal del Agua [CEA]. (2014). Programa estatal hídrico 2014-2018. Recuperado de: http://www.transparenciamorelos.mx/sites/default/files/17_PROGRAMA%20ESTATAL%20H%C3%8DDRICO_1.pdf. Consultado en diciembre del 2019.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2020). La emergencia del cambio climático en América Latina y el Caribe: ¿seguimos esperando la catástrofe o pasamos a la acción?. Libros de la CEPAL. Santiago, Chile. 383 pp.
- Contreras, M. (2008). Evaluación de experiencias locales urbanas desde el concepto de sostenibilidad: el caso de los desechos sólidos del municipio de Los Patios (Norte de Santander, Colombia). *Trabajo Social*, 10,109-134.
- Contreras, U., León, J., Maldonado., O. (2020). Predicción de emisiones de CO y HC en motores otto mediante redes neuronales. *Ingenius*, 23, 30-39.
- Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [CMNUCC], (1992). Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> Consultado en octubre 2019
- Convocatoria al proceso de participación y consulta social para la elaboración de Programa Sectorial de Medio Ambiente y Recursos Naturales sobre el Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2019-2024. (2019). Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 13 de Agosto del 2019.

- Ghazi, R. (2016). The relationship between economic growth and municipal solid waste & testing the EKC hypothesis: analysis for Saudi Arabia. *Journal of international business research and marketing*, 5(1), 20-25.
- Gleick, P., Adams, R., Amasino, R., Anders, E., Anderson, D., Anderson, W., Anselin, L., Asfaw, B. (2010). Climate change and the integrity of science. *Science*, 328, 689-690 p. doi: 10.1126/science.328.5979.689
- Gómez, P. (2016). Conceptos básicos sobre Gases de Efecto Invernadero (GEI) y Calentamiento Global. En: Curso de AEMET: conceptos básicos en composición atmosférica. Observatorio Atmosférica de Izaña.
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Cities and global environmental change*, 4, 83-88.
- Gray, N. (2015). Facing up to global warming: what is going on and how you can make a difference?. Editorial Springer. Dublin, Irlanda. 406 pp.
- Inglezakis, V., Zorpas, A., Venetis, C., Loizidou, M., Moustakas, K., Ardeleanu, N., Ilieva, L., Dvorsak, S. (2012). Municipal solid waste generation and economic growth analysis for the years 2000-2012 in Romania, Bulgaria, Slovenia and Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*, 8 (21), 2362-2367.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Clima [INECC]. (2015). Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/312045/INEGYCEI6CN_26_marzo_2018.pdf Consultado en noviembre 2019.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Clima [INECC]. (2018). Contexto internacional en materia de cambio climático. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/contexto-internacional-17057> Consultado en mayo 2020.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Clima [INECC]. (2020). Metodología para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por residuos sólidos urbanos en sitios de disposición final. México, 24 pp.

- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Clima [INECC] y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2018). Sexta Comunicación Nacional y Segundo Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. INECC y SEMARNAT. México, 97-188 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2015). Cuéntame INEGI. Recuperado de <http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/mor/poblacion/vivienda.aspx?tema=me&e=17> Consultado en noviembre del 2019.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Morelos 2017. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, 505 pp.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2018). Sistema de Cuentas Nacionales de México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa. México. Producto Interno Bruto por Entidad Federativa. Año Base 2013.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, United States of America, 1535 pp. doi:10.1017/CBO9781107415324
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Suiza, 52-55 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2018). Resumen para responsables de políticas. En: 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. 32 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2019a). Waste Generation, Composition and Management Data. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 35 pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC]. (2019b). Introduction to national GHG inventories. Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 23 pp.
- Jaramillo, H., Zapata M. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Tesis de especialidad. Universidad de Antioquía. Antioquía, Colombia. 116 pp.
- Kerr, C. (2010). Greenhouse gases: worldwide impacts. Infobase Publishing. New York, USA. 270 pp.
- Klavenieks, K., Blumberga, D. (2016). Forecast of waste generation dynamics in Latvia. *Energy Procedia*, 95, 200-2007.
- Ley General de Cambio Climático. (2018). Última reforma publicada el 13 de Julio del 2018 en el Diario Oficial de la Federación.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. (2018). Última reforma publicada el 19 de enero del 2018 en el Diario Oficial de la Federación.
- Li, Y., Du, W., Huisingh, D. (2017). Challenges in developing an inventory of greenhouse gas emissions of Chinese cities: a case study of Beijing. *Journal of Cleaner Production*, 161, 1051-1063 p.
- Liu, C., Wu, X. (2010). Factors influencing municipal solid waste generation in China: A multiple statistical analysis study. *Waste Management & Research*, 29 (4), 371-378 p. doi: 10.1177/0734242X10380114
- Londoño, J., Londoño, S., Vahos, J., Escobar, L., Rendón, S. (2020). Development of a mobile and web application that calculates the carbón footprint in the education and transport sector. *Lámpsakos*, (23), 45-55 p. doi: <https://doi.org/10.21501/21454086.3302>

