



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

**ESTIMACIÓN DEL COSTO DEL
IMPACTO DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LA
BIODIVERSIDAD DE MÉXICO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADO EN ECONOMÍA**

PRESENTA

GUSTAVO EDUARDO LOYOLA PÉREZ

ASESORA

MTRA. KARINA CABALLERO GÜENDULAIN



**Ciudad Universitaria, Cd. de Mx.
Octubre de 2019**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos

A mí mismo y a mi yo del pasado, por las decisiones tomadas y por la voluntad de querer superarme, soy producto de ello.

A mi madre, por ser una fuente de motivación externa, una persona de confianza y de convicciones fuertes que me ha brindado todo su amor.

A mi padre, por ser ejemplo de lo que no se debe hacer.

A mi prometida Ariana Cantero, por haberme acompañado y apoyado en toda esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Miguel y Lucio, por permitirme aprender de mí mismo debido a sus interacciones.

A la Mtra. Caballero, por todo el apoyo, paciencia y asesoría para la elaboración y término de este trabajo, además de introducirme al mundo de la investigación y la economía ambiental.

A los profesores Julio Padilla, Gloria Palomo y Alfonso Ledesma, por lecciones de vida entre las cuales me he ido formando.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme aceptado en una de sus Facultades.

A mis amigos, por haber aportado un poco de cada uno de ellos algo en mí.

Índice

Introducción	9
Objetivo General	10
Objetivos Particulares	10
Pregunta de investigación.....	11
Hipótesis de investigación	11
Metodología	11
Capítulo 1. Evidencia de la relación Cambio climático-Sistema Climático.....	13
1.1 El sistema Tierra y el sistema climático.	13
1.2 Cambio climático.	14
1.2.1 Evidencias del Fenómeno del Cambio Climático.	15
1.2.2. Causas del Cambio Climático.....	35
1.2.3 Escenarios de largo plazo y proyecciones de Cambio Climático	51
Capítulo 2. Construcción de un Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) para México.....	60
2.1. Biodiversidad y Cambio Climático	60
2.1.1. Herramientas de cálculo de diversidad biológica.....	61
2.1.2. Impactos estudiados del Cambio Climático sobre la biodiversidad a nivel global.....	62
2.1.3. Estado de la biodiversidad en México	65
2.1.4. Impactos estudiados del Cambio Climático sobre la biodiversidad a nivel país	68
2.2. Metodología del Índice de Biodiversidad Potencial	71
2.2.1. Índice de Biodiversidad Potencial aplicado a la República Mexicana	71
2.2.2 Antecedentes a la medición del Impacto en la biodiversidad por Cambio Climático a través del IBP	74
2.3. Uso de IBP para análisis de impacto en la Biodiversidad en horizonte cercano y futuro.....	89
a) Residuos distribuidos de forma normal	91
b) Multicolinealidad.....	92
c) Varianza constante de los residuos	94
d) Autocorrelación	97
2.3.1. IBP en Escenario Base, Horizonte Cercano, y Lejano.	100
Capítulo 3. Estimación de costos asociados a la pérdida de biodiversidad.	108
3.1. Métodos de valoración económica aplicados a los Servicios Ecosistémicos	109
3.2. Estimación por medio de Función de Producción.....	112
3.2.1. Cumplimiento de supuestos de MCRL para Función de Producción	114
3.3. Impactos generales a nivel nacional asociados a la variación en la biodiversidad.	119
3.3.1. Costos estatales entre RCP 4.5, RCP 8.5 y el Escenario Base para el Horizonte Cercano.	122
3.3.2. Costos estatales entre RCP 4.5, RCP 8.5 y el Escenario Base para el Horizonte Lejano.	

.....	127
3.3.3. Impactos estatales entre Horizonte Cercano, Horizonte Lejano para RCP 4.5, RCP 8.5 y Escenario Base.	132
Conclusiones y Consideraciones finales.....	137
Referencias bibliográficas	141

Siglas

CC	Cambio Climático
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica
CONABIO	Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biosfera
COP21	Conferencia de las Partes
CUS	Cambio de Uso de Suelo
ENBM	Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México
EPA	Agencia de Protección Ambiental, EUA
FAO	Food and Agriculture Organization
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GHCN	Red de Climatología Global Histórica
GPCC	Centro de Climatología de Precipitación Global
GT1	Grupo de Trabajo 1 del IPCC
HadCRUT4	Hadley Centre/Climate Research Unit gridded Surface temperature data set 4
HadGHCND	Hadley Centre/ Red de Climatología Global Histórica
IBP	Índice de Biodiversidad Potencial
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático
LGCC	Ley General de Cambio Climático
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PND	Plan Nacional de Desarrollo
RCP	Trayectoria Representativa de Concentración
SE	Servicios Ecosistémicos
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
UNIATMOS	Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales

Índice de Tablas

Núm	Título	Pág.
1	Tendencias e intervalos de confianza (90%) estimados de precipitación anual para 1901-2008 y 1951-2008.	17
2	Clasificación de Regiones usadas en IPCC 2013, características y pérdida de masa. 2003-2009.	25
3	Tendencias estimadas para valores globales de noches frías (TN10p), días fríos (TX10p), noches cálidas (TN90p) y días cálidos (Tx90p), porcentaje por década.	31
4	Emisiones promedio por década de CUS con métodos Bookkeeping y DGVM. GtC por año. Gt de CO_2 .	40
5	Indicadores de relación CC-Biodiversidad a nivel global	61
6	Riqueza de especies de vertebrados registrados por entidad federativa, 2017	65
7	Cambio de uso de suelo, México, horizonte lejano y cercano.	74
8	Escenarios de Cambio Climático para México, RCP 4.5 y 8.5, Horizonte Cercano y Lejano.	86
9	Comparativo de resultado de regresiones para IBP.	88
10	Coefficiente de Determinación de regresiones auxiliares.	92
11	Pruebas de heteroscedasticidad en el modelado de IBP.	94
12	Comparación MCO y MCO con errores robustos de White.	95
13	Comparación de errores estándar para cumplimiento de supuesto de no correlación serial.	97
14	Resumen de resultados de IBP para Escenario Base, RCP 4.5, RCP 8.5 en Horizonte Cercano y Lejano.	105
15	Resultado de pruebas de normalidad de residuos.	114
16	Coefficientes de determinación de regresiones auxiliares.	115
17	Pruebas de homoscedasticidad en los residuos de la función de producción para el PIB agrícola.	116
18	Costos anualizados a nivel nacional entre Horizonte Cercano y Horizonte Lejano en porcentaje de PIB 2007 a VPN.	119
19	Impactos estatales en Horizonte Cercano para RCP 4.5, RCP 8.5, Escenario Base y tasas de descuento.	123
20	Impactos estatales en Horizonte Lejano para RCP 4.5, RCP 8.5, Escenario Base y tasas de descuento.	127

Índice de gráficos

Núm	Título	Pág.
1	Anomalías anuales promedio en la temperatura de la superficie terrestre. 1860-2012	14
2	Cambios en la temperatura de los últimos 100,000 años obtenidos de un proxy de un núcleo de isótopo de Oxígeno contenido en el hielo de Groenlandia.	15
3	Grosor promedio del hielo marino registrado en el Estrecho de Fram, 1990-2014.	21
4	Promedio mensual de extensión del hielo marino antártico. Noviembre 1978-2016.	22
5	Extensión de la superficie derretida en Groenlandia.	27
6	Área derretida acumulada de Groenlandia. Abril- Octubre.	28
7	Variaciones de masa en la capa de hielo de la Antártica. 2002- 2017.	29
8	Variaciones de la altura del nivel del mar (NMGP). 1993-2018.	30
9	Consumo de combustibles fósiles totales. 1965-2016.	35
10	Consumo de combustibles fósiles totales por región. 1965-2016.	36
11	Consumo total de carbón mineral. 1965-2016	37
12	Consumo total de Petróleo. 1965-2016	38
13	Consumo total de Gas Natural. 1965-2016.	39
14	Coefficiente de suelo dedicado a actividades agrícolas respecto del total. 1961-2016.	41
15	Coefficiente de suelo dedicado a actividades agrícolas respecto a superficie forestal.	41
16	Carbono almacenado en biomasa de superficie forestal.	42
17	Emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero Mundiales. 1970-2012.	43
18	Emisiones brutas globales de Dióxido de Carbono. 1970-2012.	44
19	Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero Mundiales. 1970-2012.	46
20	Forzamiento Radiativo Global. 1979-2017.	47
21	Cambio en las emisiones anuales de CO_2 de combustibles fósiles.	48
22	Contribución al forzamiento total por generador a 2100.	50
23	Contribución individual al forzamiento radiativo total como porcentaje.	51
24	Forzamiento radiativo historico y escenarios. 1980-2100.	52
25	Anomalías de temperatura superficial, escenarios y extensiones. 1980-2300	52
26	Simulaciones de cambios en la extensión de hielo marino para RCP. 1970-2100.	56
27	Diversidad de especies en el mundo y México.	63
28	Especies por clase y categoría de cambio a condiciones No Análogas.	67
29	Matriz de dispersión entre variables regresoras.	91
30	Residuos de la regresión ordenados contra valor de IBP por municipio.	96
31	Histograma de residuales de la regresión 3.2.5.	113
32	Matriz de dispersión de variables regresoras.	115

Índice de mapas

Núm	Título	Pág.
1	Tendencia de concentración de hielo marino en polo norte. 1979-2012	19
2	Tendencia de concentración de hielo marino en polo sur. 1979-2012.	23
3	Tendencia anual de la cantidad de días con precipitación mayor al 95%, intensidad de precipitación diaria y frecuencia máxima de días secos consecutivos. 1951-2010	32
4	Anomalías geográficas promedio para eventos de temperatura extrema. 2081-2100.	53
5	Cambios en densidad en tormentas extra tropicales	54
6	Anomalías porcentuales en precipitación media respecto de periodo de referencia. 2046-2200.	56
7	Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, México. 2002-2010	71
8	Porcentaje de suelo de ecosistemas por entidad federativa. México, 2014.	75
9	Porcentaje estimado de suelo de ecosistemas por entidad federativa. México, 2029	76
10	Porcentaje de suelo de ecosistemas por entidad federativa. México, 2089.	76
11	Temperatura por entidad federativa. México, 2010.	77
12	Temperatura por entidad federativa. RCP 4.5, México.	78
13	Temperatura por entidad federativa. RCP 8.5, México.	80
14	Precipitación por entidad federativa. México, 2010.	82
15	Precipitación por entidad federativa. RCP 4.5. México.	83
16	Precipitación por entidad federativa. RCP 8.5. México.	85
17	Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, Escenario Base, México.	99
18	Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, RCP 4.5. México.	101
19	Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, RCP 8.5. México.	103

Índice de esquemas

Núm	Título	Pág.
1	Componentes del sistema Climático	11
2	Efecto invernadero y forzamiento radiativo	12
3	Clasificación de Servicios Ecosistémicos.	107
4	Clasificación de valores y métodos de valoración.	109

Introducción

El cambio climático (CC) es un problema identificado desde la segunda mitad del siglo XX y actualmente ocupa un lugar importante en la agenda social, política y económica, nacional e internacional. Evidencia de esto radica en la cantidad creciente de estudios, regulaciones e investigaciones relacionadas con esta materia que han realizado gobiernos e instituciones. Entre ellos la serie de informes que publica el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), cuyo informe especial más reciente versa sobre las consecuencias de un aumento de 1.5°C respecto de niveles pre-industriales (IPCC, 2018a).

A su vez el Banco Mundial con los estudios sobre el costo beneficio de la infraestructura dotada de resiliencia y la Conferencia de las Partes (COP 21) donde se negoció un instrumento vinculante para disminuir las emisiones y acotar el aumento de temperatura a menos de 2°C para final de siglo, el llamado “Acuerdo de París”. Es en este contexto donde este trabajo de investigación se inserta como una aportación al análisis y sustento científico de las políticas públicas emanadas del problema ambiental enfocadas a la conservación y conocimiento de la biodiversidad como tema de actualidad, importancia y cercanía a los sectores económicos.

Ahora se toma al ambiente como elemento activo, que tiene una relación de interdependencia entre las acciones que tomemos, ya sea para procurar la sostenibilidad o no. Se reconoce de esta forma el rol que el ambiente juega dentro de la actividad económica gracias a los servicios que los ecosistemas brindan los llamados servicios ecosistémicos (SE), esto reconoce que va más allá de un simple factor de la producción (TEEB, 2010: 34)

Gozar de un ambiente saludable es crucial para mantener los equilibrios ecológicos, tener los recursos naturales que las actividades productivas requieren y para mantener los niveles de productividad de la economía.

Aun cuando existe unanimidad en la comunidad científica respecto a la importancia del problema, también existe discrepancia sobre las mejores prácticas para reducir el riesgo y los costos asociados al fenómeno del cambio climático ya que la variedad de eventos relacionados, su geografía, intensidad, incertidumbre y metodologías es vasta. Desde sequías que desencadenan incendios forestales desde el Mediterráneo hasta la región ártica (Forbes, 2019), incremento del nivel del mar por derretimiento de glaciares y las consecuentes pérdidas económicas en zonas costeras como en la península de Yucatán (Castro, 2019), hasta la crisis en la producción de alimentos derivada de una disminución en los polinizadores (UNAM-DGCS, 2019) por citar algunos eventos recientes.

Una de las formas de empezar a proponer soluciones es contar con mediciones e indicadores adecuados que muestren con la mayor exactitud posible el estado de los rubros donde el CC afecta más a la actividad económica. Contar con instrumentos confiables contribuye a mejorar la toma de decisiones y a asignar los recursos de manera eficiente; muestra hacia dónde nos dirigimos y hacia dónde queremos llegar.

También permitirá conocer los beneficios y costos estimados de cada acción o inacción. Sin embargo, estimar cuánto contribuyen los SE a la economía no siempre es fácil, ya que existen flujos de bienes y servicios que son difícilmente medibles o en los que distintas metodologías son aplicables.

Dentro de dichos SE, los brindados por la biodiversidad adquieren una consideración singular al momento de incorporarlos al análisis económico, dadas la complejas relaciones e interdependencias existentes que dan lugar a procesos que no son susceptibles de analizar directamente por los agentes pero que funcionan en segundo plano para un sinnúmero de actividades. Polinización, reciclaje de nutrientes, purificación de agua, creación de biomasa son sólo algunos ejemplos.

Esto es de suma importancia para México, siendo un país megadiverso, que alberga aproximadamente 10% de las especies registradas a nivel mundial, detenta el primer lugar en mayor número de reptiles, segundo en mamíferos, cuarto en anfibios y quinto en plantas, dando en suma más de 108,000 especies descritas (SEMARNAT, 2016), la magnitud de tal biodiversidad hace crítica la existencia de Áreas Naturales Protegidas, Estrategias Nacionales y Estatales sobre Biodiversidad así como el Sistema Nacional de información sobre Biodiversidad, que juntos contribuyen al desarrollo de este ámbito.

Es de igual preponderancia la relación entre el CC y la biodiversidad que las vulnerabilidades de las especies endémicas a cambios en las variables climáticas pueden llevar a su extinción. Ejemplo de lo anterior es *Melomys rubicola*, un roedor australiano declarado extinto a inicios de este año como consecuencia del aumento en la frecuencia de los eventos extremos y la elevación del nivel del mar provocados por el CC antropogénico, lo cual es sin duda una alerta (National Geographic en Español, 2019).

En el mismo Plan Nacional de Desarrollo (PND) 2012-2018 (p. 135) dentro de la estrategia 4.4.3 se pone de manifiesto el fortalecimiento de la política nacional de CC y cuidado al medio, en subsecuente estrategia se declara la protección del patrimonio natural a través de la conservación, restauración y aprovechamiento de los servicios ambientales. Para el PND 2019-2024 (p. 217) el objetivo 3.10 de Desarrollo Económico plantea la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la adaptación al CC, mientras que el objetivo 2.5 de Bienestar menciona el derecho a un ambiente sano y con enfoque de sostenibilidad de ecosistemas y biodiversidad.

Objetivo General

Mostrar el impacto del cambio climático en la biodiversidad y los costos a los que se enfrentaría el país por dichas pérdidas, dados los escenarios climáticos y de acción en el marco de la economía ambiental.

Objetivos Particulares

Analizar el problema del cambio climático y su relación con la biodiversidad en México, a la luz de metodologías y estudios propuestos en otras regiones.

Proponer un modelo econométrico que permita construir un Índice de Biodiversidad Potencial para evaluar y ayudar a la toma de decisiones de corto y largo plazo del problema.

Valorar la biodiversidad para obtener su contribución en el Producto Interno Bruto de México a través de un modelo de función de producción para estimar los costos de la pérdida de la misma para los escenarios y lapsos considerados.

Pregunta de investigación

¿Las variaciones en la temperatura y precipitación ocasionan costos en la economía por la afectación a la biodiversidad?

Hipótesis de investigación

El impacto del Cambio Climático sobre la biodiversidad genera costos asociados a la pérdida de valor económico, que dada la tendencia actual aumentan de forma creciente.

Metodología

La presente investigación tiene un enfoque principalmente cuantitativo complementada con información cualitativa, a partir de revisión documental, con una inferencia deductiva basada en el análisis estadístico, explicativa en cuanto a las causas y consecuencias involucradas en el fenómeno, de carácter longitudinal pero realizada de manera sincrónica y con miras a alcanzar la aplicación y transformación del entorno.

La estructura del estudio se compone de 3 capítulos en donde se aportan elementos para refutar o comprobar la hipótesis de investigación. En el capítulo 1 se describen y analizan las bases físicas del sistema climático, sus elementos integradores y el estado consensuado de las principales variables climáticas así como los respectivos procesos que hacen palpables los efectos del CC: Temperatura, Precipitación, Criósfera, Nivel del Mar, Combustibles fósiles y Eventos extremos.

Posteriormente en el capítulo 2 se hace una relación entre CC y biodiversidad, mostrando sus interrelaciones y efectos estudiados, tanto a nivel mundial como nacional. Después se hace una propuesta de construcción de un Índice de Biodiversidad Potencial así como su distribución geográfica. Finalmente se integra un modelo econométrico con las variables seleccionadas para pronosticar dicho IBP en dos horizontes del futuro y las perspectivas de resultados.

Consecuentemente el capítulo 3 está destinado a un breve análisis sobre los enfoques de los SE y los métodos de valoración económica, así como al uso del IBP pronosticado en una función de producción para valorar indirectamente la aportación de la biodiversidad en la economía mexicana para luego hacer un análisis comparativo de los costos esperados por Entidad Federativa en dos Horizontes futuros.

Finalmente las conclusiones del estudio contienen las premisas y resultados más importantes de los anteriores capítulos, versan sobre el impacto del CC, situación y vulnerabilidad de la

biodiversidad del país y los efectos estimados a nivel nacional y de las Entidades, acompañados de ejes de políticas de adaptación y conservación.

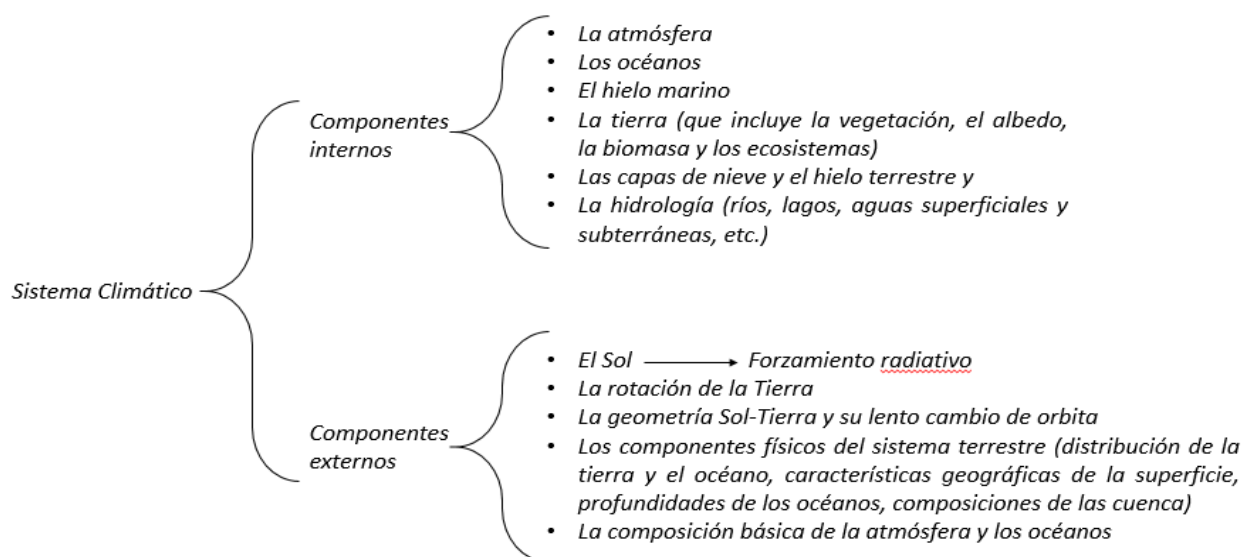
Capítulo 1. Evidencia de la relación Cambio climático-Sistema Climático.

1.1 El sistema Tierra y el sistema climático.

La Tierra se compone de 4 subsistemas principales que contienen procesos e interacciones que hacen que la misma se autorregule para mantener la composición de los elementos que la integran, estos subsistemas son: Litosfera, Hidrosfera, Atmosfera, Biosfera. (Tarbuck. Et al, 2005:11)

Las interrelaciones que se producen entre los procesos de los subsistemas generan el sistema climático de la Tierra, definido como un conjunto altamente complejo conformado por un sinnúmero de componentes que generan cuantiosos procesos físicos, químicos y biológicos y que determinan entre otras variables, la temperatura promedio del planeta y la precipitación.

Esquema 1. Componentes del sistema Climático.



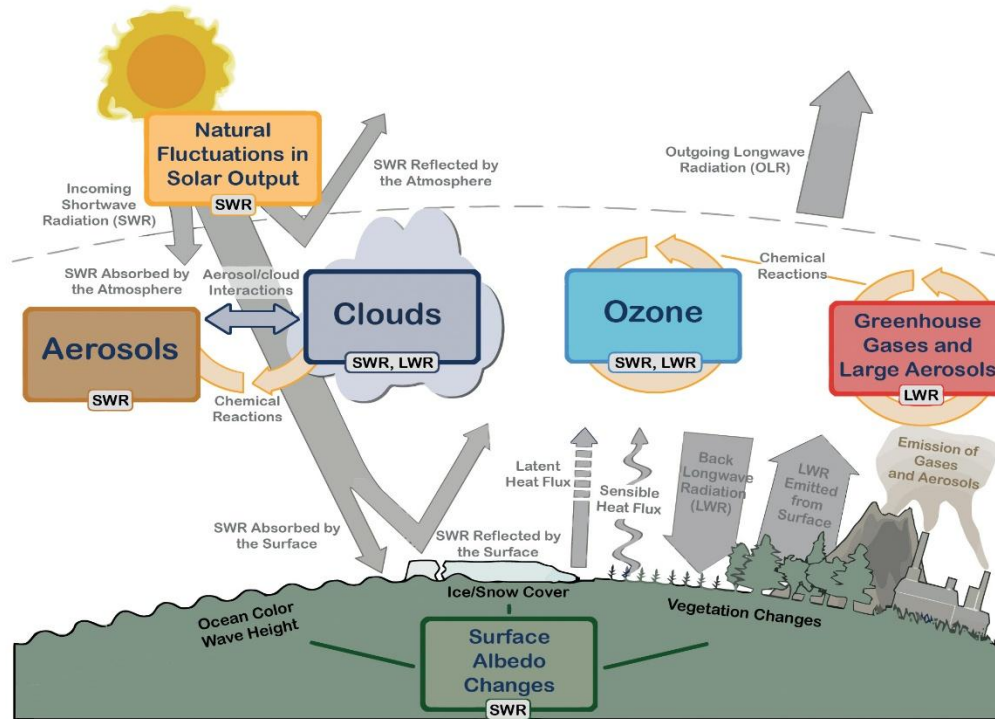
Fuente: Elaboración propia con información de Tarbuck et al, 2005

Alteraciones en la radiación solar que repercuten en la Tierra causan el forzamiento radiativo. El forzamiento radiativo indica cómo el equilibrio del sistema atmosférico se comporta cuando se alteran los factores que determinan el clima, expresado en tasas de cambio de energía por área de unidad de la Tierra. Estas alteraciones pueden ser causadas entre otras cosas por los gases de efecto invernadero (GEI) provenientes de fuentes naturales o actividades humanas. (IPCC 2103: 664)

El Efecto Invernadero es un fenómeno presente en el planeta e incide sobre la temperatura global de la superficie terrestre. Se origina por la absorción de radiación infrarroja que es emitida por la superficie de la tierra, producto de la radiación que llega al planeta desde el espacio. Las nubes, vapor de agua, metano, óxidos nitrosos, dióxido de carbono y una pequeña parte de los aerosoles son los responsables principales de dicha absorción, de forma que la radiación que se queda en el sistema planetario es mayor que la emitida al espacio.

Esto ocasiona un forzamiento radiativo que provoca el aumento de la temperatura en la superficie y en las capas más bajas de la atmósfera (IPCC 2013: 1455).

Esquema 2: Efecto invernadero y forzamiento radiativo.



Fuente: IPCC, 2013.

En la figura 2 se muestran las entradas y salidas de energía provenientes de la radiación que emite el Sol. El flujo de entrada de radiaciones de onda corta tiene 3 destinos, casi una quinta parte es absorbida por la atmósfera; cerca de la mitad es absorbida por la superficie terrestre, mientras que aproximadamente 30% es devuelta al espacio al ser reflejada por la misma atmósfera, nubes, pequeños aerosoles y la superficie terrestre que no es capaz de absorberla, como la capa de hielo, la nieve, el color del océano y los cambios en la vegetación. (IPCC 2013:126)

1.2 Cambio climático.

Habiendo definido los elementos anteriores se procede a analizar el cambio climático (CC), sin embargo aún es necesario definir este fenómeno; se comienza exponiendo el concepto elaborado por el IPCC. Se cita textual: (IPCC 2013: 164)

Variación del estado del clima, identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo.

A su vez, para la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se define como: Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (ONU, 1992:3)

En México, la Ley General de Cambio Climático usa una definición de CC similar a la de Naciones Unidas: 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, 2012: 2)

En estas 3 definiciones podemos apreciar la diferencia que se hace entre las afectaciones provenientes de actividades humanas y las afectaciones inherentes a la naturaleza del sistema Tierra. También se enfatiza la variación del clima y de sus propiedades. Sin embargo, en la primera definición se muestran otras características del CC, como son los periodos de tiempo largos y la prueba empírica, numérica y significativa que debe poseer esta variación del clima.

1.2.1 Evidencias del Fenómeno del Cambio Climático.

En años recientes se han acumulado diversos estudios que abordan uno o varios factores que ayudan a registrar y explicar las variaciones en el sistema climático. Existen además investigaciones que fundamentan la influencia de la actividad humana en los cambios en los patrones de dicho sistema. La evidencia debe cumplir con la prueba empírica y numérica, por lo que se creó un organismo que reuniera y validara los estudios referentes a este tema, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC: 2018b)

Esta misma institución fundada en 1988 a través del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Organización Mundial de Meteorología produce reportes y estudios empíricos que demuestran -con distinto grado - de confianza que el CC es observable y estiman los efectos de los riesgos que conlleva dicho fenómeno, así como alternativas de adaptación basadas en metodologías científicas.

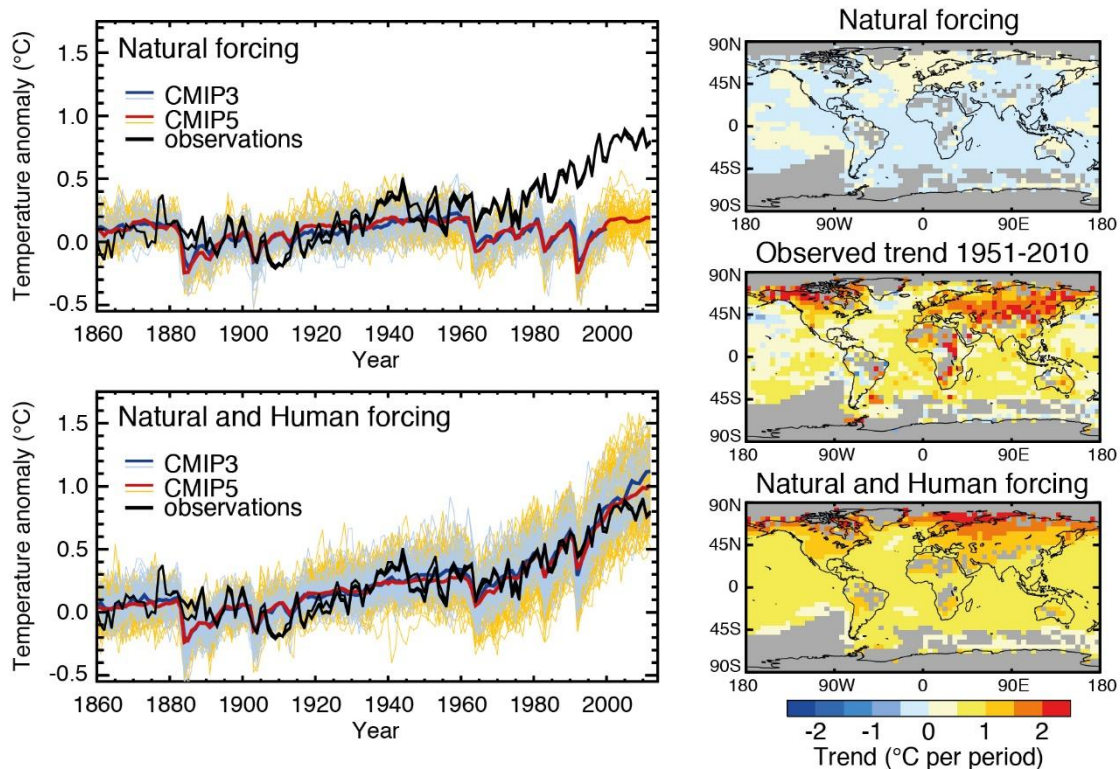
La metodología para sustentar la existencia de un CC se valida contrastando la información climática actual, la que se ha recabado desde que existe un registro con instrumentos, contra la proveniente del registro paleo-climático. De manera que los indicadores principales del CC son respuestas físicas del sistema climático: temperatura de la superficie terrestre, vapor de agua en la atmósfera, patrones de precipitación, eventos extremos; glaciares, hielo oceánico, continental (criósfera) y nivel del mar. (IPCC, 2013:130)

1.2.1.1 Temperatura

Los registros de temperatura del aire a nivel de la superficie continental así como la temperatura de la superficie del mar componen las 2 bases de datos más antiguas. La variación climática es captada principalmente por el aumento de la temperatura promedio en la superficie terrestre, es decir, la temperatura global combinada de las superficies de la tierra y el mar. Este, además, es un parámetro que puede ser estimado hacia épocas previas antiguas en el desarrollo del planeta.

Existe consenso en que la temperatura global en la superficie ha aumentado, donde los últimos 50 años han tenido una tasa de crecimiento de casi el doble de la tasa de los últimos 100 años. Los diez años más calientes de los que se tengan registro se han presentado desde 1997, siendo 2005 y 2010 los años con temperatura promedio registrada más alta. El aumento de temperatura estimado del periodo inicial 1850-1900 al intervalo 1986-2005 es de entre 0.55°C y 0.67°C, mientras que desde ese mismo inicio, pero hasta 2003-2012 el aumento oscila entre 0.72°C y 0.85°C¹ (IPCC, 2013: 193)

Gráfico 1. Anomalías anuales promedio en la temperatura de la superficie terrestre. 1860-2012.



Fuente: IPCC, 2013.

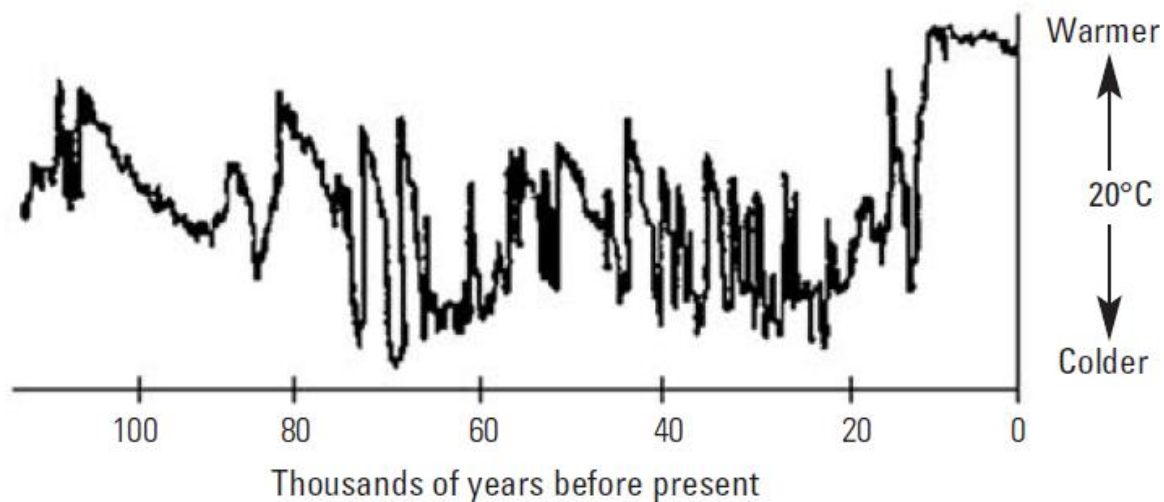
La figura 3 ilustra el efecto del forzamiento radiativo sobre las variaciones de la temperatura. En primera instancia se muestra la anomalía derivada del forzamiento natural obtenido de los modelos CMIP3 y CMIP5, cuya tendencia es estable en el tiempo y que no sobrepasa el rango de +/- 0.5 °C. Se contrasta con los datos de variación real, cuya tendencia comienza a tener un alza a mediados de siglo, con un periodo de estabilidad entre 1940 y 1960, para luego retomar una senda alcista más pronunciada alcanzando niveles de variación cercanos a 1°C a finales de siglo, siendo alta, pero estable a principios de la primera década de los años 2000. Teniendo como resultado un incremento de 0.85°C entre 1880 y 2012 (IPCC, 2013: 5)

¹ Tomando en cuenta modelo HadCRUT4 (Hadley Centre/Climate Research Unit gridded surface temperature data set 4)

Posteriormente se comparan los datos observados con los modelos que ahora incorporan tanto el forzamiento natural como el antropogénico. El resultado es una correlación y una tendencia al alza de los modelos, que sigue a las variaciones observadas, esto se enfatiza a partir de 1960 y hasta principios del siglo XXI, para después tener una tendencia más marcada por parte de los modelos.

El aumento de temperatura y su concentración en el círculo ártico se observa también en los mapas de la misma figura. La tendencia observada desde mediados del siglo presenta las variaciones principalmente en el hemisferio norte. La suma de ambos forzamientos indica que los incrementos de temperatura se vuelven más homogéneos espacialmente. (IPCC, 2013: 895). Al incluir el efecto de la actividad humana en las anomalías se pone de manifiesto su correlación en los aumentos de la temperatura en la superficie terrestre.

Gráfico 2. Cambios en la temperatura de los últimos 100,000 años obtenidos de un proxy de un núcleo de isotopo de Oxígeno contenido en el hielo de Groenlandia.



Fuente: Lovejoy, 2008.

La estimación de la temperatura a través del registro paleoclimático, representada en la figura 4, muestra que la regla es la relativa inestabilidad del clima, que se ha manifestado en los 100,000 años previos a nuestra era, sin embargo, los últimos 10,000 años registraron una estabilidad en la temperatura. Ese mismo periodo abarca el tiempo en el que aparece el humano, inicia la agricultura y se comienza el registro de la temperatura. El desarrollo del humano reside principalmente al entorno de un clima estable. (Lovejoy, 2008: 1).

1.2.1.2 Patrones de precipitación

De acuerdo con Smith y Smith (2007) la precipitación incluye “cualquier tipo de agua que cae sobre la superficie de la Tierra; incluye lluvia, nieve, granizo, aguanieve, niebla, neblina, llovizna y las cantidades medidas de cada una de ellas” (p. G-14). Los mismos autores señalan que la latitud provee un explicativo simple para los patrones de precipitación a nivel global; la precipitación es más abundante e intensa en la región del Ecuador (0° a 30°) y a medida que nos alejamos hacia el Sur o hacia el Norte esta disminuye, lo anterior es

provocado por el movimiento de masas de aire con distintas temperaturas, la incidencia del Sol y la humedad presente en el ambiente. Cabe destacar que aunque la precipitación disminuya al acercarnos a los polos, existen 2 puntos máximos locales entre las latitudes 30° y 60° de ambos hemisferios para luego retomar el decremento. Los registros usan principalmente la precipitación que sucede en las áreas continentales del planeta, mientras que no existe suficiente información al respecto pero sobre los mares u océanos, dada la falta de estaciones de medición.

Los hallazgos reportados por el Grupo de Trabajo 1 (GT1) del IPCC (2013: 201) indican tendencias positivas en la variación en el hemisferio norte a lo largo del siglo XX, mientras que son negativas en los trópicos a partir de la década de 1970. Dada la disparidad que existe entre la captura de datos espaciales, la periodicidad en las bases de datos y los resultados con significancia estadística mixta; no existe certeza de dicha variación positiva en el largo plazo.

A nivel regional el IPCC analizó los estudios y clasificó los resultados en 2 periodos de acuerdo a 4 bases de datos climatológicas. La primera de ellas llamada GPCC (Centro de climatología de precipitación global) por sus siglas en inglés cuya construcción se basó en los registros históricos mensuales de estaciones de monitoreo y con una distribución espacial de plantilla por grados, con una extensión temporal desde 1901 (Becker et al: 72).

La base CRU TS 3.10.01, cuya construcción se describe en Mitchell y Jones (2005) a través de los registros de variaciones mensuales en un siglo y distribuidos en una cuadrícula de 0.5° de longitud y latitud. Dicha distribución parte de las observaciones registradas en las estaciones de monitoreo y las zonas donde no existe información son rellenadas con un interpolación correlacionando estaciones aledañas (p. 709).

La Red de Climatología Global Histórica (GHCN en inglés) es propuesta en Vose y Marietta (1992) originalmente y actualizada a 2011. Elaborada como una solución a la presencia de distintas bases de datos climáticas, con información no comparable o con control de calidad distinto. Dicha base contiene principalmente información por estación, de las cuales se incluye un inventario con identificadores espaciales. Registra series con mínimo 10 años de observación de temperatura, precipitación, presión del nivel del mar y presión en el lugar de monitoreo.

Mientras que el trabajo de Smith et al (2012: 1509) es una base sustentada en otras reconstrucciones anteriores, registros a través de satélites y está obtenida a escala global y no en regiones. Usa un grupo de covarianzas de funciones ortogonales para estimar variaciones históricas usando series de tiempo considerando los registros incompletos; para ello recurrió a minimizar el error cuadrado promedio.

De la tabla 1 podemos analizar las tendencias de cada década por cada periodo de resultados, teniendo 2 series; la primera empezando en 1901 y cubriendo más de 100 años, la segunda comienza a mediados del siglo XX y termina en principios del XXI. Para cada una de las bases, en la primer serie de la región más alejada del hemisferio norte no existe información suficiente para cubrir el lapso. La región más alejada del Ecuador con dirección sur tampoco dispone de información suficiente para alguna de las series.

Tabla 1. Tendencias e intervalos de confianza (90%) estimados de precipitación anual para 1901-2008 y 1951-2008.

Base	Área	Tendencia mm/año por decenio	
		1901-2008	1951-2008
GPCC	60°N-90°N	-	2.69+-2.54
	30°N-60°N	3.14+-1.05	1.50+-1.93
	30°S-30°N	-0.48+-3.35	-4.16+-9.65
	60°S-30°S	2.40+-2.01	-0.51+-5.45
CRU TS 3.10.01	60°N-90°N	-	5.82+-2.72
	30°N-60°N	3.82+-1.14	1.13+-2.01
	30°S-30°N	0.89+-2.89	-4.22+-8.27
	60°S-30°S	-0.57+-2.27	-3.73+-5.94
GHCN	60°N-90°N	-	4.52+-2.64
	30°N-60°N	3.23+-1.10	1.39+-1.98
	30°S-30°N	1.01+-3.00	-5.15+-7.28
	60°S-30°S	-0.57+-2.27	-8.01+-5.63
Smith et al 2012	60°N-90°N	-	0.63+-1.27
	30°N-60°N	1.44+-0.50	0.97+-0.88
	30°S-30°N	0.43+-1.48	0.67+-4.75
	60°S-30°S	2.94+-1.40	0.78+-3.31

Fuente: IPCC, 2013.

La tendencia de largo plazo, 1901 a 2008, en la región 30°S-30°N muestra resultados estadísticamente no significativos, sin embargo, en 30°N-60°N en el mismo periodo sucede lo contrario, destacando los valores promedio positivos cercanos a 3 en las tendencias en cada base de datos a excepción de Smith et al 2012. En el hemisferio sur acotado por 60°S-30°S encontramos tendencias mixtas, siendo GHCN negativa pero no significativa, el resto posee significancia, con resultados positivos para GPCC y Smith et al 2012 con valores promedio de 2.40 y 2.94, respectivamente, mientras la base restante presenta un promedio de 0.57 mm menos en cada año.

En la región tropical de 30°S-30°N ninguna base muestra resultados significativos para la tendencia de menor plazo, al igual que su contraparte de largo plazo. Respecto a la región 30°N-60°N, 3 bases mostraron tendencias positivas no significativas. La región más cercana al polo norte comprendida en 60°N-90°N muestra tendencias positivas significativas en 3 de las bases utilizadas a excepción de Smith et al, careciendo de significancia estadística. En el caso de las latitudes medias del hemisferio sur (60°S-30°S) la tendencia obtenida de la base

GHCN es la única significativa, teniendo el valor promedio negativo más alto con -8.01 mm por año, mientras que las otras bases tienen tendencias mixtas con ausencia de significancia.

Las bases de datos utilizados por el GT1 presentan estimaciones mixtas, tanto en significancia, magnitud y sentido de los valores, lo que repercute en la confianza estadística de los resultados y de sus conclusiones de largo y de corto plazo.

1.2.1.3 Criósfera

La criósfera es el término acuñado para englobar toda porción de la superficie terrestre que presente agua predominantemente en estado sólido (IPCC, 2013: 321). Es entonces la superficie continental u oceánica que está cubierta por nieve, hielo o permafrost e incluye a los icebergs, placas de hielo, hielo marino y glaciares, se encuentra en regiones como la Antártica, las latitudes más altas del hemisferio norte y las cimas más altas de los sistemas montañosos continentales. Presenta un alto porcentaje de reflexión de la radiación solar, sin ella la radiación absorbida sería mayor y por lo tanto la temperatura promedio atmosférica también aumentaría.

Es considerado además un depósito de GEI, por lo que el derretimiento implicaría un aumento de la concentración de estos gases en la atmósfera. También está profundamente relacionado con el nivel del mar y la composición química del agua oceánica, ya que el calentamiento incide en la liberación de sales y el aumento en el volumen de agua líquida, afectando su productividad, las corrientes y los climas regionales relacionados. (Planeta tierra, 2011)

- **Hielo marino**

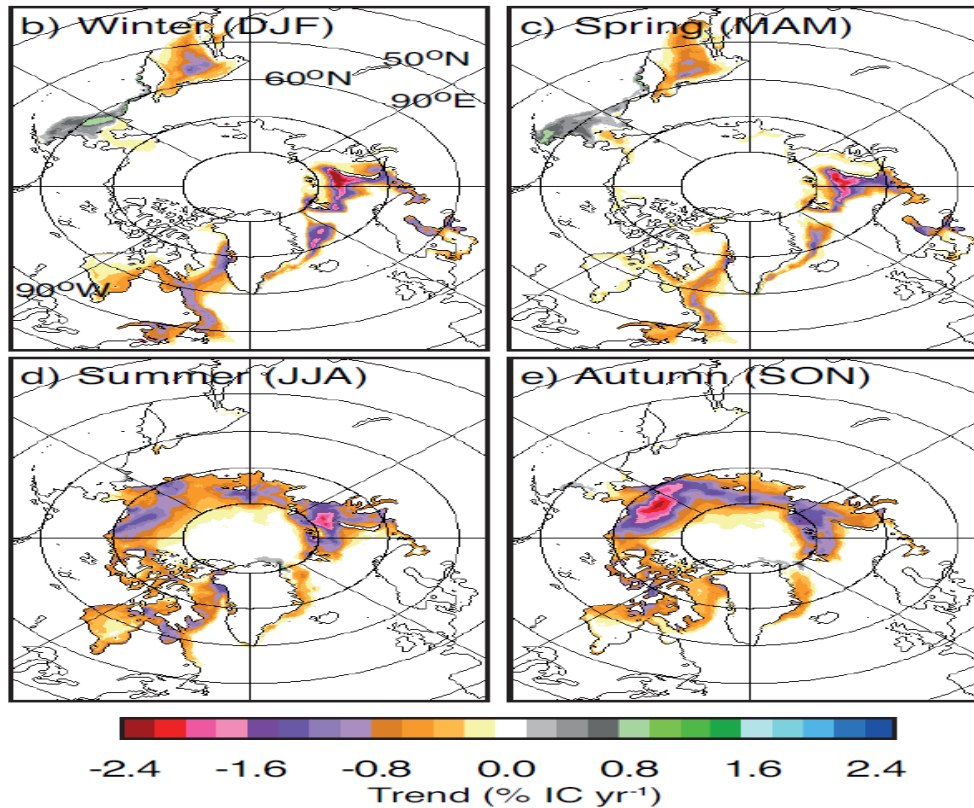
El hielo marino es el formado directamente encima de los océanos y se encuentra clasificado en el hielo presente en el Ártico y el que se encuentra en la Antártica. Esta cubierta de hielo sobre el océano produce una refracción de luz mayor, provocando que el agua que se encuentra debajo tenga una temperatura distinta, pero también evitando el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera, adicionalmente es el componente principal de los ecosistemas polares. (IPCC, 2013:1461)

La extensión del hielo marino del Ártico presenta una típica estacionalidad, variando de 6 millones de metros cuadrados para el final del verano (septiembre) hasta 15 millones cuando termina el invierno (febrero), en promedio y concentrándose principalmente en el océano Ártico y el archipiélago ártico canadiense. Su extensión depende de la cantidad de hielo grueso que queda después del derretimiento y de la extensión que alcanzó el hielo. (Cavalieri y Parkinson, 2012:885) (Meier et al, 2012: 1363) (Comiso, 2011:1177)

Los cambios observados en la extensión del hielo marino en el hemisferio norte presentan una disminución de entre 1.98% y 2.97% para cada década, de noviembre de 1978 hasta diciembre de 2015 de acuerdo con el análisis hecho por Comiso et al (2017: 6897). Al analizar los datos de manera estacional para 1978-2012 y para la misma región se encontró que durante el invierno la disminución fue de 2.3% +/- 0.5 puntos porcentuales, para el

verano 6.1% +/- 0.8 puntos, mientras que en primavera se registró de 1.3% a 2.3% menos y otoño con 7.0% +/- 1.5 puntos porcentuales menos. (IPCC, 2013: 324).