- Maenhout, G., Crippa, M., Guizzardi, D., Muntean, M., Schaaf, E., Olivier, J., Peters, J., Schure, K. (2017). Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries. *Publications Office of the European Union*. 239 pp. doi:10.2760/709792.
- Ministerio de Desarrollo Social [MIDESI]. (2012). Vulnerabilidad y exclusión. Aportes para las políticas sociales. Editorial Udelar. Montevideo, Uruguay. 262 pp.
- Naciones Unidas. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf> Consultado en noviembre de 2019.
- Naciones Unidas. (1995). Convención Marco sobre el Cambio Climático: aprobación del Acuerdo de París. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/spa/109s.pdf> Consultado en noviembre 2019.
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Disponible en: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf> Consultado en noviembre de 2019.
- New Climate Institute [NCI]. 2019. Greenhouse gas mitigation scenarios for major emitting countries. Analysis of current climate policies and mitigation commitments: 2019 update. 155 pp.
- Nilanthi, B. Hettiaratchi, J., Wirasinghe, S. (2007). Relation of waste generation and composition to socio-economic factors: A case study. *Environmental monitoring and assessment*, 135, 31- 39 p.
- Ortiz-Hernández, Ma. L., Quiroz-Castañeda, R. E., Sánchez-Salinas, E., Castrejón-Godínez, M. L., Macedo-Abarca, B. (2013). Emisiones de gases de efecto invernadero en el estado de Morelos. Universidad Autónoma del estado de Morelos. México, 168 pp.
- Paterson, P. (2017). Calentamiento global y cambio climático en Sudamérica. *Revista política y estrategia*, 130, 153- 188 p.

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2007). Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono. Recuperado de: http://www.protocolodemontreal.org.br/site/images/publicacoes/programa_brasileiro_eliminaao_hcfs/20_a%C3%B1os_de_%C3%A9xito.pdf
Consultado en noviembre del 2019.
- Programa estatal de acción ante el cambio climático de Morelos [PEARCCMOR]. (2015). Publicado en Diario Oficial “Tierra y Libertad” el 5 de marzo del 2015.
- Racines, C. (2018). Análisis de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero mediante descomposición aeróbica de residuos industriales en mezcla con residuos pecuarios. Tesis de Maestría. Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador. 91pp.
- Ramírez, J. (2019). In defense of methane (from cows). *CES Medicina veterinaria y zootecnista*, 14(2), 80-86.
- Rivas, C., Jarre, C., Antequera C. (2020). Análisis y comparación de las metodologías de cálculo de gases de efecto invernadero en el contexto urbano. *Revista de las agrociencias*, 23, 45-54.
- Rivera-Castañeda, P., Vázquez-González, L. (2014). Entre crecimiento poblacional y deterioro ambiental: el caso de Zacatecas, Guadalupe y Fresnillo. *Ra Ximhai*, 10(6), 23-43.
- Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones. (2014). Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de octubre del 2014.
- Romanov, V. (2017). Greenhouse Gases and Clay Minerals: Enlightening Down-to-Earth Road Map to Basic Science of Clay-Greenhouse Gas Interfaces. Springer. Pennsylvania, USA. 187 pp.
- Sánchez, F. (2020). Emisión de gases de efecto invernadero. Editorial Elearning, S. L. España. 120 pp.