Mapa 1. Tendencia de concentración de hielo marino en polo norte. 1979-2012.



Fuente: IPCC, 2013.

En el mapa 1 encontramos la tendencia en la concentración de hielo en el círculo polar Ártico. La concentración es definida como la fracción del área del océano que está cubierta por hielo (Comiso y Nishio, 2008: 1). Podemos observar los cambios que se han presentado de manera estacional desde 1979, donde un color cercano al rojo indica una disminución de dicha concentración mientras un color cercano al azul indica un aumento. Regiones con decrementos son apreciadas en todas las estaciones, de manera particular en otoño en un área concentrada en el mar de Bering al norte de Siberia y Canadá, extendiéndose hasta el Mar de Barents.

Durante el verano los mayores decrementos se encuentran también en dicho mar aunque adicionalmente en menor intensidad en el Mar de Bering y la costa occidental de Groenlandia. Se ha registrado elementos mixtos durante la primavera con incrementos en la concentración principalmente en el Norte del área del Estrecho de Bering, disminuciones de mediana intensidad en el Mar de Ojotsk (Sureste de Rusia y Norte de Japón) y el Noroeste de la Península Labrador, en Canadá, adicionales a disminuciones intensas en el Mar de Barents. Para invierno la tendencia positiva se concentra al norte del Mar de Bering; las negativas se encuentran principalmente en el Mar de Barents, con disminuciones menores

presentes al sur de la Península Escandinava, el Golfo de Botnia, este y oeste de Groenlandia, noroeste de la Península Labrador y el Mar de Ojotsk.

De acuerdo a la dinámica temporal del hielo en esta región polar existe el hielo perenne, el estacional y el multianual. El primero es aquel que perdura al verano, por lo tanto su extensión es la extensión mínima alcanzada para ese momento. El estacional es aquel que se descongela y se forma cada año de manera cíclica, mientras que el multianual es el que ha resistido mínimo 2 ciclos. Las variaciones en los componentes anteriores inciden en el volumen y grosor de del hielo.

Cabe destacar que a lo largo del tiempo se han desarrollado nuevos métodos de medición: Láser satelital, radar, sonar de flota submarina y pulsos electro magnéticos lo que ha enriquecido las estimaciones pero también resultando en incertidumbre derivado de la variabilidad de dichos métodos.

El hielo perenne presentaba en 1980 una extensión aproximada de 7.9 millones de km², para 2012 tenía aproximadamente 3.5 millones de km², lo que representa una tendencia a la baja en un rango de -9.4% a -13.6% por década. El hielo multianual tuvo una tendencia negativa de entre 11% y 16%, por lo que pasó de poseer una extensión de 6.2 millones de km² en 1981 a 2.5 millones de km² en 2012. (IPCC, 2013: 326).

Análisis realizados por IPCC (2013: 327) de estudios basados en información obtenida por submarinos, encontraron que entre 1975 y 2000 el grosor del hielo tuvo una disminución de 1.2 m, al pasar de un máximo de 3.6 m en 1980 a 2.4 al final del periodo.

Estudios posteriores que utilizaron información obtenida por láser satelital de entre otoño de 2003 y primavera de 2008, determinaron que el grosor del hielo multianual se redujo en aproximadamente 0.6 m en cada primavera; mientras que entre 2004 y 2008 el volumen del hielo perdió casi 6300 km³ (equivalente a -1,237 Km³ por año), desde un promedio inicial cercano a 14000 km³. (Kwok, 2009:1). Adicionalmente de 1979 a 2010 se registró una pérdida de entre 180 km³ y 380 km³ de volumen de hielo por año, calculado a partir del Sistema Pan- Artico de Modelado y Asimilación (Schweiger et al, 2011:1)

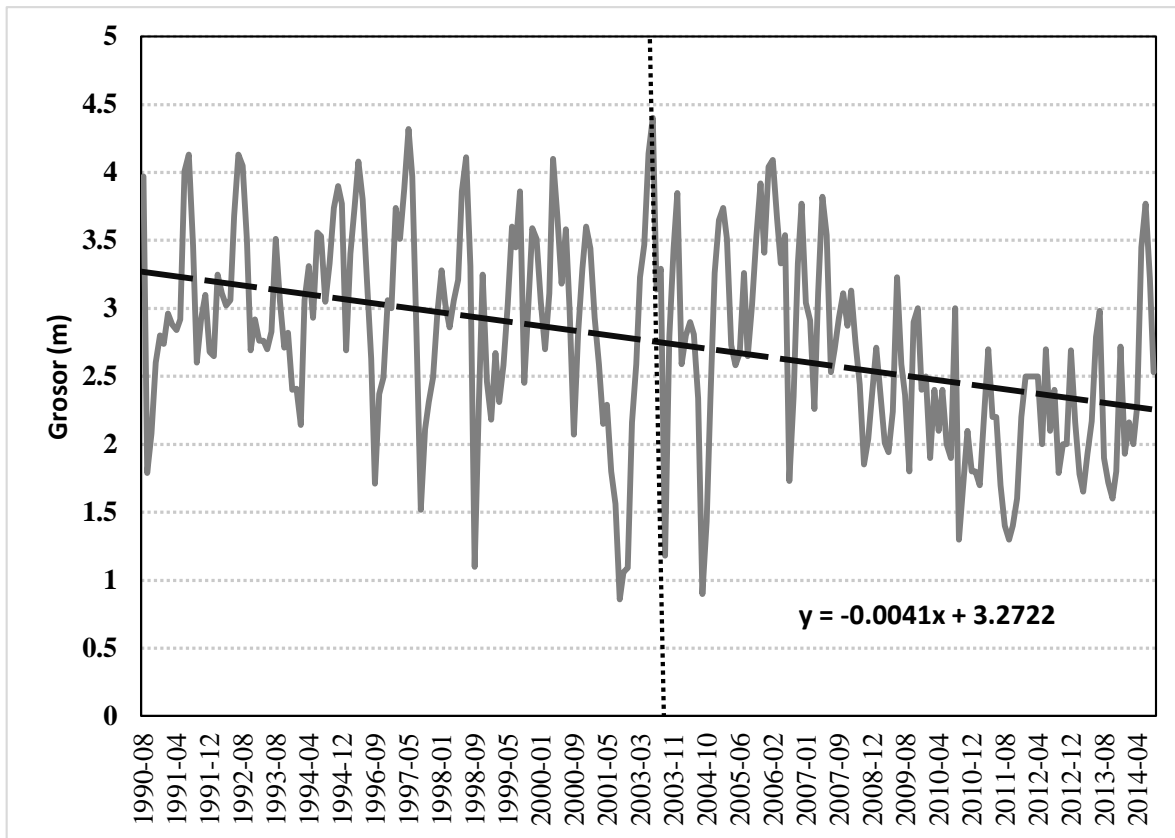
Laxon et al (2013: 736) actualizó las mediciones obtenidas por altímetro satelital, indicando que el volumen del hielo marino disminuyó en 4,291 km³ en otoño y 1,479 km³ en invierno en el periodo comprendido entre 2003 y 2012. Las mediciones de métodos electromagnéticos mostraron una disminución en la moda registrada del grosor del hielo multianual, siendo de 2.5 m en 1991, de 2.2 m en 2004 y 0.9 m en 2007; En el Mar de Lincoln, al norte de Groenlandia, donde se ha registrado la moda del hielo más grueso (4 m -4.5 m) desde 2004 ha tenido una disminución a 3.5 m de acuerdo con Haas et al (2010: 1, 5)

El gráfico 3 muestra los promedios mensuales del grosor del hielo marino presente en el Estrecho de Fram, entre Groenlandia y el Archipiélago de Svalbard, desde agosto de 1990 hasta abril de 2014. Presenta estacionalidad marcada por la creación y derretimiento del hielo en otoño y verano, respectivamente. El valor mínimo de la serie se encuentra en octubre de

2002 con 0.86 m seguido de septiembre de 2004 con 0.9 m. El máximo se dio con 4.4 m en junio de 2003 con un valor cercano en mayo del mismo año (4.14).

La regresión lineal simple sobre la serie arroja una parámetro negativo de 0.0041 m cada mes y una constante de 3.2722 m, cada una con significancia estadística al 99%. El signo del coeficiente ponderado por el tiempo indica una tendencia hacia la disminución del grosor, la desviación estándar desde el inicio del registro y hasta el punto máximo es de 0.7156 m, mientras que de esa fecha hasta el final de periodo la misma es de 0.6963; lo que se puede apreciar en la mayor volatilidad en el primer momento, mientras que en el segundo la tendencia negativa es más intensa pero con un estabilidad mayor.

Grafico 3. Grosor promedio del hielo marino registrado en el Estrecho de Fram, 1990-2014.



Fuente: Elaboración propia con datos de Norwegian Polar Institute, 2019.

La duración de la temporada de formación de hielo en la región del este del Mar de Siberia y hasta el oeste del Mar de Beaufort ha sufrido un retraso de entre 35 y 47 días, desde 1979 y hasta 2011, a su vez, la temporada de derretimiento ha avanzado entre 42 y 56 días, haciendo que el ciclo completo dure entre 74 y 106 días menos; del periodo referido, cada año el ciclo se acorta entre 2.3 y 3.3 días (Stammerjohn et al, 2012: 3).

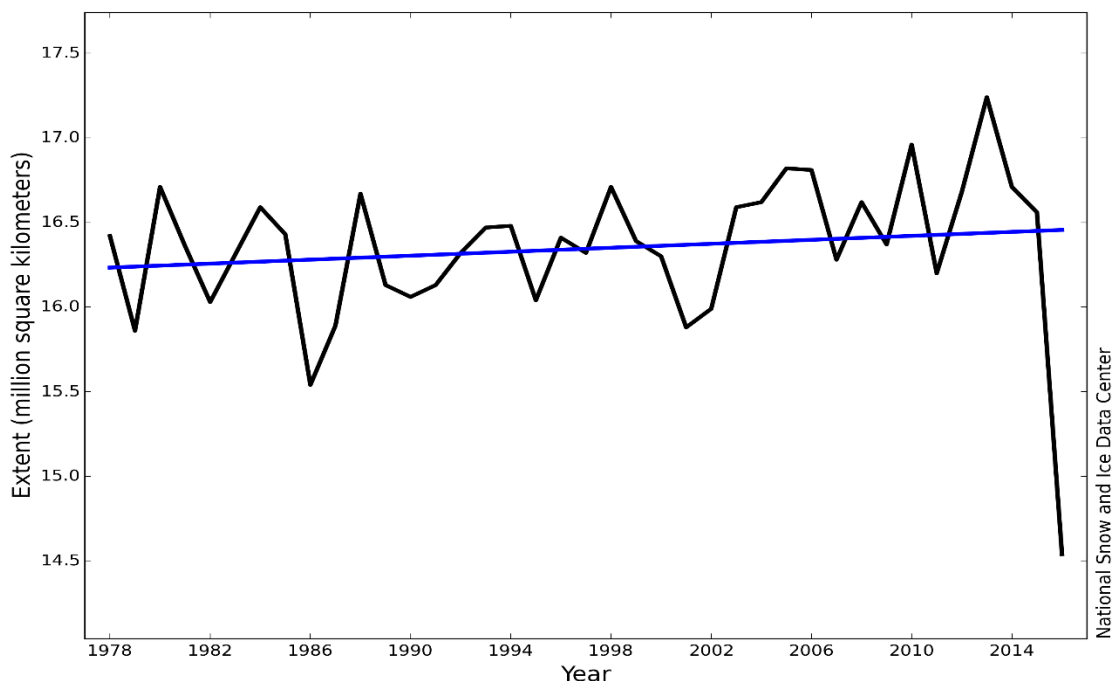
Stroeve et al (2014: 6) analiza datos basados en temperaturas del brillo de microondas obtenidos a partir de radiometría desde 1979 a 2014; encontrando con un alto grado de confianza que para el Ártico en su conjunto la temporada de derretimiento se ha incrementado

en una tasa de 4 a 5 días por década. El Mar de Barents, de Laptev (al Oriente de Siberia) y el Este de Groenlandia de presentan aumentos de entre 8.3 y 7.7 días por decenio. Los alargamientos más intensos se concentran en el Mar de Kara (Norte de Siberia), de Chukchi y el Este de Siberia con 11.8-12.4, 13.2-11.2 y 9.7-9.9 días por cada diez años, respectivamente.

Por otro lado, el hielo marino en la Antártica presenta una extensión mínima promedio de alrededor de 3 millones de km² en febrero y un máximo promedio de 18 millones de km² en septiembre, (Comiso et al, 2011:17). Los resultados compilados por el IPCC respecto a esta región expresaron tanto anomalías positivas como negativas, que responden a la variabilidad por zonas dentro de la misma, con un resultado neto marginalmente positivo; derivado de tendencias al alza en el Mar de Ross y negativas en los mares de Bellingshausen y Amundsen

La tendencia de las anomalías mensuales en la extensión de hielo marino de noviembre 1978 a diciembre de 2012 presenta una pendiente positiva, con un valor de 1.5 +/- 0.3% por década. De manera estacional la tendencia en el mismo indicador muestra también variaciones positivas teniendo al verano y al otoño como las estaciones con mayor valor en 2.5+/-2.0% y 3.0+/- 2.1%, respectivamente. Mientras que en invierno y primavera los valores estimados son de entre 0.7% - 1.7% y 0.5% - 1.5%, respectivamente. (IPCC, 2013: 330)

Gráfico 4. Promedio mensual de extensión del hielo marino antártico. Noviembre 1978-2016.

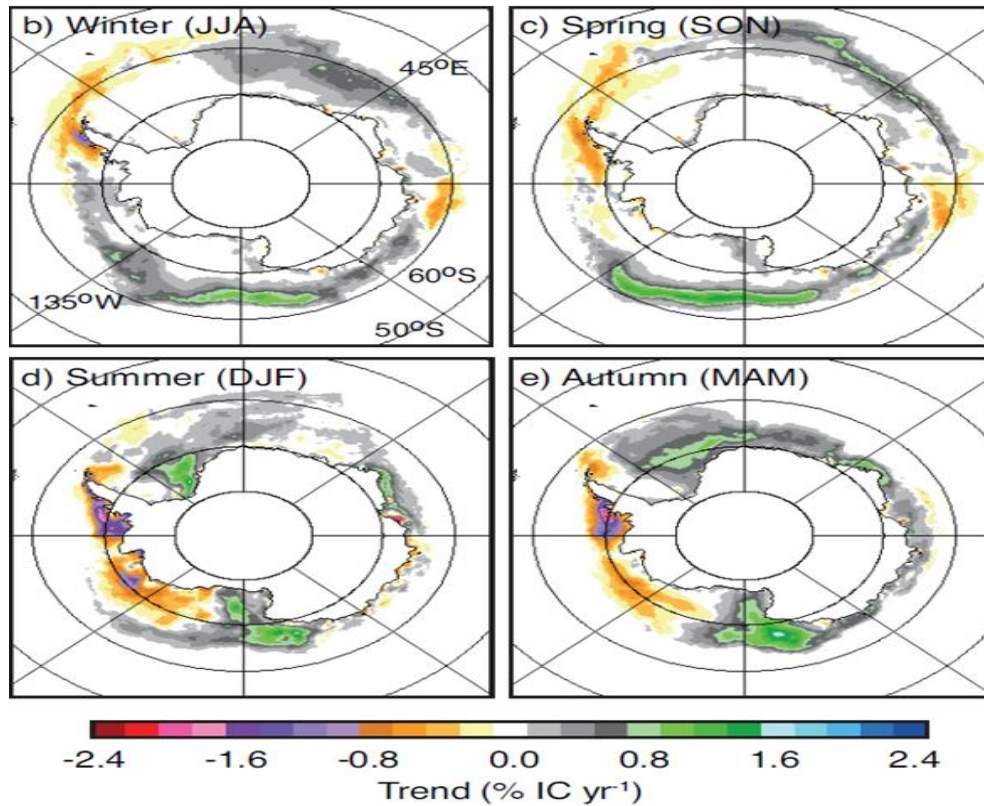


Fuente: National Snow & Ice Data Center, 2016

En el gráfico 4 se observa la tendencia de la extensión promedio mensual del hielo marino en color azul, con una pendiente positiva de 0.36% por década, sin embargo, en datos expresados por la línea negra continua se tiene el registro más bajo en noviembre de 2016

con 14.54 millones de km², lo que ubica dicho valor hasta 5.7 desviaciones estándar por debajo del promedio de 1981-2012. El promedio de largo plazo es mayor que la extensión observada en 2016 tanto al este como al oeste del continente, principalmente en el sur del Océano Índico, el oriente del Mar de Ross, Mar de Weddell y el oeste de la Península. (National Snow & Ice Data Center, 2016)

Mapa 2. Tendencia de concentración de hielo marino en polo sur. 1979-2012.



Fuente: IPCC, 2013

El mapa 2 muestra de manera geográfica los resultados de la concentración de hielo en el hemisferio sur durante 1979-2012, en concordancia con la extensión del hielo se pueden apreciar zonas con aumento en esta variable así como con disminuciones. Durante el invierno las tendencias negativas se presentan principalmente al oeste de la Península Antártica y al norte del Mar de Weddell, adicionalmente al sur del Océano Índico, los aumentos de magnitud cercana a 1.4 % en las concentraciones se encontraron al sur del Mar de Ross, pero extendiéndose desde el Mar de Bellingshausen y hasta el este del continente, además, ligeros incrementos se observaron a lo largo del norte y noreste del mismo.

Durante la primavera los incrementos tuvieron una concentración espacial similar a la del invierno; desde el norte del Mar de Amundsen y hasta las proximidades de la costa este del continente en el Mar de Mawson, incluyendo una región del norte del Mar de Weddell y hasta el Mar de la Cooperación, de forma que las tendencias negativas se ubicaron también en el oeste de la Península Antártica, al norte del Mar de Weddell y en el Mar de Davis, al oeste.

Mientras que en verano los valores negativos de la tendencia se extienden desde el este de la Península y hasta las costas del Mar de Amundsen, además de las costas del Mar de Davis, de manera que los valores más bajos se registraron al oeste de la Península y el Mar de Bellingshausen. Los valores positivos se ubicaron en el Mar de Lazarev, norte de Mar de Amundsen y con tendencias más altas en el Mar de Ross, costas del Mar de Weddell y del Mar de la Cooperación.

En otoño el patrón espacial de tendencias es similar al de verano; prácticamente desde el Mar de Weddell y hasta el Mar de Ross la costa oriental del continente presenta aumentos, principalmente en dichos mares y el Mar de los Cosmonautas. Los decrementos se encuentran mayoritariamente en el noreste de la Península y hasta secciones del Mar de Ross, sin embargo, tendencias bajas más intensas se ubican en el Mar de Bellingshausen.

El periodo 1992-2010 respecto a volumen y grosor del hielo es analizado por Holland et al (2014: 3792). Su estudio encuentra que en el tiempo referido ha habido un aumento moderado en el volumen promedio aproximado a 30 km³ de hielo por año, equivalente a 0.4% por año, lo anterior es resultado de un incremento promedio en el grosor de 1.5 mm por año, lo que equivale a 2.6 cm acumulados en todo el periodo. Además su modelo a base de altimetría de radar concuerda con las observaciones sobre un decremento en la cobertura de hielo en los mares de Bellingshausen, Weddell y Mawson, mientras existe un incremento en el mismo parámetro pero en los mares de Ross, Amundsen y de los Cosmonautas

Así como los resultados observados y analizados entorno a extensión, concentración, volumen y grosor, las observaciones del tiempo de formación de hielo también presentan resultados mixtos por región.

En el periodo de 1979, 1980-2010 y 2011, en el noroeste y oeste de la Península Antártica y en el Mar de Bellingshausen el hielo ha tardado en formarse entre 46 y 76 días más, mientras que se derrite entre 26 y 52 días antes, lo que ocasiona una disminución de entre 2.1 y 4.1 días por año en la duración de la temporada de hielo. Para el mismo periodo pero al oeste del Mar de Ross se registró una mayor duración de la presencia de hielo con 79 +/- 12 días adicionales, explicado por un comienzo de derretimiento retrasado entre 29 y 45 días y una formación más rápida de entre 36 y 50 días antes (Stammerjohn et al, 2012: 3).

Massom et al (2013: 11) encontró que pequeñas regiones costeras desde el Mar de la Cooperación y hasta el Mar de Somov presentaron una disminución de la temporada de hielo de entre 1 y 3 días de 1979-2010.

Dada las características geográficas de la Antártica, sumado a la distancia que existe entre esa región, poblaciones humanas y estaciones de monitoreo, el indicador del grosor de la capa de hielo no ha sido estimado con exactitud, (IPCC, 2013: 335).

- **Glaciares**

Los glaciares son una masa de hielo que sufre procesos de recristalización y compactación sobre una porción de la superficie terrestre donde es proclive a acumularse, provocan erosión en el suelo al igual que los ríos, pero con la diferencia de que su velocidad de desplazamiento

es drásticamente menor. Forman parte del ciclo hidrológico y el geológico. (Tarbuck, 2005: 506)

El proceso de formación de hielo ocurre principalmente por la precipitación en forma de nieve o el congelamiento de agua líquida previa, mientras que la pérdida de masa es causada principalmente por el derretimiento de la superficie, la pendiente donde se encuentran y sublimación en áreas secas. Los anteriores son factores relacionados con las condiciones atmosféricas del lugar, así como la topografía, resultando entonces los glaciares en indicadores de cambios en el sistema climático.

Tabla 2. Clasificación de Regiones usadas en IPCC 2013, características y pérdida de masa. 2003-2009.

Región	Nombre	Número de glaciares	Área Km2	Área relativa	NME mm	tasa de pérdida kg/m2 año
1	Alaska	23,112	89,267	12.3%	54.7	-570+-200
2	Oeste de Canadá y EU	15,073	14,503.5	2.0%	2.8	-930+-230
3	Norte del Ártico de Canadá	3,318	103,990.2	14.3%	84.2	-310+-40
4	Sur del Ártico de Canadá	7,342	40,600.7	5.6%	19.4	-660+-110
5	Groenlandia	13,880	87,125.9	12.0%	38.9	-420+-70
6	Islandia	290	10,988.6	1.5%	9.8	-910+-150
7	Svalbard	1,615	33,672.9	4.6%	19.1	-130+-60
8	Escandinavia	1,799	2,833.7	0.4%	0.6	-610+-310
9	Ártico ruso	331	51,160.5	7.0%	41.2	-210+-80
10	Norte de Asia	4,403	3,425.6	0.5%	0.5	-630+-310
11	Europa Central	3,920	2,058.1	0.3%	0.3	-1,060+-170
12	Cáucaso	1,339	1,125.6	0.2%	0.2	-900+-160
13	Asia Central	30,200	64,497	8.9%	16.7	-220+-100
14	Suroeste asiático	22,822	33,862	4.7%	9.1	-220+-100
15	Sureste asiático	14,006	21,803.2	3.0%	3.9	-220+-100
16	Latitudes bajas	2,601	2,554.7	0.4%	0.5	-1,080+-360
17	Andes	15,994	29,361.2	4.0%	13.5	-990+-360
18	Nueva Zelanda	3,012	1,160.5	0.2%	0.2	-320+-780
19	Antártica y sub-Antártica	3,274	132,267.4	18.2%	96.3	-50+-70

Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC, 2013 y Gardner et al, 2013.

Existen dos tipos principalmente, los que se encuentran en las zonas de más altitud (glaciares alpinos) y los que se presentan en las regiones de mayor latitud (glaciares de casquete), sin embargo, cuando una parte del glaciar sobresale de la superficie continental, estando aún unido al resto sobre tierra se conoce como plataforma glaciar.

En IPCC (2013: 335) se divide la exposición de resultados de este componente de la criósfera, incluyendo como glaciares a las plataformas glaciares y a los glaciares alpinos, mientras que los glaciares de casquete en los polos son llamados capas de hielo.

De acuerdo a la misma institución, el número estimado de glaciares con mayor exactitud es de 170,000, con un área total de 730,000 km², cerca de 80% de esta superficie se encuentra en las regiones de la Antártica, Región Ártica de Canadá, Altas montañas de Asia, Alaska y Groenlandia; junto con las anteriores se han agrupado un total de 19 regiones alrededor del mundo con presencia de glaciares.

La tabla 2 muestra las regiones con sus respectivas contribuciones al nivel de mar equivalente (NME) y la tasa de pérdida en kilogramo por metro cuadrado en un año, para el periodo 2003-2009. La región con mayor número de glaciares es 13 en Asia Central ya que incluye los glaciares alpinos encontrados en la cordillera del Himalaya, sin embargo la extensión más alta se encuentra en la región 19 con 132,267.4 km² en la Antártica. Las regiones 1, 3, 5 y 19 contribuyen al área total con el 56.8%, refiriéndose principalmente a plataformas glaciares en los polos.

De acuerdo con la última columna de la tabla anterior todas las regiones experimentaron una disminución de la masa de hielo en el periodo, con las pérdidas más importantes en las regiones 2, 6, 11, 16 y 17, con alrededor de 1 tonelada por km² perdida. La región 19 presenta pérdidas registradas bajas debido a la poca información existente.

Dentro de los cambios observados en la longitud de aproximadamente 500 glaciares se encontró que existe una tendencia negativa, es decir estos han retrocedido, sin embargo, existen variaciones dentro de las regiones donde se encuentran; de manera general el decremento en las zonas de valle y de latitudes medias es de entre 5 y 20 metros por año, mientras que retrocesos de más de 100 metros son ocasionados en condiciones particulares, como la pérdida total de tundra. Aun con lo anterior se han registrado periodos de estabilidad en la longitud en algunas regiones en las décadas de 1920, 1970 y 1990. (IPCC, 2013: 338)

Gardner et al (2013: 1) concluye que en el periodo citado la pérdida de hielo total fue de aproximadamente -259 +- 28 gigatonnes al año y de acuerdo con IPCC, 2013: 342 las regiones 3, 4, 1, 5, 17, 13- 15 contribuyeron con más del 80% de la pérdida total de hielo en glaciares, destacando que la tasa de disminución de masa se ha incrementado desde la década de 1960.

Cabe destacar que existe incertidumbre al momento de hacer dicho cálculo, ya que se supedita a la información disponible sobre la atomización de un glaciar, la estimación de la masa y extensión de las plataformas glaciares, además del volumen y masa mínimos requeridos para contabilizarse. Por esta razón se han usado distintos métodos para calcular parámetros y variables relacionadas con los glaciares, ya sea usando mapas, fotografía aérea, mediciones directas y más recientemente con el uso de satélites.

- **Capas de hielo (Groenlandia y Antártica)**

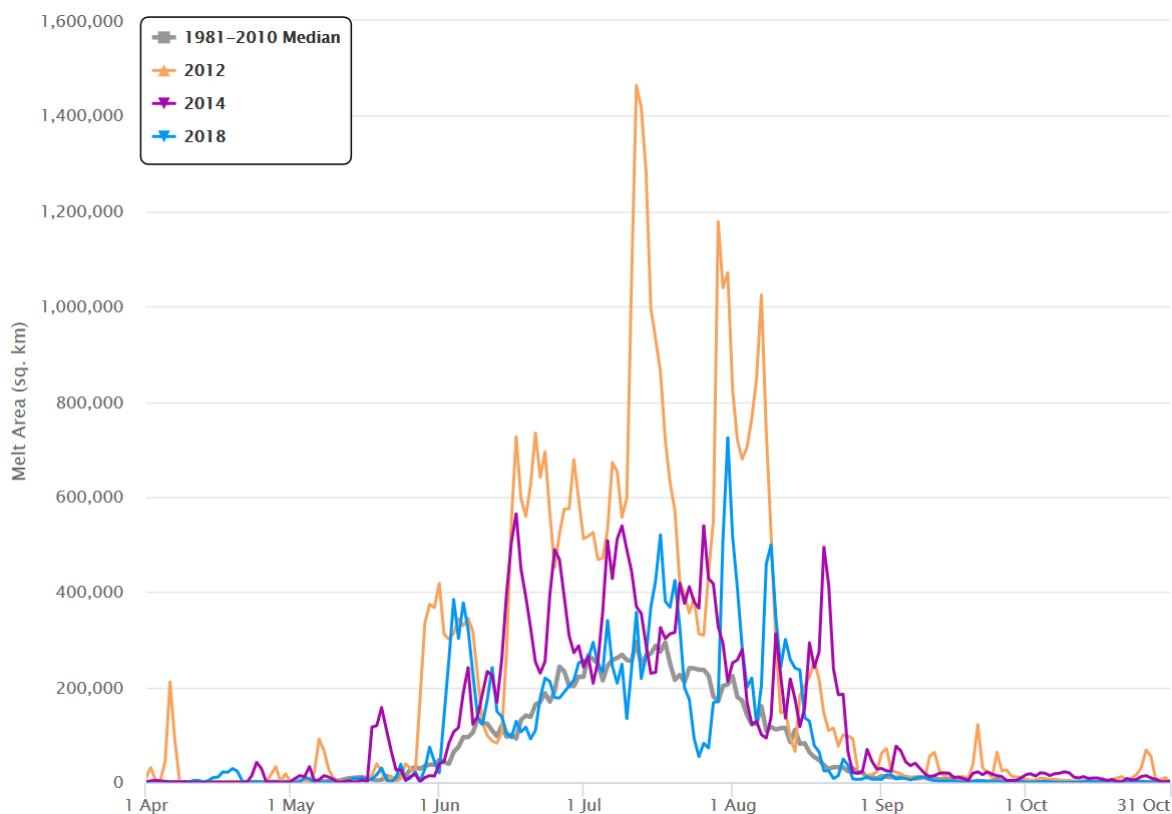
Actualmente sólo existen 2 capas de hielo en el planeta en el polo norte y el polo sur, Groenlandia y la Antártica, respectivamente, estas se refieren al hielo que cubre la masa

continental terrestre. Su importancia radica en el balance de masa de hielo en el planeta, la refracción de energía y su contribución al nivel del mar.

De acuerdo con el análisis realizado por IPCC (2013: 350) a partir de estudios individuales de altimetría, gravimetría y equilibrio de masa, Groenlandia ha experimentado una pérdida en la capa de hielo desde 1993 a 2010 de 121 millones de toneladas, lo que equivale a un aumento del nivel del mar de entre 0.41 y 0.26 mm por año, mientras que entre 2005 y 2010 la pérdida promedio fue de 229 millones de toneladas equivalentes a un promedio de 0.63 mm por año de incremento del nivel del mar.

Shepher et al (2012: 10) promedia la información de diversos estudios con información existente en el periodo de 1992 a 2011 para obtener un resultado de una pérdida de masa de entre 93 y 191 millones de toneladas lo que equivale a 0.39 ± 0.14 mm por año del nivel del mar.

Gráfico 5. Extensión de la superficie derretida en Groenlandia.



Fuente: National Snow and Ice Data Center, 2019.

En el gráfico 5 podemos observar los registros de superficie que se ha derretido de manera diaria para el promedio de 1981-2010 en línea gris, datos de 2012 en amarillo, 2014 en morado y 2018 en azul. Se observan además los patrones estacionales de derretimiento, con los máximos en verano, aclarando que durante invierno el registro se suspende, de manera que los mínimos estarían dados en otoño. Respecto a la media 1981-2010 los años

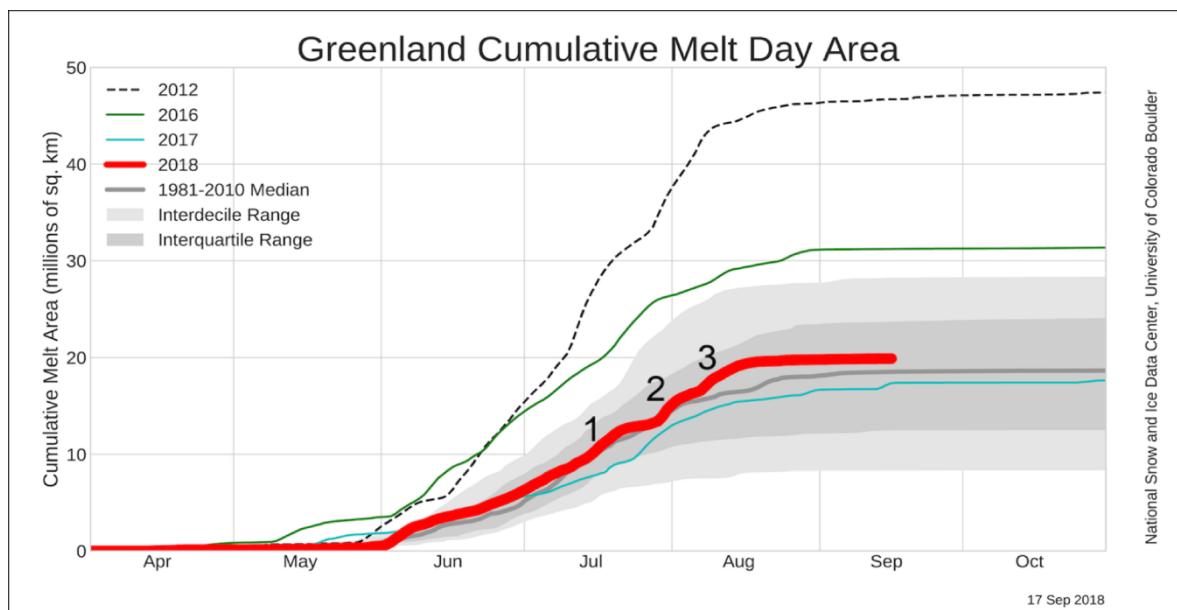
seleccionados presentan valores más inestables pero más altos durante la temporada de derretimiento.

En 2012 se presentó un evento de derretimiento masivo a lo largo del año, teniendo los registros más alto en el gráfico, con un máximo de 1,464,000 km² capturado el 11 de julio de dicho año, sin embargo, hubo también 2 máximos locales el 28 de julio y el 6 de agosto con derretimientos de 1.78 millones de km² y 1.02 millones de km², respectivamente. Este año presenta además la variabilidad más alta, explicada por la diferencia de superficie en los días.

En 2014 el máximo de superficie resultó en 564,000 km² para el 17 de junio, desde ese punto y hasta agosto 20 se encuentra la temporada de derretimiento. El máximo registrado en 2018 contó con 724,000 km² de superficie derretida, mostrando alta correlación con días similares del año 2012, mientras que una baja no típica se encuentra en julio 25, con 54, 000 km², contrastando con los 236, 562.5 km² del promedio 1981-2010.

El gráfico 6 muestra la suma del área diaria que experimenta derretimiento en millones de km² de años seleccionados y hasta 15 de septiembre de 2018. En concordancia con el gráfico 5 se observa que la superficie acumulada en 2012 es la más alta llegando a valores cercanos a los 50 millones para el final del periodo y con una pendiente más pronunciada entre mayo y agosto, llegando a estabilizarse a final del registro, lo que indica un derretimiento cercano a 0 en los últimos días. En 2016 el tiempo de derretimiento se adelantó a comparación de los años seleccionados.

Gráfico 6. Área derretida acumulada de Groenlandia. Abril- Octubre.

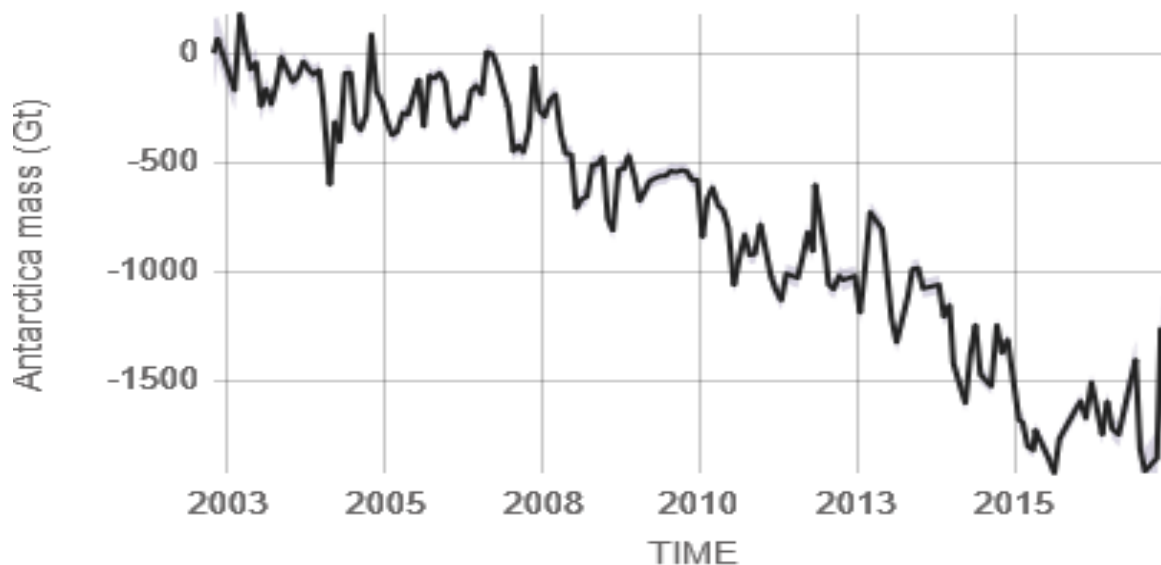


Fuente: National Snow and Ice Data Center, 2019.

Mientras que en la Antártica IPCC (2013: 253) establece una pérdida promedio de la masa de la capa de hielo de entre 135 y 58 millones de toneladas al año para el periodo 1993-2010,

con un equivalente promedio de 0.27 mm de nivel del mar. Por otro lado Shepherd (2012) estima que para lapso de 1992 a 2011 la pérdida promedio de hielo fue de entre 124 y 18 millones de toneladas por año, representando entre 0.05 mm y 0.35 mm de nivel del mar.

Gráfico 7. Variaciones de masa en la capa de hielo de la Antártica. 2002- 2017.



Fuente: NASA, 2019.

La tendencia negativa en el balance de masa de hielo en la Antártica es mostrada en el gráfico 7, con un valor de 127 ± 39 millones de toneladas al año, teniendo una formación de hielo máxima promedio de 179 millones de toneladas en septiembre de 2002, mientras que la pérdida más alta registrada corresponde al 15 de agosto de 2015 con un promedio de 1,924 millones de toneladas menos. Aun con una clara tendencia a la baja, no se distingue un patrón de estacionalidad marcado en la serie.

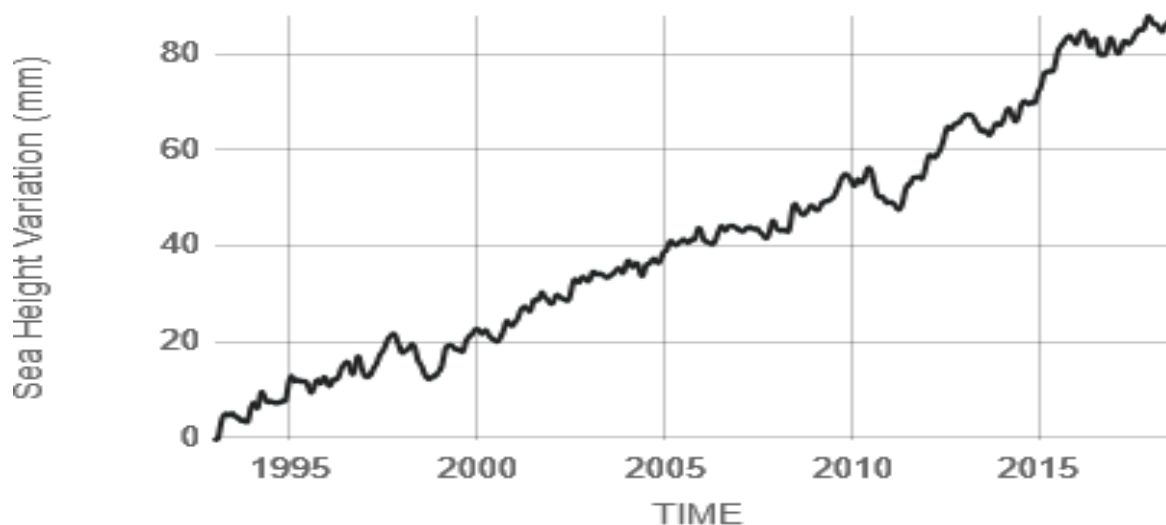
1.2.1.4. Nivel del mar

Existen distintas formas de definir el nivel del mar, una de ellas se refiere a la altura del mar respecto de la superficie sólida de tierra, llamándose nivel del mar relativo (NMR), el cual es frecuentemente usado para medir el impacto del cambio del nivel del mar a nivel de costa. Una segunda forma es medirlo respecto a un centro terrestre nombrado nivel del mar geocéntrico (NMG). Si usamos un promedio temporal de una ubicación específica para medir el nivel del mar, obtendríamos el nivel del mar promedio (NMP), al integrar los NMP de distintas áreas del planeta se obtiene el nivel del mar global promedio (NMGP), siendo el NMP el más importante y el más usado en las investigaciones. (Tarbuck et al, 2005: 50)

Esta variable es un indicador del sistema climático, ya que es afectada por distintos fenómenos: derretimiento de glaciares, de capas de hielo, ciclo hidrológico, propiedades del océano y como depósito de energía, afectando su temperatura y volumen. Sin embargo, existe una gran variabilidad debido a factores locales y a la variabilidad intrínseca de los fenómenos

listados anteriormente, de forma que se pueden presentar eventos de corta duración o de largo plazo en el nivel del Mar. Las acciones antropogénicas que causen anomalías en el ciclo hidrológico pueden tener un impacto sobre el nivel del mar, ya sea por deformaciones geológicas que conlleven a verter más agua sobre los océanos, extracción de agua subterránea, presas o sistemas de irrigación. (Wada et al, 2010: 3)

Gráfico 8. Variaciones de la altura del nivel del mar (NMGP). 1993-2018.



Fuente: NASA, 2019.

El gráfico 8 expone los registros satelitales de las anomalías del nivel del mar, mostrando una clara tendencia positiva desde el inicio de las misiones. El valor es de un aumento 3.2 mm por año sobre el NMGP, con puntos máximos de 87.8 mm de variación en septiembre de 2018 y noviembre de 2017. La serie comienza en el registro del nivel del mar a partir de altimetría con satélites.

El derretimiento implica un aumento en la cantidad de agua líquida existente y que puede llegar a los océanos. De acuerdo a IPCC (2013: 344) al analizar las series de tiempo sobre de masa y la densidad tomada por consenso sintetiza resultados por periodos.

Tomando en cuenta únicamente los glaciares en la región 5 (Groenlandia) la tasa de pérdida de masa anual contribuyó al aumento equivalente del nivel del mar entre 0.10 mm y 0.20 mm por año de 1901-1990, para 1971-2009 la contribución se ubicó entre 0.03 mm y 0.09 mm por cada año, mientras que en el periodo 2003-2009 dicha aportación fue de 0.10 mm +/- 0.02 mm al año.

Al considerar todos los glaciares excepto la región 5 y 19 (Ártico y Antártica) para los periodos mencionados en el párrafo anterior las contribuciones fueron: 0.54 +/- 0.07 mm, 0.62 +/- 0.37 mm y 0.59 +/- 0.07 mm, respectivamente.

1.2.1.5 Eventos Extremos

La definición de eventos extremos está dada por IPCC (2013:1454) siendo:

Un evento extremo del clima es un evento que es raro en un lugar y periodo del año específico. Definiciones de “raro” varían, pero un evento de clima extremo sería normalmente raro o más raro que el décimo percentil o percentil 90 de una función de densidad de probabilidad estimada de las observaciones.

Los ámbitos desde donde se miden los eventos extremos abarcan: temperatura (días/noches frías o calientes), ondas de calor, precipitación extrema y aridez.

De acuerdo con Donat et al (2013: 7) la superficie continental del planeta ha sufrido un aumento en los máximos y mínimos de temperatura durante el día desde 1950.

Dado que pueden existir distintas definiciones de “extremos” en los estudios, pueden existir distintas formas de medirlos que no necesariamente son compatibles o comparables con otras regiones o climas, sin embargo los índices son instrumentos frecuentes en la investigación, que ayudan a la comparación y al análisis estadístico.

La tabla 3 muestra cuatro índices de extremos en temperatura para dos periodos distintos y con 3 bases de datos diferentes. TN10p equivale a la fracción de tiempo donde la temperatura mínima se encuentra en el primer 10% de la escala, TX10p identifica los días (o una fracción de tiempo) que poseen una temperatura máxima también dentro del primer decil. Mientras que TN90p se refiere al tiempo en que el mínimo de la temperatura se ubica dentro del penúltimo decil y hasta el rango superior. Por otro lado TX90p concierne al tiempo en dicha temperatura máxima se encuentra a partir del 90% del registro.

En la misma tabla se pueden apreciar que en los días y noches frías han disminuido para todas la bases de datos, siendo HadGHCND la que presenta variaciones más bajas en la tendencia con entre 3.8 % y 5.2 % de tiempo con temperaturas inferiores al 10% para 1951-2010, dicho intervalo es mayor que para el siguiente periodo en todas las bases de datos, sin embargo el promedio de 1979-2010 es más alto que su contraparte.

En los días fríos las bases de datos también muestran una disminución por década, para el periodo 1951-2010 esta variación es menor que para 1979-2010 en las 3 bases, lo que muestra una intensificación de la tendencia a la baja, además muestra que en ambos periodos TN10p es mayor, indicando que las noches frías han variado más que los días fríos.

Tabla 3. Tendencias estimadas para valores globales de noches frías (TN10p), días fríos (TX10p), noches cálidas (TN90p) y días cálidos (Tx90p), porcentaje por década.