- Secretaría de Desarrollo Sustentable [SDS]. 2019. Plan de acción climática (PACMUN). Disponible en: <https://sustentable.morelos.gob.mx/cc/pacmun> Consultado en Noviembre 2019.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2013). Acuerdo por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación. Ciudad de México, México. Recuperado de: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5301093&fecha=03/06/2013 Consultado en noviembre de 2015.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2015). Convención de Viena para la Protección a la Capa de Ozono. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/convencion-de-viena-para-la-proteccion-a-la-capa-de-ozono> Consultado en enero del 2020.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2020). Sistema Nacional de Información Ambiental y Recursos Naturales. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales> Consultado en Enero del 2020.
- Servicio Meteorológico Nacional [SMN]. 2020. Boletín Gases de Efecto Invernadero, Año 2020. Disponible en: <http://repositorio.smn.gob.ar/bitstream/handle/20.500.12160/1314/0007VG2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Consultado en Septiembre del 2020.
- Steger, M. (2013). Globalization: a very short introduction. OUP Oxford. Hampshire, UK. 176 pp
- United States Department of Agriculture [USDA]. (2016). U.S. Agriculture and forestry greenhouse gas inventory 1990-2013, Climate Change Program Office. Technical Bulletin 1943. United States of America. 137 pp.
- United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2019). Greenhouse Gas Emissions: overview of greenhouse gases. Disponible en: <https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases> Consultado en noviembre del 2019.

United States Environmental Protection Agency [EPA]. (2016). Climate change indicators on the United States: global greenhouse gas emissions. USA. 6pp.

Zamora, M. (2015). Cambio climático. *Revista Mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 04-07 p.

ANEXOS

HOJAS DE TRABAJO DEL SOFTWARE IPCC 2006

En la primera hoja denominada “parámetros” se ingresa el país, la región; el clima de la zona; el nivel de Tier; el año base; y las fracciones de DOC y la generación de metano, estos últimos parámetros son asignados de manera automática por el IPCC (Figura A.1).

Parameters	Methane Correction Factor	Activity Data	Amount Deposited	Methane Calculations	Methane Recovery	Results	Long Term stored C in SWDS	Harvested Wood Products
<p>Country/Territory Mexico</p> <p>Region Latin America and Caribbean Climate Zone Tropical wet</p> <p>*Approach Waste by composition</p> <p>**Activity Data Population / GDP (Tier 1)</p>								
Starting year	1998	DOC (Degradable organic carbon)			Methane generation rate constant (k)			
DOCf (fraction of DOC dissimilated)	0.500	[weight fraction, wet basis]			[1 / years]			
Delay Time (months)	6	Food Waste	0.220	Food Waste	0.400			
Fraction of methane (F) in developed gas	0.500	Garden	0.100	Garden	0.170			
Conversion Factor, C to CH ₄	1.333333	Paper	0.040	Paper	0.070			
Oxidation Factor (OX)	0.00	Wood and straw	0.020	Wood and straw	0.035			
Parameters for carbon storage		Textiles	0.040	Textiles	0.070			
% paper in industrial waste	0.00 %	Disposable nappies	0.220	Disposable nappies	0.050			
% wood in industrial waste	0.00 %	Sewage sludge	0.050	Sewage sludge	0.400			
		Industrial Waste	0.150	Industrial Waste	0.170			
<p>* The bulk waste option is suitable for countries without data or with limited data on waste composition, but with good information on bulk waste disposed at SWDS. Default values are estimated as a function of the climate zone.</p> <p>** In case of "Population / GDP" use "Activity Data" sheet to estimate amount of waste deposited to SWDS based on Population and GDP. In case of "National statistics" enter amounts directly into "Amount deposited" sheet.</p>								

Figura A.1. Parámetros de la hoja de cálculo del software del IPCC, 2006.

La segunda hoja del software titulada Factor de Corrección de Metano (FCM), solicita la información sobre los tipos de sitios de disposición final que se encuentran en este caso para Morelos. La tabla A.1 indica el porcentaje por tipo de Sitio de disposición Final (SDF), así como el valor del FCM establecidos en las directrices del IPCC, 2006 (Figura A.2).

Tabla A.1. Valores de FCM y porcentaje por sitio de disposición final.

Tipo de sitio	Porcentaje de SDF en el Estado	FCM
Gestionado anaeróbico	10%	1.0
No gestionado-poco profundo (<5 m de residuos)	10%	0.4
No gestionado profundo (>5m de residuos) y/o capa freática elevada	50%	0.8
Sitios de Disposición de RSU no categorizados	30%	0.6

The screenshot shows the 'Methane Correction Factor' worksheet in the IPCC 2006 software. The 'Waste Composition Type' is set to 'Municipal Solid Waste'. The table below shows the distribution of waste types and the resulting MCF values for each year from 1998 to 2020.