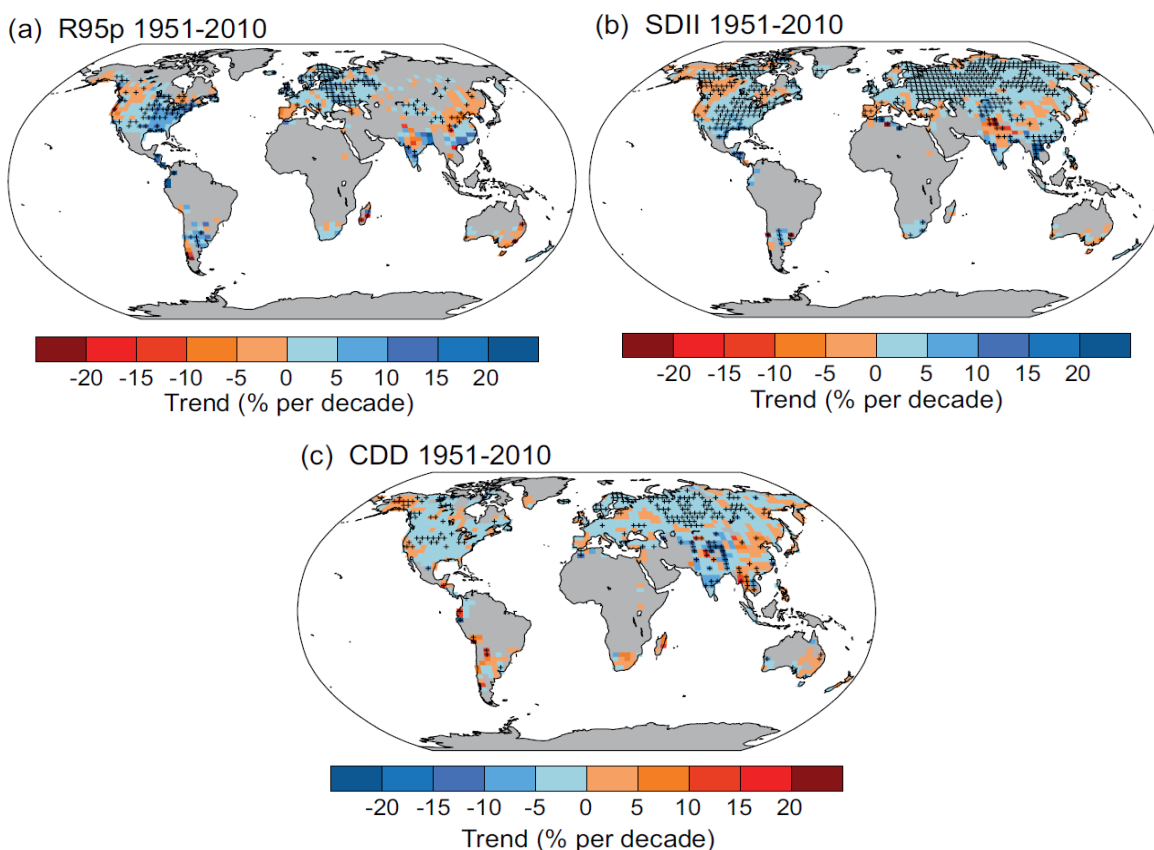
	TN10p		TX10p		TN90p		TX90p	
Base	1951-2010	1979-2010	1951-2010	1979-2010	1951-2010	1979-2010	1951-2010	1979-2010
HadEx2	-3.9+-0.6	-4.2+-1.2	-2.5+-0.7	-4.1+-1.4	4.5+-0.9	6.8+-1.8	2.9+-1.2	6.3+-2.2
HadGHCND	-4.5+-0.7	-4.0+-1.5	-3.3+-0.8	-5.0+-1.6	5.8+-1.3	8.6+-2.3	4.2+-1.8	9.4+-2.7
GHCNDEX	-3.9+-0.6	-3.9+-1.3	-2.6+-0.7	-3.9+-1.4	4.3+-0.9	6.3+-1.8	2.9+-1.2	6.1+-2.2

Fuente: IPCC, 2013.

Las temperaturas máximas en las noches cálidas han experimentado una variación contraria en la tendencia, de manera que se han aumentado las noches con temperaturas sobre el 90% de la distribución, con la variación más baja de 4.3 ± 0.9 %. Al comparar TN90p con TX90p se aprecia que también las noches cálidas han tenido una variación más pronunciada que los días cálidos en el primer periodo, sin embargo, TX90p se ha incrementado más en el segundo periodo, mostrando mayores temperaturas durante el día.

No todas las regiones poseen suficiente información temporal para poder ubicar la ocurrencia de eventos extremos, de tal manera que los resultados difieren en cantidad respecto al espacio donde se presentan. A saber, en Norteamérica y especialmente en Norteamérica Central los incrementos en intensidad y frecuencia de precipitación extrema se han hecho presentes desde el inicio del siglo XX. En el caso de Sudamérica las investigaciones indican que también ha habido incrementos en la frecuencia e intensidad de los eventos de lluvias extremas. (Donat et al, 2013a: 1002)

Mapa 3. Tendencia anual de la cantidad de días con precipitación mayor al 95%, intensidad de precipitación diaria y frecuencia máxima de días secos consecutivos. 1951-2010.



Fuente: IPCC, 2013.

Para Europa y el Mediterráneo las variaciones estacionales y regionales son más notorias, teniendo incrementos en los eventos durante invierno, pero con disminuciones de las tendencias en costas del Mediterráneo, norte de Italia y Polonia. Mientras que para el sudeste

asiático y Oceanía existe baja confianza, condicionada por la falta de información suficiente en toda la región, sin embargo, es probable que existan más regiones con incrementos que con decrementos; una disminución en las tendencias también es apreciado en el sur de Australia. (IPCC, 2013: 211)

El mapa 3 muestra en el panel (a) precipitación extrema de días húmedos (R95p), este índice hace referencia a los milímetros de precipitación cuyo valor es mayor al percentil noventa y cinco; se puede observar que la tendencia muestra una variación positiva en regiones del centro y este de Norteamérica y en Europa central y oriental, mientras que las disminuciones se concentran en el Oriente de América del Norte, la Península Ibérica, noroeste de China y sureste de Australia.

El panel (b) muestra el Índice Simple de Intensidad Diaria (SDII por sus siglas en inglés) que expresa la relación entre la precipitación total y el número de días con precipitación \geq que 1 mm, puede expresarse en días o milímetros. Este panel muestra concordancia con (a) del mismo mapa, ya que En el caso de Asia, excepto parte la India, Siberia y China, se he presentado un aumento en la tendencia de este índice, lo que indica un número mayor de milímetros presentados en el día. Alaska, Oeste de Canadá y Noroeste de Estados Unidos muestran una ligera variación negativa en sus tendencias en el periodo desde mediados del siglo XX.

El panel (c) muestra la distribución espacial del número de días secos consecutivos, es decir, el máximo número de días consecutivos con precipitación menor a 1 mm. Este panel muestra mayor variabilidad espacial dentro de las regiones pero siguiendo el patrón similar de R95p y SDII, ya que los incrementos de este indicador se pueden encontrar principalmente en el sureste de Australia, Alaska, Oeste de Estados Unidos, Norte de Argentina, Sudáfrica, península Ibérica, Sudeste asiático y el interior de China.

De manera general, al hablar de fenómenos relacionados con tormentas tropicales la información se soporta en el inicio de mediciones con el uso de satélites, lo que limita la cantidad de información. La tendencia en la intensidad y frecuencia de ciclones tropicales ha experimentado aumentos en el Atlántico Norte desde 1970 (Kossin et al, 2007: 4). Sin embargo, a escala global no hay significancia estadística en cambios en la tendencia de la frecuencia de dichos eventos en los últimos 100 años (IPCC, 2013: 217).

En eventos relacionados con tormentas extra tropicales la falta de consistencia en las bases de datos, de métodos, resultados y significancia estadística no permite realizar análisis en los cambios de la tendencia de frecuencia o intensidad de fenómenos ocurridos.

1.2.2. Causas del Cambio Climático

Dentro del sistema climático de la tierra existen factores externos e internos que inciden directamente en la temperatura de la superficie de la tierra, de acuerdo a la figura 1 estos son la incidencia solar (externo) y la atmósfera (interno).

La atmósfera se refiere a una capa de gas que rodea a la Tierra, un medio en el cual interactúan diversos efectos dando lugar a procesos químicos, como el intercambio de energía espacio-

atmósfera-superficie. Proporciona aire y hace de protección ante la radiación solar (Tarbuck et al, 2005: 656).

Consiste mayoritariamente de nitrógeno (N_2) con 78.08% de su composición, mientras que el 20.95% lo ocupa el oxígeno (O_2), el resto está compuesto por gases como el argón (Ar) (0.934%), helio (He) (0.000524%), neón (Ne) (0.001818%), kriptón (Kr) (0.000114%), xenón (Xe) (0.0000087%) y gases traza, sin embargo se presentan también nubes y aerosoles. Típicamente la concentración de dióxido de carbono promedia 0.037%, mientras el vapor de agua fluctúa entorno al 1% (Manahan, 2007: 354).

De manera que la temperatura se ve afectada por la energía que recibe la Tierra del Sol y la composición de los gases de la atmósfera, principalmente. Las modificaciones en el balance entre la energía que ingresa y la que sale del sistema (forzamiento radiativo) pueden ser causadas, entre otras, por variaciones en la energía proveniente del Sol, cambios en la capacidad de reflexión de la atmósfera y la superficie terrestre y cambios en la proporción de GEI presentes.

Los GEI son un grupo de gases presentes en la atmósfera que tienen la capacidad de retener la energía que es reflejada por la superficie terrestre, nubes y la misma atmósfera. Dentro de ellos se encuentran principalmente son vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (NO_2), metano (CH_4) y ozono (O_3), los gases que fueron introducidos a partir de la actividad humana incluyen una diversidad de halocarbonos, sustancias de cloro y bromo, hexafluoruro de azufre, hidrofluorocarbonos y perfluorocarbonos (IPCC, 2013: 166).

Su concentración propicia aumentos en la temperatura superficial, ya que dicha energía no es capaz de salir al espacio exterior o la razón a la que puede perderse calor disminuye, a este efecto se le conoce como “Efecto Invernadero”.

Estos gases han existido de manera natural a través de la historia del planeta y su concentración ha fluctuado a lo largo de millones de años, sin embargo, cambios recientes en su concentración y la temperatura no pueden explicarse por fenómenos naturales, lo que hace probable las acciones antropogénicas como causas de las mismas. (IPCC, 2013: 664)

Los cambios en la proporción de GEI en la atmósfera pueden provocarse por diversos factores que pueden ir desde fenómenos naturales (erupciones volcánicas), hasta emisiones por el uso de combustibles fósiles y cambios en el uso de tierra. Cabe mencionar que la misma variabilidad de la temperatura puede amplificar cambios en la concentración de GEI a través del derretimiento o formación de glaciares. (EPA, 2017)

1.2.2.1. Combustibles fósiles

Los combustibles fósiles son un “término general para designar cualquier hidrocarburo que pueda utilizarse como combustible, entre ellos el carbón, petróleo, gas natural, arenas asfálticas y lutitas bituminosas” de acuerdo con Trabuck et al (2005: 658)

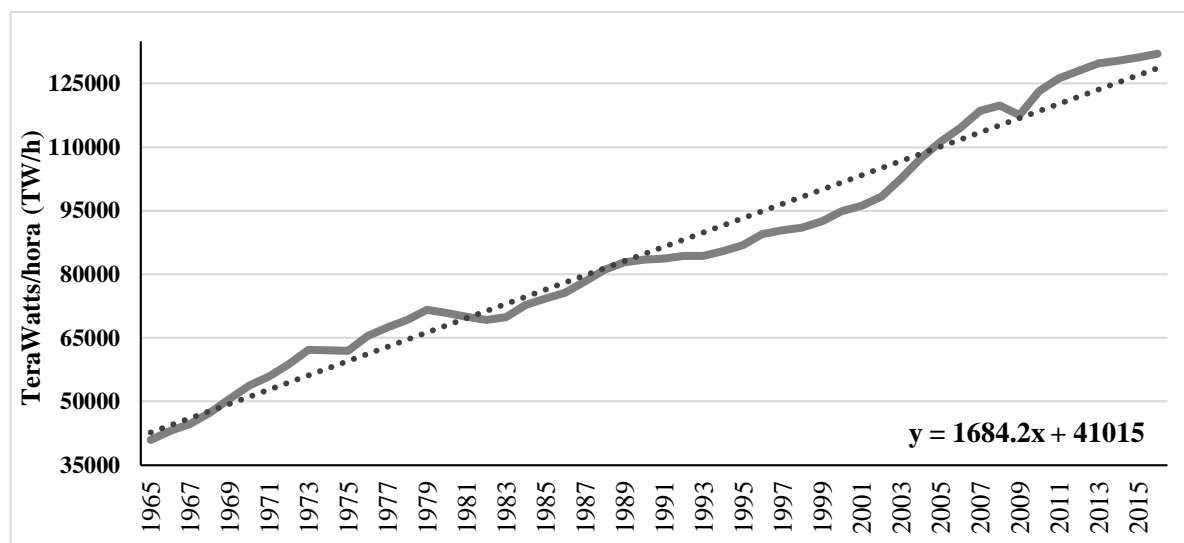
Al respecto, IPCC (2013: 1454) menciona que las emisiones de combustibles fósiles son: “emisiones de gases de efecto invernadero (en particular dióxido de carbono), otros gases

residuales y aerosoles resultantes de la combustión de combustible de depósitos de carbono de fósil, como petróleo, gas y carbón”

Los factores que determinan la cantidad de emisiones a nivel global incluyen consumo, comercio internacional, crecimiento poblacional, crecimiento económico, transformación a una economía basada en servicios y consumo de energía. No son factores separados, se interrelacionan y se conectan unos con otros, sin embargo su importancia radica en la escala de análisis y su nivel de desagregación para determinar su contribución a las emisiones.

Una forma de analizar los factores de manera agregada es estudiar las tendencias observadas de las emisiones de GEI más importantes y compararlas respecto a su concentración en niveles previos a la era industrial, definiendo el año 1750 como tal y cuyo estudio parte de investigaciones con cilindros extraídos de capas de hielo.

Gráfico 9. Consumo de combustibles fósiles totales. 1965-2016.



Fuente: Ritchie y Roser, 2019.

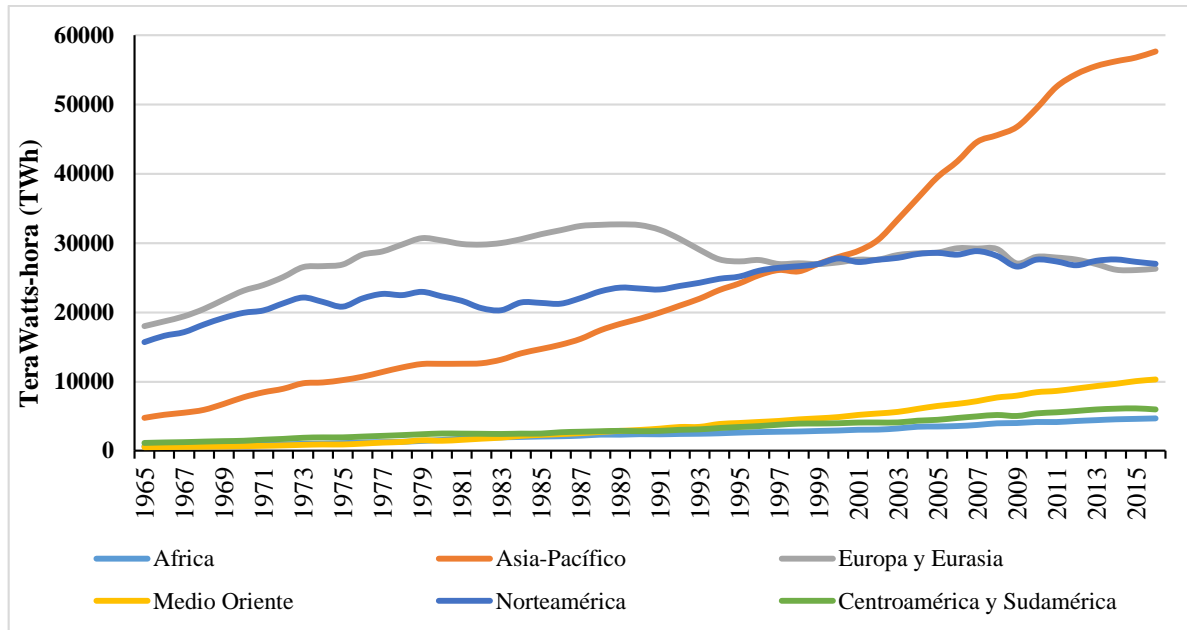
El consumo de combustibles fósiles totales que se consumieron de manera global desde 1965 hasta 2016 se muestra en el gráfico 9. La serie presenta una tendencia al alza en todo el periodo y con un aumento de 1,684.2 TW/h en cada año, con un 99% de significancia estadística, lo que indica que cada año se demanda más energía para las actividades humanas y aunque de manera proporcional a todos los energéticos los combustibles fósiles sigan a la baja, todavía tienen peso de manera absoluta.

El consumo más alto de combustibles fósiles se presenta en la zona Asia-Pacífico, liderada por China y contrasta con las tendencias en magnitud del resto de las regiones con un aumento significativo de 1,028.47 TW/h cada año, alcanzando un máximo en el último registro de la serie con 57,698.06 TW/h, lo que se observa del gráfico 10.

Siguiendo la misma figura se observa que la región de Norteamérica, Europa y Eurasia alcanzan su tope de demanda en el año 1989 con 32,727.00 TWh y en 2007 con 28,811.08

TWh, respectivamente. En ese mismo año su trayectoria se ha tornado a la baja en Norteamérica, mientras que un año después Europa y Eurasia ha mostrado una tendencia a similar. Sin embargo, el valor de la tendencia de 77.88 TWh para dicha región no posee significancia; de manera contraria, para Norteamérica el valor de 212.26 TWh si tiene esta característica.

Gráfico 10. Consumo de combustibles fósiles totales por región. 1965-2016.



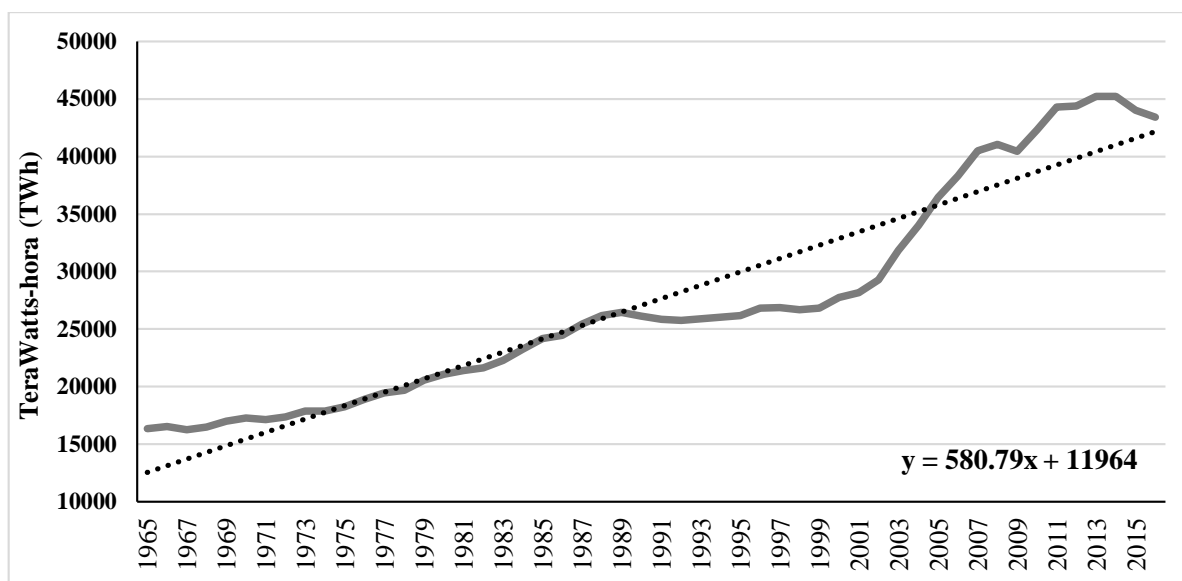
Fuente: Ritchie y Roser, 2019.

El resto de las regiones presenta consumos menores a comparación de sus contrapartes y con una ligera tendencia al alza expresada por magnitudes de 80.55 TWh, 190.42 TWh y 94.57 TWh para África, Medio Oriente y Centro y Sudamérica, respectivamente. El resultado de la regresión indica significancia para dichos estadísticos. Lo anterior resalta en el gráfico 10, con estas regiones más cercanas al eje de las abscisas durante el periodo referido.

Si bien de manera conjunta el consumo de combustibles fósiles en valores absolutos presenta una tendencia positiva, al explorar estos por separado sus comportamientos y tendencias son distintas. Los componentes analizados son: carbón, petróleo y gas natural.

El carbón mineral es una roca sedimentaria, con altas cantidades en carbono (C) pero con presencia variable de otras especies como azufre (S), oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2), e hidrógeno (H_2). Se forma por el proceso de carbonificación a partir de descomposición de materia orgánica acumulada en pantanos, lagunas o áreas marinas de poca profundidad, con condiciones de presión y temperatura altas durante largos periodos que producen enriquecimiento en carbono. Se utiliza para producción energía eléctrica, cemento y siderurgia. Existen 2 tipos principalmente carbón lignítico y carbón antracítico. (Subsecretaría de Minería, 2017: 6)

Gráfico 11. Consumo total de carbón mineral. 1965-2016.



Fuente: Ritchie y Roser, 2019.

En el gráfico 11 se muestra el comportamiento que ha experimentado el consumo global de carbón mineral desde 1965 y hasta 2016. Existe una tendencia lineal positiva significativa con aumentos de 580.79 TWh por año.

Una desviación estándar de 9,246.29 TWh es representada por los movimientos que sufre la serie a partir de 1990 donde después de ese año la producción alcanza un mínimo de 25,754.67 TWh en el año de 1992, mostrado en la zona por debajo de la línea de tendencia. El ciclo alcista se termina en 2014, para comenzar un periodo de reducción a partir de dicho año. Es de notar que en 2008 la serie presenta un punto de inflexión en el consumo al pasar de 41,035.15 TWh a 40,427.32 TWh para la observación siguiente.

El petróleo es un líquido aceitoso compuesto por hidrocarburos, formado de la descomposición de materia orgánica, se puede encontrar líquido, sólido o gaseoso dependiendo de los cambios en la presión y la temperatura así como en lechos marinos o continentales. Es más liviano que el agua y puede ir de tonalidades amarillas, rojas, verdes y negras, contiene entre 83% y 87% de C y 11% y 14% de H_2 , sin embargo, puede tener impurezas mezcladas como sulfatos, azufre, oxígeno o agua salada. De acuerdo a su estructura molecular y el número de átomos de C puede ser usado como combustible. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).

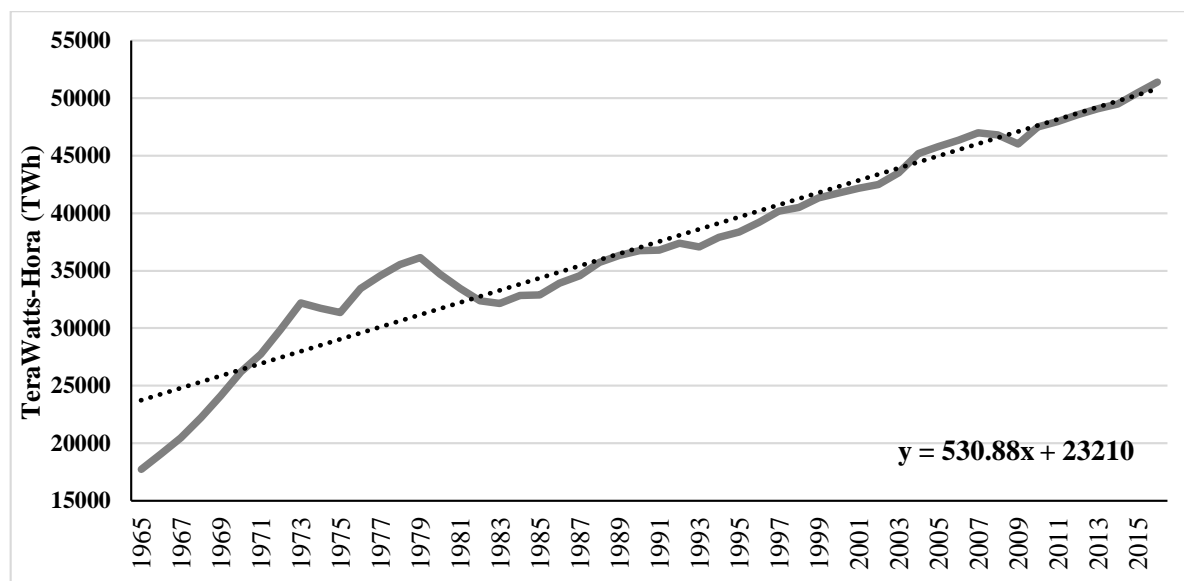
El comportamiento del consumo global de petróleo durante 1965-2016 se encuentra representado en el gráfico 12. La tendencia lineal para todo el periodo es de 530.88 TWh por año, obtenida por mínimos cuadrados ordinarios y con significancia estadística.

La serie presenta dos momentos contrastantes. El primero desde el inicio de las observaciones y hasta 1982, donde se aprecia un alza más pronunciada y distanciamiento de la línea de tendencia, este periodo alcanza su máximo en 1979 con 36,132.25 TWh, año que coincide

con la crisis petrolera mundial, a partir de ese punto el consumo se contrae pero se estabiliza en torno a su tendencia y continúa su camino creciente.

Lo anterior se constata al observar los puntos distribuidos sobre la línea de tendencia en el segundo periodo, con desviaciones estándar cercanas pero distintas calculadas en 5,816.32 TWh y 5,638.99 TWh para el primer y segundo periodo, respectivamente.

Gráfico 12. Consumo total de Petróleo. 1965-2016.



Fuente: Ritchie y Roser, 2019.

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos que se extrae del subsuelo, generalmente aparece ocupando la parte superior de los yacimientos. Se forma por la descomposición de materia orgánica enterrada por capas de sedimento por millones de años, en un proceso similar a la formación de petróleo.

En condiciones estándar de temperatura y presión se presenta de forma gaseosa, incoloro, inodoro e insípido. Antes de ser procesado puede contener típicamente: metano (CH_4), etano (C_2H_6), propano (C_3H_8), butano (C_4H_{10}), pentanos (C_5H_{12}), cadenas más largas de hidrocarburos, impurezas como: nitrógeno (N_2), dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S) y agua (H_2O). Sin embargo, el gas natural comercial está compuesto por un 95% aproximadamente de CH_4 , además de Etil Mercaptano, un aditivo cuya función es dotarlo de olor característico como medida de seguridad (PEMEX Gas y Petroquímica Básica, 2015).

Es considerado un energético limpio dada la cantidad menor de emisiones de CO_2 que genera en comparación con el petróleo o el carbón mineral y que tiene el potencial de sustituirlos en el mediano plazo.

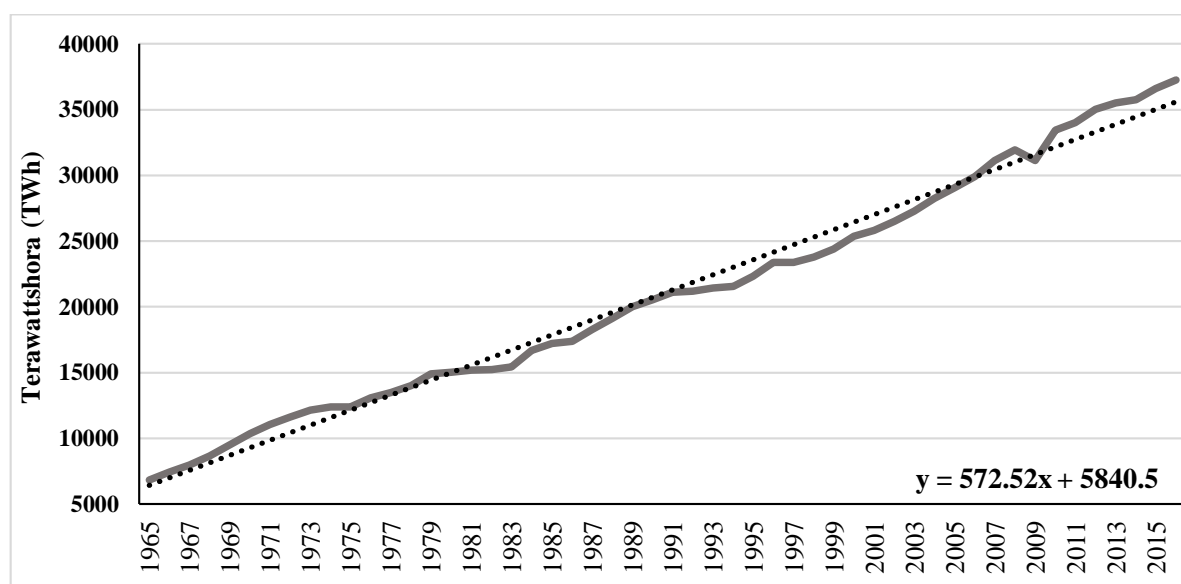
El consumo mundial de gas natural en el periodo comprendido entre 1965 y 2016 se expresa en el gráfico 13. La tendencia lineal calculada para esta variable es de 572.52 TWh, con

significancia al 99%, el comportamiento de la serie se agrupa en torno a la línea de tendencia y no presenta volatilidad o periodos con fluctuaciones intensas

Resalta que para 2009 el consumo se ubicó en 31,116.35 TWh mostrando un punto de inflexión en la serie, pero luego reanuda su tendencia al alza, lo anterior es similar a lo ocurrido con los otros combustibles fósiles; teniendo sentido que el consumo energético disminuya si las principales actividades económicas en su conjunto se contraen, sucedido por la crisis inmobiliaria de 2008. Sin embargo este suceso atípico no rompe con la tendencia positiva y la inercia del consumo.

De acuerdo a los gráficos presentados, para estos combustibles la tendencia calculada no varía demasiado, lo que indica que los 3 componentes mantienen su importancia como fuentes de energía y su tasa de crecimiento, siendo el petróleo el más importante por volumen de consumo, seguido del carbón mineral y por último el gas.

Gráfico 13. Consumo total de Gas Natural. 1965-2016.



Fuente: Ritchie y Roser, 2019.

De manera general, cuando el consumo de combustibles fósiles disminuye, lo hace también el total de emisiones, ejemplo de lo anterior se encuentra a partir del año 2008 cuando derivado de la crisis inmobiliaria se observa un punto atípico en la serie pero que no rompe con la tendencia.

1.2.2.2. Cambio de Uso de Suelo

El análisis del ciclo biogeoquímico del carbono (C) facilita el conocimiento del destino de las emisiones antropogénicas de CO_2 . De manera que en forma general se distribuye en la atmósfera, el suelo (incluyendo biosfera) y el océano. Mientras que en la primera y el tercero se encuentra disuelto, en el suelo se encuentra en términos de biomasa y en el sustrato del suelo. (Jaramillo, 2004: 79)

El término “Uso de Suelo” y “Cambio de Uso de Suelo” (CUS) lo define IPCC (2013) como:

“... se refiere al total de acuerdos, actividades y producciones realizadas en un determinado tipo de cubierta de suelo por los humanos. El término uso de suelo también es usado en el sentido de los propósitos sociales o económicos en los que dicho suelo es manejado (ej. Pastoreo, tala, extracción y conservación). Cambio de Uso de suelo se refiere al cambio en el uso o manejo del suelo por parte de los humanos, que puede llevar a cambiar la cubierta del suelo, albedo, evapotranspiración, fuentes y sumideros de gases de efecto invernadero, u otras propiedades del sistema climático y por ende aumentar el forzamiento radiativo y/o otros impactos en el clima, localmente o globalmente” p. 1456

Al cambiar el uso que se le da al suelo se modifica físicamente y los reservorios de carbono se alteran, incidiendo en el balance global de carbono del sistema, sin embargo, el impacto más estudiado es en la vegetación terrestre, dadas las características de las plantas de almacenar carbono en los tallos leñosos.

Las emisiones netas de CO_2 derivadas del uso de suelo y CUS se obtienen a partir de: reforestación, deforestación, degradación de los bosques, actividades de cosecha, cambio de cultivo (talar bosque para agricultura y luego abandonar), crecimiento de bosques una vez que se cosecharon o se abandona el terreno, terrenos acumulados de carbono orgánico o con bosques en decadencia (peatlands).

Los métodos más comunes para cuantificar el carbono almacenado en la vegetación y en los suelos antes de una deforestación o cambio de uso son el método “Bookkeeping”, Método satelital (fire-based) y Modelos dinámicos de vegetación global (DGVM en inglés)

En la tabla 4 se muestran las diferentes estimaciones de la contribución de las emisiones netas por CUS a la atmósfera, los valores positivos indican que el suelo perdió CO_2 hacia la atmósfera.

Tabla 4. Emisiones promedio por década de CUS con métodos Bookkeeping y DGVM. GtC de CO_2 por año.

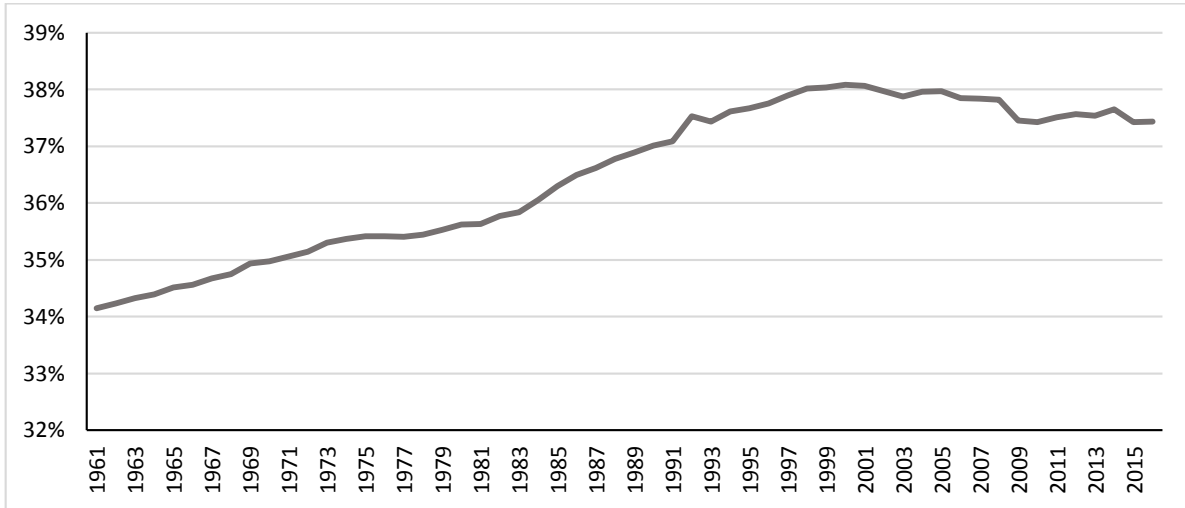
		1960-1969	1970-1989	1980-1989	1990-1999	2000-2009	2007-2016
IPCC, 2013	DGVM			4.771+-0.7	4.404+-0.6	0.8+-0.6	
Le Quéré et al, 2017	Bk	5.138+-0.7	4.037+-0.7	4.771+-0.7	4.404+-0.3	4.404+-0.4	4.771+-0.7
	DGVM	4.771+-0.5	4.404+-0.5	4.404+-0.4	4.404+-0.3	4.404+-0.4	4.771+-0.4

Fuente: Elaboración propia con datos de IPCC, 2013 y Le Quere et al, 2017.

De acuerdo con dicha tabla los diferentes métodos son consistentes entre sí, mientras que IPCC (2013) sólo reporta desde 1980 hasta 2009, con la década con más emisiones siendo 1980-1989 con 4.771 gigatoneladas de CO_2 , mientras que una serie más extensa es presentada por Le Quéré et al (2017) con máximos en las décadas de 1960-1969 para el método Bookkeeping y DGVM con 5.138 Gt y 4.771 Gt, respectivamente. Las emisiones de esta fuente se han mantenido estables en el tiempo. Lo anterior implica que con el método

BookKeping y DGVM tan sólo para la década de 2007-2016 se emitieron, producto de CUS, aproximadamente 42.939 Gigatoneladas de CO_2 .

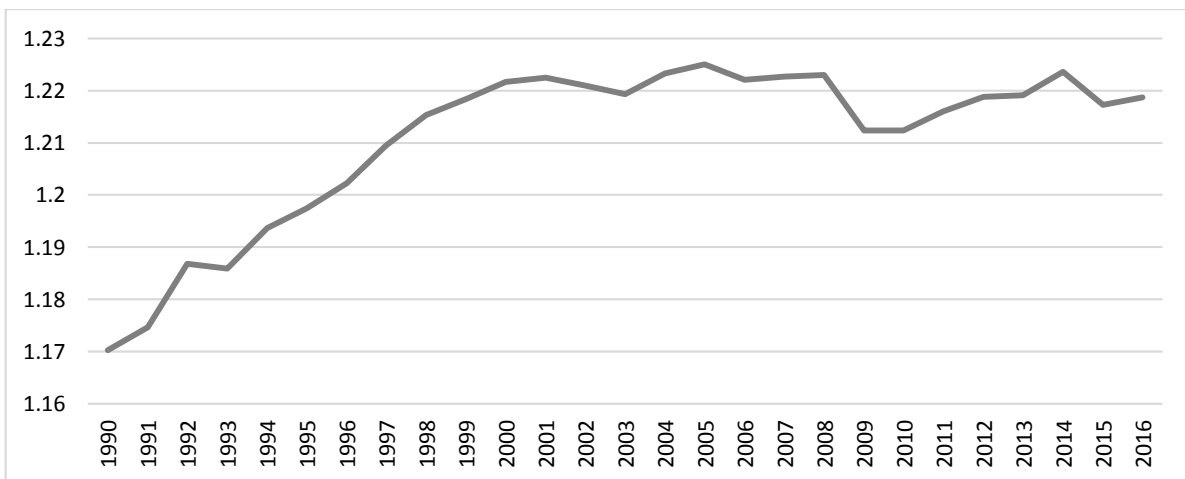
Gráfico 14. Coeficiente de suelo dedicado a actividades agrícolas respecto del total. 1961-2016.



Fuente: FAO, 2019.

El gráfico 14 muestra el comportamiento de la relación entre la superficie dedicada a la agricultura y el total de la tierra continental. Desde inicio del periodo y hasta 1998 la serie presentaba una tendencia al alza y que culminó en 38.01% de la tierra destinada a actividades agrícolas, a partir de ese punto la relación se mantiene estable, entre la banda comprendida en 38.5% y 37%. Experimentó una caída en 2009 como resultado de la crisis económica, al no haber suficiente demanda, la tierra destinada a los cultivos disminuyó su proporción, alcanzando un máximo absoluto en 38.0% para el año 2000.

Gráfico 15. Coeficiente de suelo dedicado a actividades agrícolas respecto a superficie forestal.



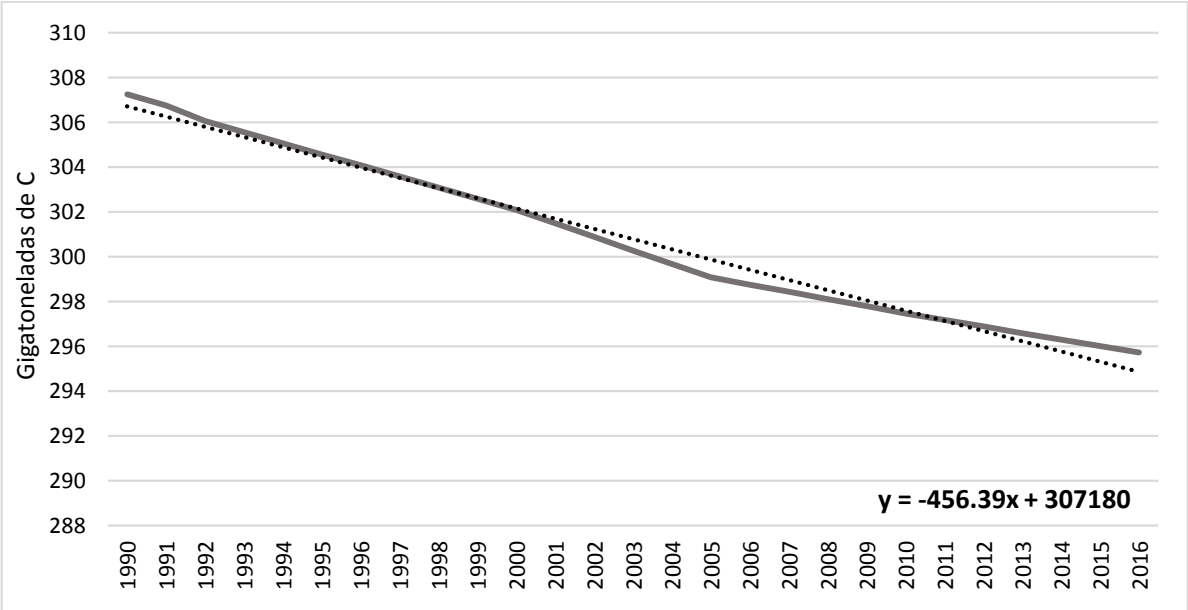
Fuente: FAO, 2019.

El gráfico 15 presenta la relación entre el suelo agrícola y el suelo forestal, un aumento en la proporción indica que hay más superficie agrícola que de bosques, un valor de 1 indicaría que tanto la agricultura como la silvicultura poseen la misma cantidad de suelo en uso. Desde el inicio del periodo el valor porcentual ha sido mayor que 100, durante 10 años dicha proporción mostró una tendencia al alza con un punto de inflexión en 2001, con 1.22, desde ese momento y hasta el final del periodo la razón ha variado entre 1.20 y 1.23, es decir, ha tenido un comportamiento estable.

El año de 2009 la serie disminuyó la proporción hasta 1.21 para después retomar una tendencia positiva pero menos volátil que en años anteriores, el valor máximo en la serie alcanzado en 2005 fue de 1.2249. Para 2015 la serie de nuevo disminuye los valores hasta 1.2172.

Las observaciones del carbono que se encuentran en términos de biomasa de la superficie forestal se observa en el gráfico 16, abarcando el lapso 1990-2016. La serie presenta una tendencia lineal significativa de -456.39 Millones de toneladas por año, esto se traduce como una pérdida del carbono contenido por la vegetación de áreas forestales y depositado ya sea en la atmósfera o el océano. Es una serie que no presenta volatilidad, implicando una progresiva y constante disminución de las áreas que no están destinadas a la agricultura o a uso diferente que la captura de carbono.

Gráfico 16. Carbono almacenado en biomasa de superficie forestal.



Fuente: FAO, 2019.

Las emisiones producto de CUS y el aumento de la superficie agrícola incide en las emisiones de CO₂ globales de manera negativa, ya que por una parte se emite más por actividades de agricultura y por otra parte los repositorios naturales que pueden usarse como sumideros de carbono cada año disminuyen más.

1.2.2.3. Emisiones globales de Gases de Efecto Invernadero

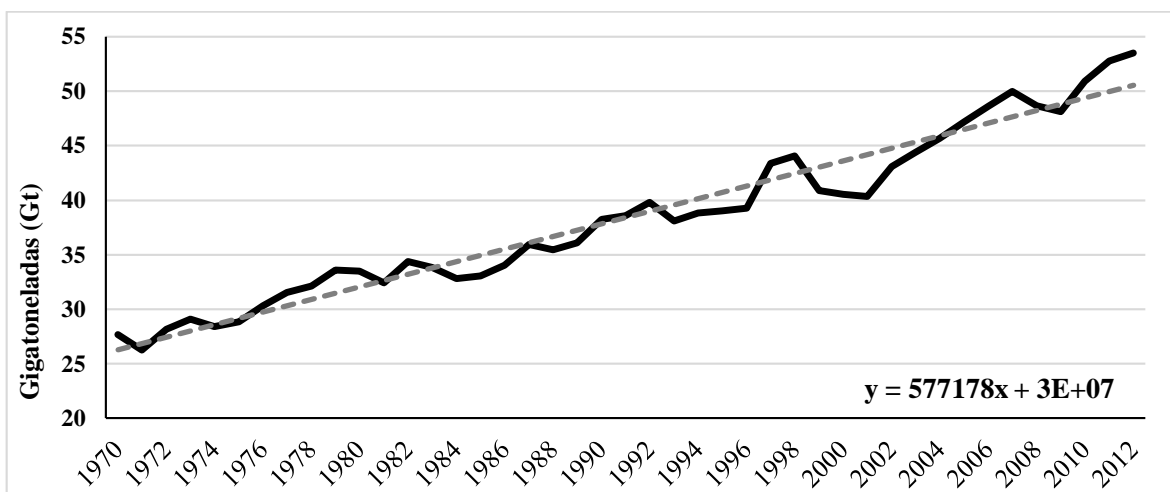
El gráfico 17 que presenta las observaciones anuales de emisiones totales de GEI globales en kilotoneladas de CO_2 equivalente durante el periodo comprendido desde 1970 hasta 2012, incluye incendios forestales y fuentes antropogénicas de metano, óxido nitroso y compuestos fluorados pero excluye quema de desperdicios de agricultura o sabana. Se aprecia una tendencia lineal alcista de 577.1 megatonnes por año con una significancia al 99% obtenida de una regresión por mínimos cuadrados ordinarios.

Es una serie estable que no presenta alta volatilidad dada su desviación estándar de, confirmado también por el rango de y con un valor mínimo de registrado en el año. Esto es producto de las observaciones en los componentes de los gráficos 11, 12 y 13, analizados anteriormente. Las emisiones netas comprenden la adición o disminución por efecto de los sumideros de carbono.

A su vez, al analizar por separado los GEI y su contribución al total de emisiones debemos tomar en cuenta las características físicas y químicas de las moléculas involucradas, ya que de esto depende su importancia en los esfuerzos de investigación, mitigación y adaptación.

El dióxido de carbono (CO_2) es un compuesto de estructura lineal de una forma oxidada del carbono, es un gas incoloro e inodoro que existe de forma natural en la atmósfera y forma parte del ciclo global del carbono, siendo materia prima para la fabricación de carbohidratos por parte de las plantas. Se clasifica dentro de los GEI dada su capacidad de absorción de energía de onda corta. (Cuatecontzi y Gasca, 2004: 90)

Gráfico 17. Emisiones netas de Gases de Efecto Invernadero Mundiales. 1970-2012.



Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank World Development Indicators, 2019.

Existen dos grandes transferencias de CO_2 en el ciclo biogeoquímico: el intercambio dado por la fotosíntesis y el generado por la descomposición de materia orgánica. Su tiempo de vida es de entre 5 y 200 años en la atmósfera y tiene un potencial de calentamiento a 100 años de 1. Se genera a partir de la combustión de combustibles fósiles, producción de

cemento, cambios en el uso de suelo, respiración de seres vivos y fermentación de líquidos. (Jaramillo, 2004: 80)

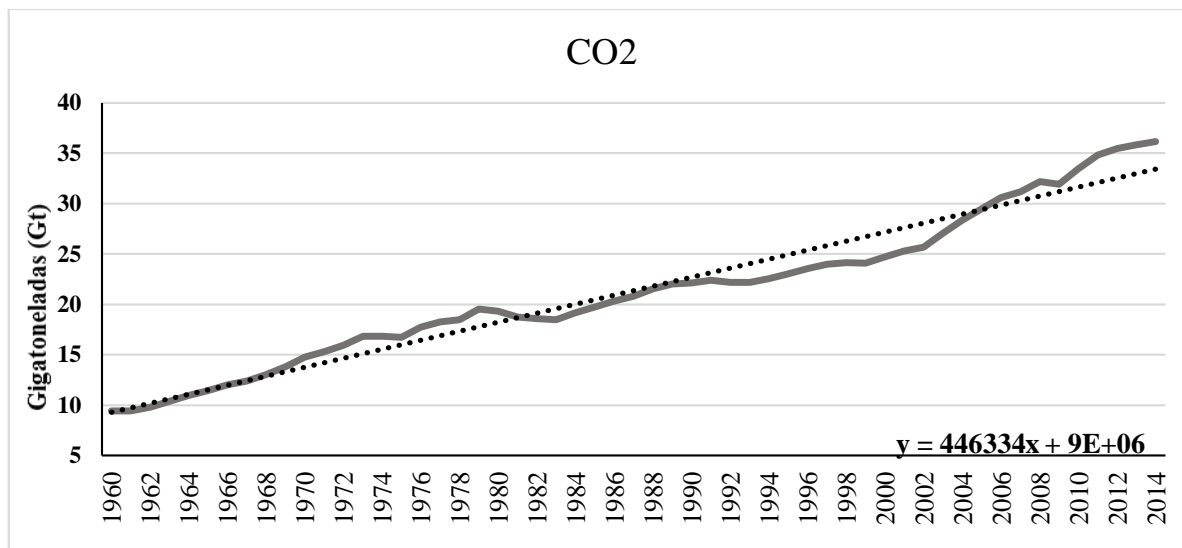
Las observaciones registradas del total de CO_2 emitido en kilotoneladas desde 1960 hasta 2014 se expresan en el gráfico 18. La serie presenta una tendencia lineal positiva de 446.33 megatoneladas por año. Antes del año 1968 los datos se distribuían sobre la tendencia calculada y a partir de 1969 han empezado a oscilar, teniendo un mínimo desde ese momento de 137.97 megatoneladas y con un máximo al final del periodo en 361.382 megatoneladas.