	Unmanaged – shallow	Unmanaged – deep	Managed – anaerobic	Managed – semi-aerobic	Uncategorised SWDS	Distribution Check	Weighted MCF
MCF	0.4	0.8	1	0.5	0.6		
Fixed distribution	10	50	10	0	30		
Year distribution	%	%	%	%	%	Total	
1998	10	50	10	0	30	100	0.72
1999	10	50	10	0	30	100	0.72
2000	10	50	10	0	30	100	0.72
2001	10	50	10	0	30	100	0.72
2002	10	50	10	0	30	100	0.72
2003	10	50	10	0	30	100	0.72
2004	10	50	10	0	30	100	0.72
2005	10	50	10	0	30	100	0.72
2006	10	50	10	0	30	100	0.72
2007	10	50	10	0	30	100	0.72
2008	10	50	10	0	30	100	0.72
2009	10	50	10	0	30	100	0.72
2010	10	50	10	0	30	100	0.72
2011	10	50	10	0	30	100	0.72
2012	10	50	10	0	30	100	0.72
2013	10	50	10	0	30	100	0.72
2014	10	50	10	0	30	100	0.72
2015	10	50	10	0	30	100	0.72
2016	10	50	10	0	30	100	0.72
2017	10	50	10	0	30	100	0.72
2018	10	50	10	0	30	100	0.72
2019	10	50	10	0	30	100	0.72
2020	10	50	10	0	30	100	0.72

Figura A.2. Hoja de cálculo del software del IPCC, 2006 sobre FCM.

La tercera hoja de cálculo del software de la metodología del IPCC 2006 (Figura A.3) aborda los datos de actividad, en esta hoja se adicionaron los datos de población en millones, la generación de RSU *per cápita*, el porcentaje de RSU que es dirigido a sitios de disposición final, cabe señalar que este porcentaje fue utilizado el valor por defecto para México proporcionado en el cuadro 2A.1 del volumen 5, capítulo 2. Además, se agregaron los datos de la composición porcentual de los RSU (Alimentos, jardín, papel, madera, textiles, pañales, plásticos y otros inertes). Para el período 1998-2012 la información fue proporcionada por el SNIARN, los años que no contaban con información de composición de RSU, fueron calculados mediante regresión lineal (Tabla IV.3).

Parameters														Methane Correction Factor	Activity Data	Amount Deposited	Methane Calculations	Methane Recovery	Results	Long Term stored C in SWDS	Harvested Wood Products							
Worksheet																												
Sector:														Waste														1998
Category:														Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites														
Subcategory:														4 A - Solid Waste Disposal														
Sheet:														Industrial and MSW Activity Data														
Data																												
Waste Composition Type														Municipal Solid Waste														
														Composition of waste going to solid waste disposal sites.														
Year	Population [millions]	Waste per capita [kg/cap/yr]	Total MSW [Gg]	% to SWDS [%]	Total to SWDS [Gg]	Food [%]	Garden [%]	Paper [%]	Wood [%]	Textile [%]	Nappies [%]	Plastics, other inert [%]	Total [=100 %]															
IPCC Regional Defaults			0	49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
1998	1,51364	292.8	443,19467	49	217,16539	52.4	0	14.07	0	1.49	18.86	13.18	100															
1999	1,53839	291.08	447,79456	49	219,41933	52.4	0	14.07	0	1.49	18.86	13.18	100															
2000	1,56284	293.6	458,84836	49	224,83569	52.4	0	14.07	0	1.49	18.86	13.18	100															
2001	1,57691	299.15	471,73233	49	231,14884	52.4	0	14.07	0	1.49	18.86	13.18	100															
2002	1,59296	303.34	483,20818	49	236,77201	52.4	0	14.07	0	1.49	18.86	13.18	100															
2003	1,60898	306.25	492,74859	49	241,44681	50.41	0	14.9	0	1.51	17.33	15.85	100															
2004	1,62507	323.68	526,0033	49	257,74162	50.4	0	14.91	0	1.51	17.33	15.85	100															
2005	1,64051	327.95	538,00558	49	263,62274	50.75	0	14.9	0	1.5	17.01	15.84	100															
2006	1,65691	330.74	548,00641	49	268,52314	50.74	0	14.91	0	1.5	17	15.85	100															
2007	1,68672	318.96	537,99717	49	263,61861	50.39	0	14.89	0	1.5	17.32	15.9	100															
2008	1,71821	318.94	548,0043	49	268,52211	52.42	0	13.83	0	1.43	12.11	20.21	100															
2009	1,75062	318.74	557,99389	49	273,41701	52.42	0	13.83	0	1.43	12.11	20.21	100															
2010	1,78344	334.62	596,77436	49	292,41944	52.42	0	13.83	0	1.43	12.11	20.21	100															
2011	1,81063	339.68	615,03514	49	301,36722	52.42	0	13.83	0	1.43	12.11	20.21	100															
2012	1,83894	343.38	631,45453	49	309,41272	52.42	0	13.83	0	1.43	12.11	20.21	100															
2013	1,86548	338.3	631,09087	49	309,23453	51.81	0	14.1	0	1.43	11.22	21.44	100															
2014	1,89242	340.4	644,17977	49	315,64809	51.81	0	14.07	0	1.42	10.62	22.08	100															
2015	1,91803	342.67	657,25271	49	322,05383	51.82	0	14.05	0	1.42	10.01	22.7	100															
2016	1,94286	345.03	670,34637	49	328,46972	51.82	0	14.03	0	1.41	9.41	23.33	100															
2017	1,96648	347.53	683,4094	49	334,87061	51.82	0	14.01	0	1.41	8.81	23.95	100															
2018	1,98993	350.12	696,49442	49	341,28226	51.82	0	13.99	0	1.4	8.21	24.58	100															
2019	2,01648	352.74	711,29351	49	348,53382	51.83	0	13.96	0	1.4	7.6	25.21	100															
2020	2,03337	356.74	723,35211	49	354,44263	51.83	0	13.94	0	1.39	7	25.84	100															