Sin embargo, aunque presenta estabilidad durante el lapso, contiene información referente a la crisis del petróleo en los años setenta y crisis hipotecaria de 2009; reflejado en una reducción acumulada de las emisiones de 1049.039 megatoneladas desde 1979 hasta 1984, año en que las emisiones repuntan nuevamente y una tasa de crecimiento negativa en 2009 de 0.90 %, con un total de 318.918 megatoneladas, respectivamente.

Aunque el CO_2 es el más abundante de los GEI, existen otros gases que por su importancia, emisiones, potencial de calentamiento e impactos directos e indirectos sobre el forzamiento radiativo, se toman en cuenta en las emisiones totales.

El metano (CH_4) es el GEI más abundante después del CO_2 , es un gas incoloro e inodoro a temperatura ambiente, altamente flamable pero menos denso que el aire es además la forma más simple de un hidrocarburo, su importancia climática radica en el potencial de calentamiento de 28 con un horizonte de 100 años y con una vida en la atmósfera de entre 9 y 15. (IPCC, 2013: 167)

Gráfico 18. Emisiones brutas globales de Dióxido de Carbono. 1970-2012.



Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank World Development Indicators, 2019.

Las fuentes productoras de este gas son las que se relacionan con la descomposición de la materia orgánica de manera anaerobia, de manera natural por los humedales pero actividades antropogénicas como el transporte y explotación de gas natural, metabolismo de rumiantes,

quema de biomasa, agricultura y manejo de desechos contribuyen a aumentar su concentración. (Saynes et al, 2016: 85)

El tercer gas analizado es el óxido nitroso (N_2O), es un gas incoloro e inodoro usado como analgésico y anestésico en la industria farmacéutica. Se clasifica dentro de los GEI por su potencial de calentamiento global a 100 años de 320, es decir, más de trescientas veces más efectivo que el CO_2 para retener calor y con una vida en la atmósfera de 131 años. Sus fuentes más importantes son las actividades agrícolas, quema de biomasa, combustión de energéticos de fósil, tratamiento aguas residuales, combustión de desechos y producción de ácidos adípico y nítrico. (IPCC, 2013: 167) (Cuatecontzi y Gasca, 2004: 92)

La cantidad de nitrógeno ha sido modificada por el aumento de fertilizantes nitrogenados destinados para la producción agrícola, lo que implica mayor concentración de óxido nitroso pero también mayor proporción de nitrógeno en su forma reactiva (como óxidos de nitrógeno, NO_x), lo que repercute en la transformación del ozono. (Saynes et al, 2016: 84)

Si bien los GEI más importantes por volumen de emisión y recurrencia son N_2O , CH_4 , CO_2 , existen otros 16, sin embargo, suelen clasificarse por grupos, siendo los hidrofluoro carbonos (HFC), clorofluoro carbonos (CFC) y los hidroclorofluoro carbonos (HCFC) y perfluoro carbonos (PFC) los que agrupan la mayor cantidad.

Los CFC así como compuestos de carbono y bromo son considerados gases que disminuyen la concentración de ozono estratosférico. Los HFC son gases utilizados como sustituto de otras sustancias agotadoras de ozono, mientras que PFC son utilizados en la fundición de aluminio, entre estos destacan el perfluorometano (CF_4) y el perfluoroetileno (C_2F_4), cuya vida atmosférica es de 50000 y 10000 años, respectivamente, lo que aumenta el riesgo de que modifiquen el clima al largo plazo, dado su vida y la cantidad de energía que pueden absorber.

Dentro de los GEI también se encuentra el hexafluoruro de azufre (SF_6), un gas estable dadas su propiedades químicas y que por la energía necesaria para disociarse es capaz de absorber grandes cantidades de calor, no es flamable, insoluble en agua y no es tóxico; es usado como aislante en dispositivos eléctricos y las fuentes principales de emisiones son la distribución de electricidad, producción industrial de magnesio y la industria de semi-conductores. (Balcázar, 2017: 19)

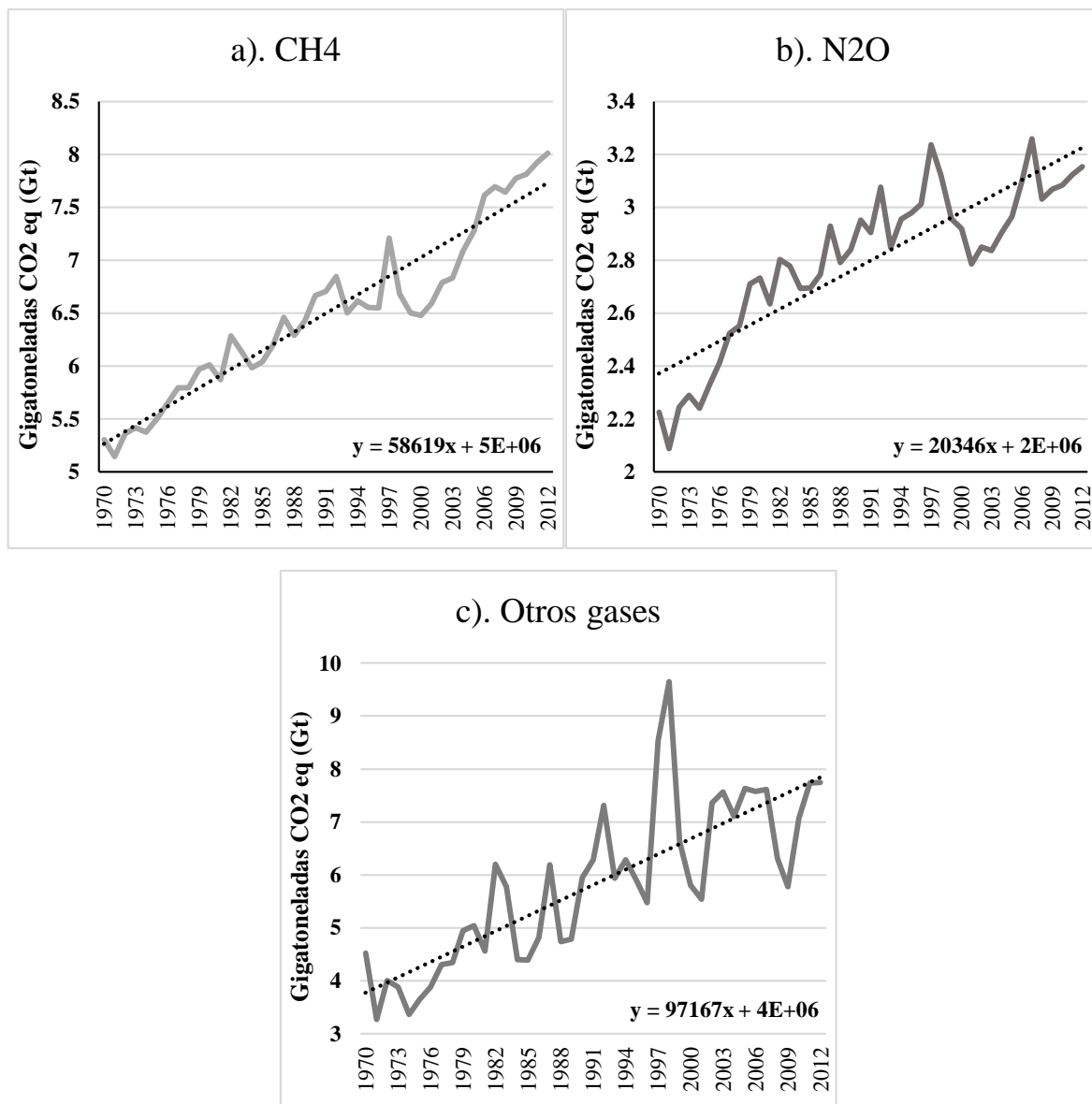
Tiene un potencial de calentamiento de 22,000 y un tiempo de vida de 3,200 años. Si bien su concentración es baja, su peso dentro del forzamiento radiativo total es de 0.575 Watts por metro cuadrado por cada partícula por billón. (Cuatecontzi y Gasca, 2004: 93)

El gráfico 19 expone 3 paneles que contienen el comportamiento de las emisiones de GEI diferentes al CO_2 . Ya que sus fuentes y proporciones difieren, las emisiones presentan tendencia positivas pero de magnitudes desiguales y poseen dispersiones más altas que su contraparte de dióxido de carbono, el periodo analizado comprende 1970-2012.

El panel a) expone las emisiones de CH_4 , en el periodo la tendencia lineal significativa calculada indica que cada año se aumentan las emisiones de dióxido de carbono equivalente

en 58.619 megatoneladas. El panel b) muestra el comportamiento del óxido nítrico con una tendencia con significancia lineal creciente de magnitud 20.346 megatoneladas equivalentes por año. C) presenta las observaciones de las emisiones equivalentes para el conjunto de HFC, PFC y SF_6 en el periodo referido, con una tendencia significativa de +97.167 megatoneladas equivalentes cada año.

Gráfico 19. Emisiones Totales de Gases de Efecto Invernadero Mundiales. 1970-2012.



Fuente: Elaboración propia con datos de World Bank World Development Indicators, 2019.

Aunque los 3 paneles presentan volatilidad y un ciclo menos evidente, a) y b) presentan un pico en las emisiones para el año 1997 con 7.211 Gt y 3.236 Gt, respectivamente, para luego declinar hasta el año 2000 con 6.480 Gt para a) y 2001 con 2.785 Gt para b); a partir de ese momento retoman su tendencia al alza, alcanzando las observaciones máximas respectivas

hacia el final del periodo, concretamente de 8.014 Gt en 2012 para CH_4 y 3.260 Gt para N_2O en 2007. Por otro lado c), presenta un punto atípico en el año 1998, siendo el máximo para toda la serie con valor de 9.650 Gt.

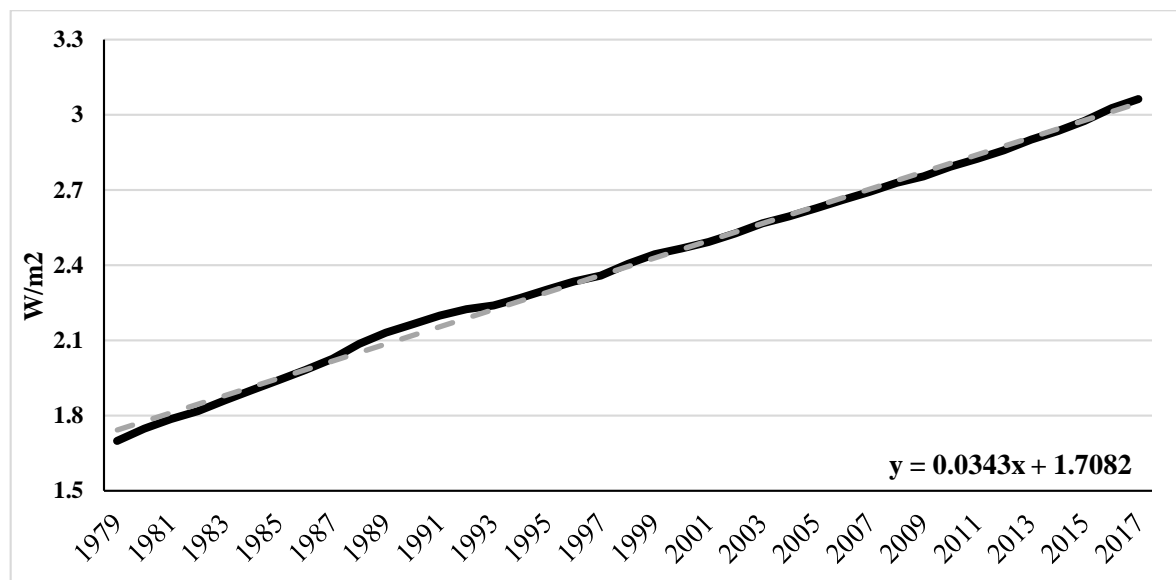
De acuerdo con IPCC (2013: 166) las concentraciones previas a la era industrial (año 1750) de N_2O , CH_4 , CO_2 , estimadas a partir de aire capturado por bloques de hielo, fueron 270 ppb, 722 ppb y 278 ppb, respectivamente. Mientras que para el resto de los compuestos las concentraciones se encuentran debajo del mínimo requerido para detectarse.

En 2011 las concentraciones de CO_2 alcanzaron 390.5 ppm; entre 2001 y dicho año la tasa de crecimiento de fue de entre 1.7 ppm y 2.3 ppm por año. CH_4 registró en 2011 un promedio de 1,083 +- 2 ppb, paralelamente N_2O aumentó su concentración a 324.2 ppb hasta el mismo año.

Para 2011 las estimaciones del crecimiento de la presencia de SF_6 en la atmósfera tuvieron un promedio de 7.29 ppt para 2011, los HFC registraron una concentración de entre 6.3 ppt y 13.01 ppt, CFC presentaron entre 74.23 ppt y 524.5 ppt, además HCFC con un 21.29 ppt y hasta 214.2 ppt.

El potencial de calentamiento no sólo es un parámetro de la cantidad de energía que pueden absorber los gases, también proporciona una ponderación para facilitar la comparación entre los distintos GEI, este potencial depende de la estructura de cada molécula y de sus propiedades específicas. Es gracias a este potencial que se pueden convertir las unidades de gases estudiados a un equivalente en un gas de referencia, siendo este CO_2 de manera que se pueden analizar de manera agregada.

Grafico 20. Forzamiento Radiativo Global. 1979-2017.



Fuente: NOAA, Earth System Research Laboratory, 2019.

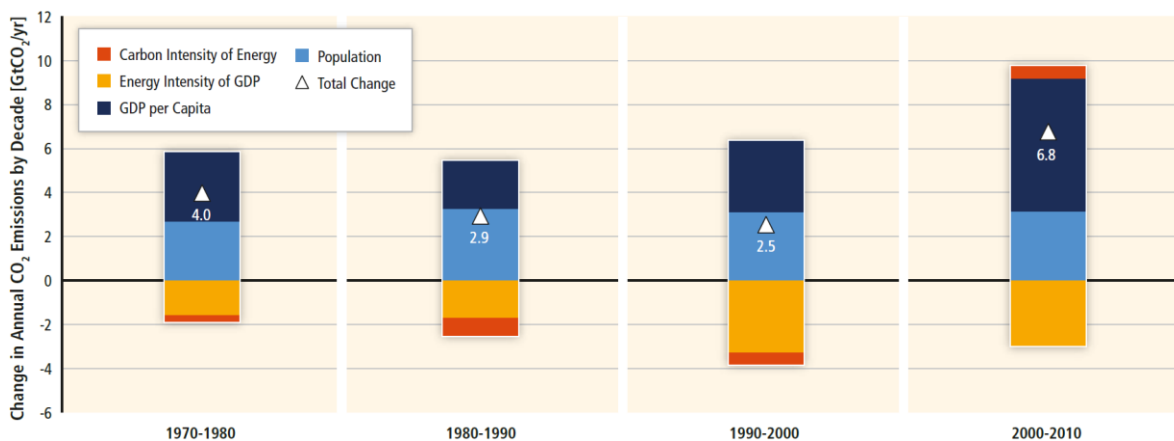
Siguiendo la misma presentación el gráfico 20 nos muestra el forzamiento radiativo derivado del conjunto de GEI de manera anual desde 1979 a 2017. La tendencia estimada muestra un aumento de 0.0343 Watts por metro cuadrado cada año, significativo estadísticamente al 99%. Entre ambos gráficos existe una correlación ya que un aumento en las emisiones provoca una mayor concentración, que a su vez disminuye la capacidad de disipación del calor en la atmósfera, incrementando la temperatura superficial, fenómeno que se aprecia por el forzamiento radiativo al alza durante el periodo.

Cabe destacar el efecto inercial y de rezago que presenta esta variable ya que aun con tendencia positiva no se ve impactada por fluctuaciones en el consumo o emisiones, derivado de la cantidad de tiempo que pueden existir los GEI en la atmósfera.

En el gráfico 21 se observan los componentes del cambio en las emisiones anuales de CO_2 de combustibles fósiles por cada década, se observa una tendencia creciente en las variaciones netas. Para la década de 1970-1980 la intensidad energética presenta disminuciones, este comportamiento continúa hasta el final del siglo XX, finalmente en la primera década del siguiente siglo este componente abona con un incremento en las emisiones. La intensidad energética que produce el aumento en el PIB per cápita supone una disminución de las emisiones, teniendo la más alta en la década de 1990-2000, sin embargo, de seguir la tendencia de la década posterior se pueden esperar menores disminuciones e incluso aumentos en las emisiones.

La población es un factor determinante en la contribución, desde 1970 ha supuesto un incremento en las mismas de manera estable, siendo responsable de un aumento anual de 2.9 $GtCO_2$ en la década de 1980-1990. Al analizar de manera conjunta las emisiones y el consumo de combustibles fósiles se encuentra la correlación entre el aumento del ingreso y la población como factores que presionan al alza las emisiones de GEI, ya que entre 1970 y 1980 la contribución anual del PIB per cápita era de 4 $GtCO_2$ adicionales, para inicio del siglo se elevó a 6.8 $GtCO_2$.

Gráfico 21. Cambio en las emisiones anuales de CO_2 de combustibles fósiles.



Fuente: IPCC, 2014.

La población es un factor determinante en la contribución, desde 1970 ha supuesto un incremento en las mismas de manera estable, siendo responsable de un aumento anual de 2.9 GtCO₂ en la década de 1980-1990. Al analizar de manera conjunta las emisiones y el consumo de combustibles fósiles se encuentra la correlación entre el aumento del ingreso y la población como factores que presionan al alza las emisiones de GEI, ya que entre 1970 y 1980 la contribución anual del PIB per cápita era de 4 GtCO₂ adicionales, para inicio del siglo se elevó a 6.8 GtCO₂.

1.2.3 Escenarios de largo plazo y proyecciones de Cambio Climático

Los escenarios de proyecciones de cambio son estimaciones de la reacciones del sistema climático a acciones humanas o procesos naturales. Estas estimaciones son producto de la parametrización y los supuestos usados en modelos, su importancia radica en la posibilidad de contar con información para analizar efectos sobre los componentes del sistema.

No existe una sola forma de ponderar el peso que cada fenómeno representa en el clima, por lo que existen diversas metodologías en los modelos, los que a su vez pueden agruparse en ensambles que contengan distintas posibilidades en distintas variables climáticas.

Cabe destacar que también existe incertidumbre de los escenarios, dada por la compleja relación entre los componentes del sistema climático, la variabilidad intrínseca del mismo y la base de las estimaciones, es por eso que los mismos deben ser interpretados y analizados como posibles o plausibles de ocurrir y no como pronósticos puntuales.

Según la manera en que los modelos presentan diferencias estructurales o en el manejo de los datos ingresados para llegar a una cifra, es que pueden existir discrepancias e incidir en el grado de incertidumbre de los escenarios, incluyendo los efectos no estimados de forzamiento causado por erupciones volcánicas o radiación solar. Sin embargo el forzamiento por causas naturales ha sido positivo pero una pequeña proporción respecto del antropogénico desde la era industrial (IPCC, 2013 8, 51).

De acuerdo con IPCC (2013: 1045) de entre los escenarios para investigación climática más usados se encuentran los llamados “Trayectorias Representativas de Concentración” (RCP en inglés), estos fueron diseñados para modelar un rango más amplio de posibles magnitudes de cambio climático, una base común para estudios, adaptación e impacto, además presentan mejor capacidad de separar lo distintos fenómenos relacionadas con los GEI como pueden ser la concentración atmosférica o emisiones.

De ellos se obtienen las variables principales para los estudios, como pueden ser forzamiento radiativo, precipitación, temperatura superficial media, concentración de GEI, entre otros. Son representativos en la medida que fueron obtenidos de una muestra de los escenarios publicados en ese momento que compartían características similares.

La base de cálculo de los escenarios fue modificada a 1986-2005 y parten de un forzamiento radiativo objetivo con las concentraciones y emisiones relacionadas para llegar a ese punto, agregando las acciones antropogénicas que conducirían la trayectoria hasta ahí. El tiempo

máximo fijado es en 2100, con cuatro forzamientos radiativos diferentes: 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5 Watts por metro cuadrado, de ahí sus nombres.

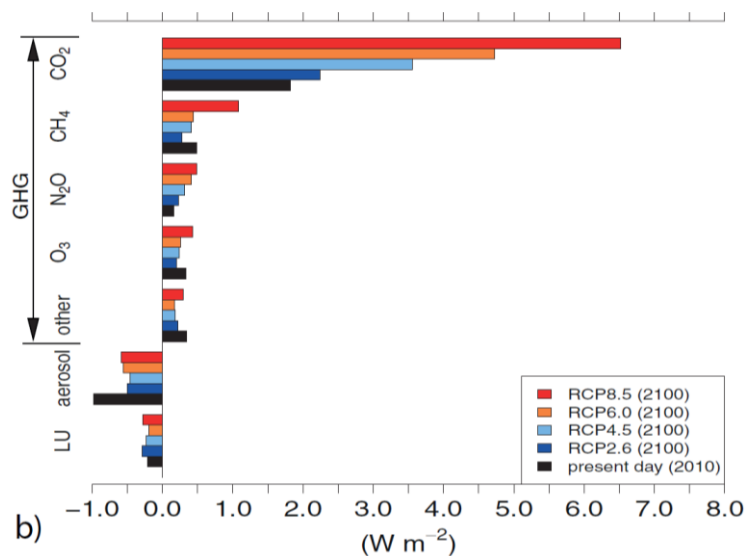
RCP 2.6 presenta un máximo de 3 W/m² para luego disminuir a 2.6 W/m² en 2100, es el más bajo de los escenarios. Siguiendo en manera ascendente RCP 4.5 contiene características medias/bajas con estabilidad en 4.2 W/m², mientras que RCP 6.0 lo hace a 6.0 W/m² a 2100. Por último, RCP 8.5 es definido como el escenario más alto del ensamble y alcanza 8.3 W/m² al final del periodo y con una tendencia creciente aún después. Si bien se han calculado extensiones de los cuatro escenarios a periodos más largos, estas no se analizaran en el presente estudio.

Anteriormente se hizo alusión a las observaciones de los efectos del CC sobre componentes climáticos. A continuación se describen los elementos más importantes del sistema climático con impactos derivados del CC de acuerdo a los escenarios planteados.

- **Atmósfera**

Dentro del gráfico 22 el CO₂ lidera las contribuciones individuales al forzamiento radiativo para cada escenario con 6.5 W/m² como máximo en RCP 8.5 y un mínimo en RCP 2.6 de alrededor de 2 W/m², además en todos los escenarios dicho forzamiento es mayor al observado en 2010 con menos de RCP 2.6 a 2100. El forzamiento causado por CH₄ contrasta con el primer gas. RCP 4.5 y 6.0 tienen una magnitud similar; el observado a 2010 es incluso mayor que en RCP 2.6, en RCP 8.5 resalta por ser de magnitud aproximada al doble de sus escenarios pares.

Gráfico 22. Contribución al forzamiento total por generador a 2100.