Figura A.3. Datos de actividad del sector de residuos del software del IPCC del año 2006.

En la hoja para el cálculo de metano (Figura A.4), se utilizaron los datos de Carbono Orgánico Degradable (COD) consultados en la tabla 3, Anexo E[4] del Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (INECC y SEMARNAT, 2018) (Tabla A.2).

Tabla A.2. Valores de COD por tipo de residuo.

	Alimentos	Jardín	papel	Madera	Textiles	Pañales
COD	0.220	0.100	0.040	0.020	0.040	0.220

Parameters Methane Correction Factor Activity Data Amount Deposited Methane Calculations Methane Recovery Results Long Term stored C in SWDS Harvested Wood Products

Worksheet

Sector: Waste 1998

Category: Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites

Subcategory: 4.A - Solid Waste Disposal

Sheet: Methane Calculations

Data

Waste Type Paper/cardboard DOC 0,04 DOCf 0,5 k 0,07 Half-life time (h=ln(2)/k) 9,902102575

exp1=exp(-k) 0,932393815 Month when the reaction is set to start (M) 13 exp2=exp(-k*((13-M)/12)) 1 CH4 Fraction 0,5

Year	Amount deposited	MCF	Decomposable DOC (DDOCm) deposited	DDOCm not reacted. Deposition year	DDOCm decomposed. Deposition year	DDOCm accumulated in SWDS end of year	DDOCm decomposed	CH4 generated
	W	MCF	$D = W * DOC * DOCf * MCF$	$B = D * exp2$	$C = D * (1 - exp2)$	$H = B + (H(y-1) * exp1)$	$E = C + H(y-1) * (1 - exp1)$	$Q = E * 16/12 * F$
	Gg	fraction	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg
1998	30,55517	0,72	0,43999	0,43999	0	0,43999	0	0
1999	30,8723	0,72	0,44456	0,44456	0	0,85481	0,02975	0,01983
2000	31,63438	0,72	0,45554	0,45554	0	1,25255	0,05779	0,03853
2001	32,52264	0,72	0,46833	0,46833	0	1,6362	0,08468	0,05645
2002	33,31382	0,72	0,47972	0,47972	0	2,0053	0,11062	0,07374
2003	35,97557	0,72	0,51805	0,51805	0	2,38778	0,13557	0,09038
2004	38,42928	0,72	0,56338	0,56338	0	2,77973	0,16143	0,10762
2005	39,27979	0,72	0,56563	0,56563	0	3,15743	0,18793	0,12528
2006	40,0368	0,72	0,57653	0,57653	0	3,5205	0,21346	0,14231
2007	39,25281	0,72	0,56524	0,56524	0	3,84773	0,23801	0,15867
2008	37,13661	0,72	0,53477	0,53477	0	4,12237	0,26013	0,17342
2009	37,81357	0,72	0,54452	0,54452	0	4,38819	0,2787	0,1858
2010	40,44161	0,72	0,58236	0,58236	0	4,67388	0,29667	0,19778
2011	41,67909	0,72	0,60018	0,60018	0	4,95807	0,31598	0,21066
2012	42,79178	0,72	0,6162	0,6162	0	5,23908	0,3352	0,22346
2013	43,60207	0,72	0,62787	0,62787	0	5,51276	0,35419	0,23613
2014	44,41169	0,72	0,63953	0,63953	0	5,77959	0,3727	0,24846
2015	45,24856	0,72	0,65158	0,65158	0	6,04043	0,39074	0,26049
2016	46,0843	0,72	0,66361	0,66361	0	6,29667	0,40837	0,27225
2017	46,91537	0,72	0,67558	0,67558	0	6,54563	0,42563	0,28375
2018	47,74539	0,72	0,68753	0,68753	0	6,79064	0,44252	0,29502
2019	48,65532	0,72	0,70064	0,70064	0	7,03219	0,45909	0,30606
2020	49,40929	0,72	0,71149	0,71149	0	7,26826	0,47542	0,31695

Figura A.4. Cálculo de metano por tipo de residuos. El residuo que se muestra en esta figura es el papel/cartón, realizados en el software del IPCC del año 2006.

Finalmente, en la hoja de resultados (Figura A.5) se muestran las emisiones generadas de metano.

Worksheet									
Sector: Waste									
Category: Methane emissions from Solid Waste Disposal Sites									
Subcategory: 4.A - Solid Waste Disposal									
Sheet: Results									
Data									
Methane generated									
Year	Food	Paper	Textile	Nappies	Total	Methane recovery	Methane Emissions		
	A (Gg)	C (Gg)	E (Gg)	F (Gg)	I (Gg)	J (Gg)	M = (I-J) * (1-OX) (Gg)		
1998	0	0	0	0	0	0	0		
1999	1,98084	0,01983	0,0021	0,10547	2,10824	0	2,10824		
2000	3,32919	0,03853	0,00408	0,20689	3,57868	0	3,57868		
2001	4,28242	0,05645	0,00598	0,30599	4,65084	0	4,65084		
2002	4,97897	0,07374	0,00781	0,40333	5,46386	0	5,46386		
2003	5,49718	0,09038	0,00957	0,49855	6,09578	0	6,09578		
2004	5,80355	0,10762	0,01129	0,58208	6,50453	0	6,50453		
2005	6,15145	0,12528	0,01305	0,66871	6,9585	0	6,9585		
2006	6,45231	0,14231	0,01474	0,75157	7,36092	0	7,36092		
2007	6,69681	0,15867	0,01635	0,83247	7,7043	0	7,7043		
2008	6,80132	0,17342	0,01782	0,90944	7,90199	0	7,90199		
2009	7,00927	0,1858	0,0191	0,94882	8,163	0	8,163		
2010	7,19333	0,19778	0,02035	0,98781	8,39927	0	8,39927		
2011	7,4901	0,21066	0,02169	1,03082	8,75327	0	8,75327		
2012	7,77068	0,22346	0,02302	1,07453	9,0917	0	9,0917		
2013	8,03217	0,23613	0,02433	1,11861	9,41125	0	9,41125		
2014	8,173	0,24846	0,02556	1,1534	9,60042	0	9,60042		
2015	8,32523	0,26049	0,02674	1,18347	9,79594	0	9,79594		
2016	8,48561	0,27225	0,0279	1,20877	9,99453	0	9,99453		
2017	8,65099	0,28375	0,02902	1,22941	10,19317	0	10,19317		
2018	8,81959	0,29502	0,03012	1,24542	10,39015	0	10,39015		
2019	8,99043	0,30606	0,03119	1,25683	10,58451	0	10,58451		
2020	9,17098	0,31695	0,03225	1,26375	10,78391	0	10,78391		

Figura A.5. Resultados generados en el software del IPCC del año 2006.