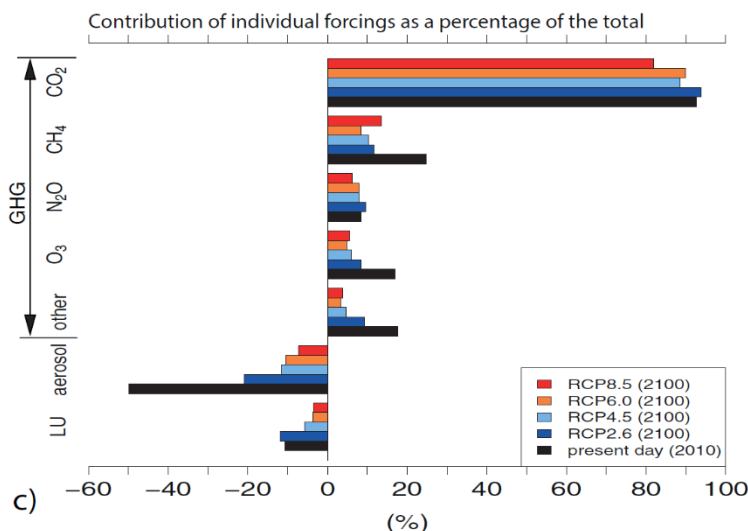
Fuente: IPCC, 2013.

De acuerdo al mismo gráfico el cambio de uso de suelo y los aerosoles inciden en un forzamiento negativo, es decir un enfriamiento de la superficie. Lo anterior es explicado por la capacidad de refracción de radiación que poseen los aerosoles dispersos en la atmósfera y

por los sumideros de carbono, respectivamente. Al interior de los escenarios el uso de suelo presenta un enfriamiento mixto, siendo RCP 2.6 y 8.5 los mayores, A pesar de que el uso de suelo tiene estimaciones crecientes para cada escenario, es menor a comparación del enfriamiento observado para 2010.

En el gráfico 23 la presencia de aerosoles es el responsable de casi 50% del enfriamiento a 2010, dicho indicador decrece a medida que aumenta el forzamiento expresado en cada RCP. El enfriamiento derivado del uso de suelo tiene su máximo en RCP 2.6, siendo mayor que el presente en 2010, en RCP 6.0 y 8.5 a 2100 esta variable ya no se contrasta en cada uno. Mientras que calentamiento provocado por CO_2 es mínimo 80% del total para cada RCP, sin embargo pierde peso a medida que aumenta el forzamiento, ya que la vida atmosférica de dicho gas y su potencial de calentamiento es menor que a comparación de otros GEI, cabe destacar que su mayor proporción se corresponde con las emisiones y la concentración esperada.

Gráfico 23. Contribución individual al forzamiento radiativo total como porcentaje.



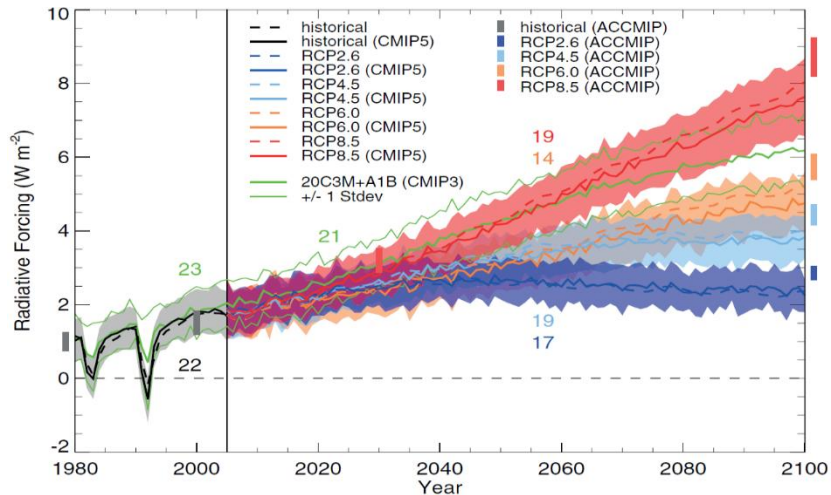
Fuente: IPCC, 2013.

El metano tiene un peso mayor en el año 2010 que en los RCP, donde 4.5 y 6.0 son inclusive menores que sus contrapartes 2.6 y 8.5, en promedio equivalen a 10% del total de contribuciones. N_2O tiene un comportamiento estable en los RCP con un promedio menor a 10% del total, siendo RCP 2.6 el máximo para 2100. La contribución del ozono y el resto de gases de efecto invernadero decrece respecto del total para cada aumento del forzamiento.

La tendencia esperada en el forzamiento radiativo es presentada en el gráfico 24, incluyendo las observaciones históricas. Para alcanzar un forzamiento de 8.3 W/km² en 2100 para RCP 8.5 es necesario que su tendencia sea creciente y la mayor de los escenarios. Se separa del resto, siendo RCP 2.6 donde las acciones antropogénicas inciden para que el forzamiento se mantenga estable y decreciente hacia el final del periodo. Los escenarios con tendencias medias son RCP 4.5 y 6.0, para el primero el forzamiento se vuelve estable en la década de

2050 con una tendencia plana, mientras que RCP 6.0 se separa del anterior en la década de 2070, sin embargo con una tendencia menos pronunciada que en RCP 8.5.

Gráfico 24. Forzamiento radiativo historico y escenarios. 1980-2100.

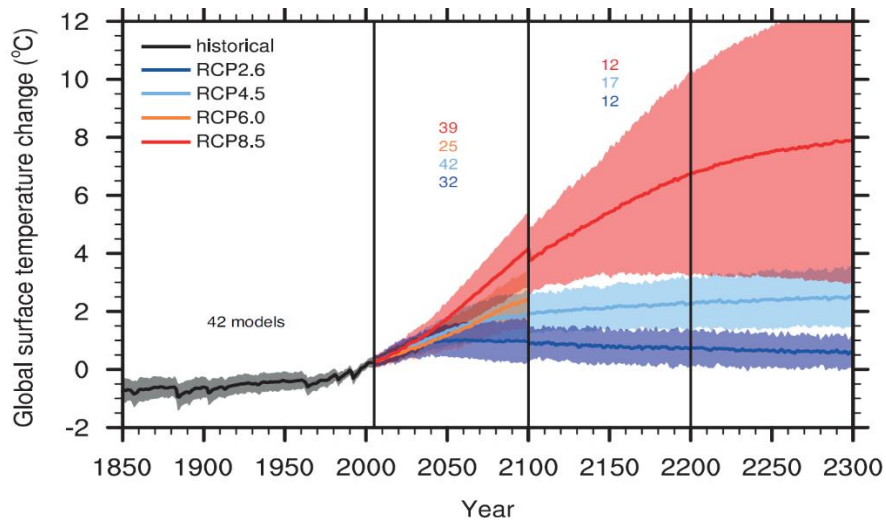


Fuente: IPCC, 2013. Las bandas indican los modelos que calculan los intervalos de forzamiento neto sobre la superficie, mientras que las líneas verdes indican las tendencias de los escenarios usados en el reporte número 4, ubicándose dentro del rango de RCP 6.0 y 8.5, lo que indica que el escenario más pesimista de forzamiento sigue estando más alejado que el escenario medio de políticas de mitigación y reducción del AR4.

- **Temperatura**

La mayor concentración y emisiones de GEI que impactan sobre la energía absorbida por superficie de la Tierra son relacionadas en los gráficos 24 y 25 a través de la variable de temperatura y forzamiento, ambas con una clara correlación positiva.

Gráfico 25. Anomalías de temperatura superficial, escenarios y extensiones. 1980-2300.



Fuente: IPCC, 2013.

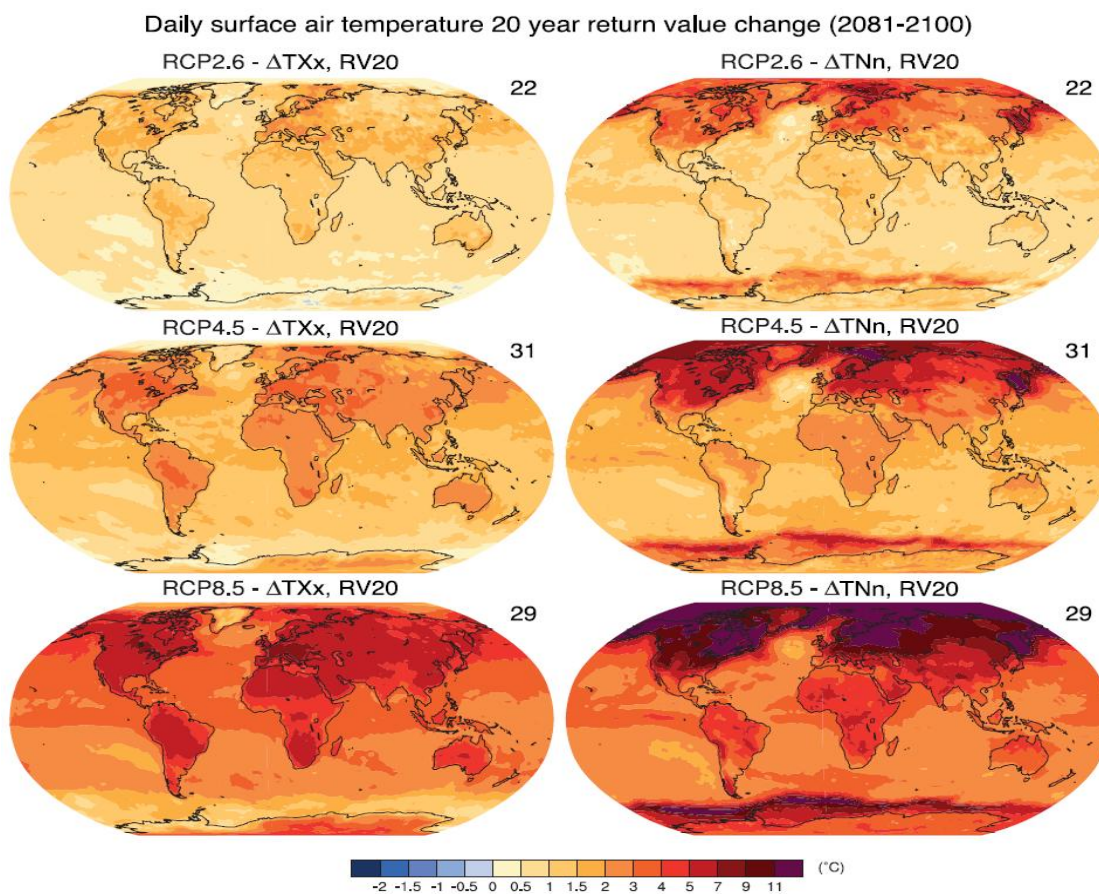
En un primer momento se presenta la serie histórica desde 1850 y hasta 2005, en un segundo se observa la posible tendencia en las anomalías en la temperatura que esbozan los RCP. A partir de 2030 la temperatura llega a un máximo de cambio para luego estabilizarse con una ligera tendencia decreciente en 2100 para RCP 2.6. Las demás anomalías tienen tendencias crecientes, derivado del forzamiento radiativo estimado es que estas poseen una tendencia más o menos pronunciada.

En concordancia con el gráfico 24, RCP 4.5 tiende a estabilizarse entre 2050, mientras RCP 6.0 lo hace a partir de 2070, alcanzando cambios en la temperatura por arriba de 2° C. Los cambios máximos en la temperatura son calculados en RCP 8.5 con cambios encima de 4° C para 2100 y con pendiente que implicaría mayor aumentos en el futuro.

- **Eventos extremos**

El número de días que observan una temperatura mayor que el intervalo determinado por el registro climatológico histórico aumentarán en frecuencia y duración, la razón radica en el aumento de las temperaturas medias estacionales, además es probable que el valor absoluto de las temperaturas extremas varíe, acentuándose de manera local dicho fenómeno de manera local (IPCC, 2013: 1066)

Mapa 4. Anomalías geográficas promedio para eventos de temperatura extrema. 2081-2100.



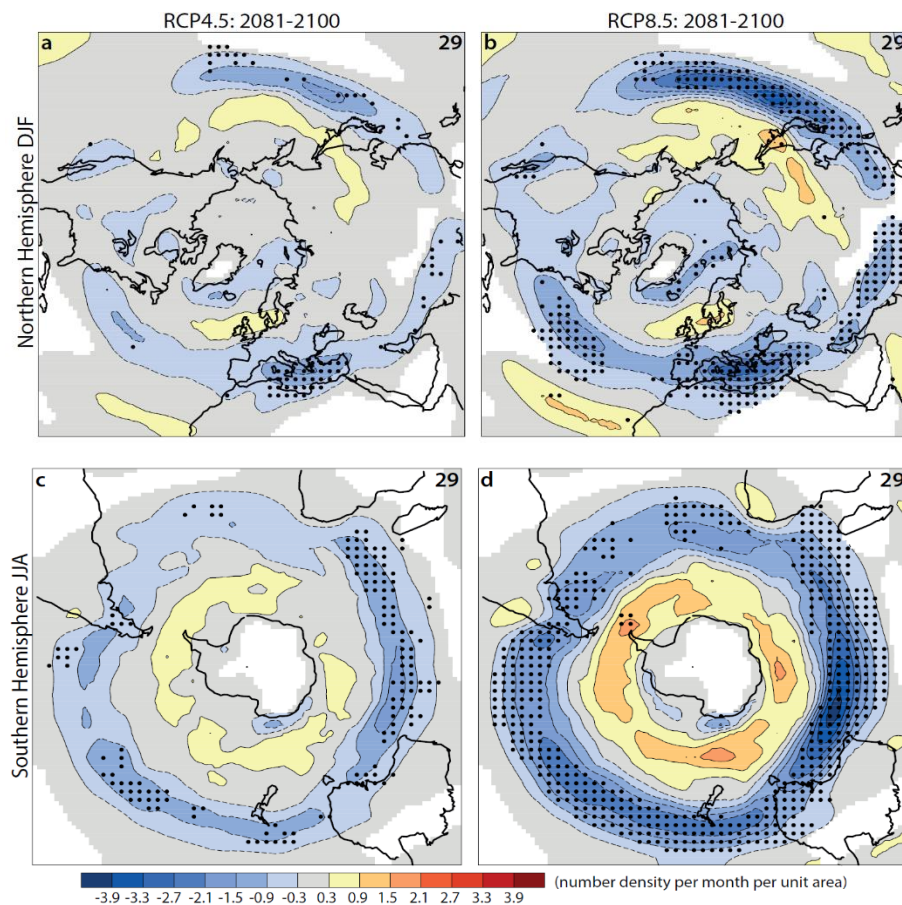
Fuente: IPCC, 2013.

El mapa 4 muestra los índices de días cálidos y noches frías como indicador de temperaturas extremas, el valor a veinte años significa la ocurrencia de un evento cada 20 años o cada año una probabilidad de 5% de presentarse. La columna izquierda muestra los días calurosos, mientras que la derecha muestra las noches. Se calcularon para las últimas décadas del siglo XXI para el promedio de ensamble de 3 escenarios, RCP 2.6, 4.5 y 8.5 en orden descendente.

Los eventos extremos de temperaturas altas sufrirán una variación de entre 0.5° C y 7° C para los RCP mencionados, con los cambios más abruptos para Europa en RCP 8.5, adicionalmente en RCP 4.5 y el anterior el hemisferio norte tendrá un mayor impacto tanto en masas continentales como en océanos. Cambios en los valores de noches frías tienen una contrastante variación, concentrándose en el norte de Europa, Norteamérica, noreste Asiático y en el océano al norte de Antártica para los tres escenarios.

Para el final del periodo en RCP 8.5 estas zonas estiman cambios de magnitud cercana a 11° C. Kharin et al (2013: 347) concluye que hay una alta probabilidad de que en regiones terrestres los eventos de temperatura máxima esperados cada 20 años aumenten, de manera que se espera una ocurrencia cada 2 años en RCP 4.5 y 8.5, para este último escenario los eventos de temperatura mínima decrecen a uno cada 100 años

Mapa 5. Cambios en densidad en tormentas extra tropicales.



Fuente: IPCC, 2013.

El mapa 5 muestra la densidad estimada de tormentas que se presentan por arriba de 90° sur y norte, en invierno y verano para RCP 4.5 y 8.5 respectivamente. Para el hemisferio sur la frecuencia de tormentas extra tropicales disminuye y su ubicación geográfica se concentra en dirección sur para RCP 8.5, observándose mayor densidad con valores entre 0.3 y 2.1, alrededor de Antártica. Al dirigirse al norte dicha densidad disminuye en ambos escenarios.

Los cambios esperados para la distribución de tormentas en el hemisferio norte implican una concentración en el sudeste asiático, así como en menor medida en el Atlántico este, aunque no se aprecia el mismo efecto o contrario que en el hemisferio sur. Esto ha dado a concluir en IPCC (2013: 1074) que la confianza en dichas estimaciones permanece baja.

- **Criósfera**

La reducción estimada de la extensión de hielo marino entre el periodo base y los últimos 20 años de RCP (2081-2100) varía de entre 8% y 34% para RCP 2.6 y 8.5, respectivamente para febrero en el hemisferio norte y entre 43% y 94% para dichos escenarios. Sin embargo estos valores no tienen una alta confianza, ya que los modelos usados arrojan una diferencia amplia al estimar la extensión más cercana a la actualidad. (IPCC, 2013: 1087). Las proyecciones indican la existencia de un Ártico con una extensión menor que 1 millón de km² por al menos 5 ciclos consecutivos antes de 2100 en RCP 4.5 y 8.5.

El volumen de hielo promedio modelado para el final del periodo varía en decrementos de magnitud respecto al periodo base entre 29% para RCP 2.6 y 73% para RCP 8.5 en febrero, mientras que en septiembre el intervalo se encuentra entre 54% y 96% para ambos escenarios, respectivamente.

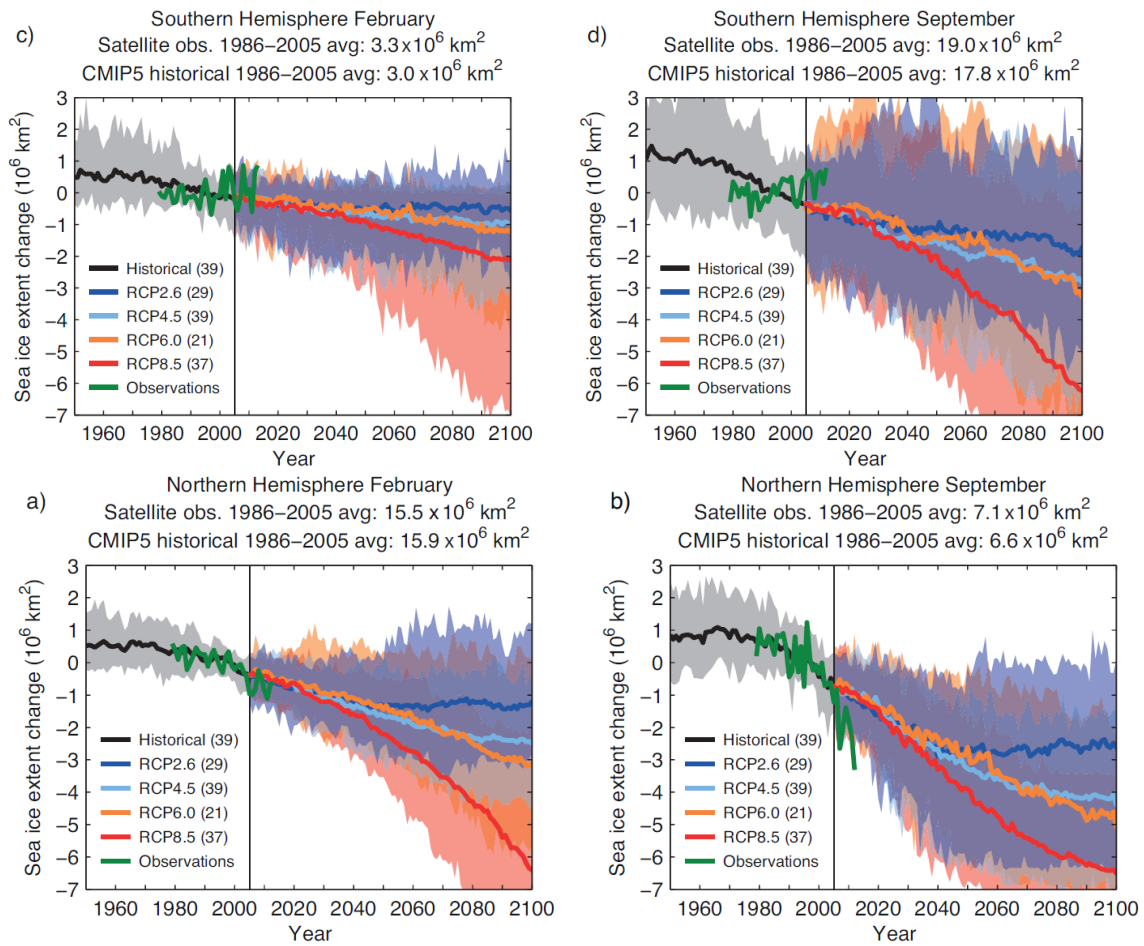
Conforme al hemisferio sur la reducción de la extensión de hielo para 2081- 2100 respecto del periodo base se sitúa entre 16% para RCP 2.6 y 67% en RCP 8.5 para febrero, al analizar septiembre, la reducción se encuentra en el intervalo entre 8% y 30% para todos los RCP.

Se estima para RCP 8.5 que antes de terminar el siglo se presente un evento de ausencia casi total de hielo marino en la Antártica, con disminuciones iguales para volumen como para extensión. Sin embargo, las complejidades de los factores físicos y geográficos inciden en la capacidad de reproducción de fenómenos por parte de los modelos, lo que otorga baja confianza a estas estimaciones. (IPCC, 2013: 1092)

En el gráfico 26 se aprecia que prácticamente todos los RCP estiman una disminución de la extensión del hielo representada por las anomalías. Si bien se presentan cambios menos abruptos en febrero para el hemisferio sur con una ligera tendencia negativa en RCP 2.6, sin embargo, la tendencia en septiembre en RCP 8.5 se separa del resto en cambios de magnitud cercana a 6 millones de km cuadrados.

Contrastando con el hemisferio norte donde los cuatro RCP tienen tendencias decrecientes en ambos meses y donde la variación entre RCP 2.6 y 8.5 es mayor. En febrero RCP 2.6 se estabiliza después de la década de 2050, RCP 4.5 y 6.0 presentan una tendencia negativa durante el periodo, mientras que RCP 8.5 alcanza valores negativos de 6.5 millones de km².

Gráfico 26. Simulaciones de cambios en la extensión de hielo marino para RCP. 1970-2100.

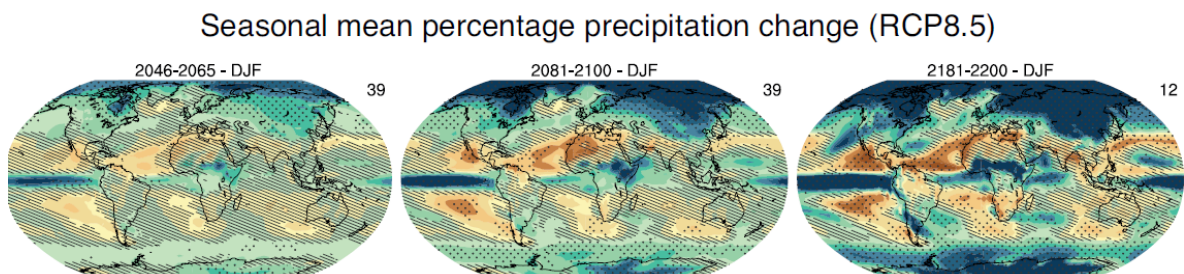


Fuente: IPCC, 2013.

Las disminuciones son mayores en septiembre presentan estabilidad a partir de 2050 excepto para RCP 8.5, donde RCP 2.6 cuyo valor promedio se sitúa en 2 y 3 millones de km^2 menos.

- **Precipitación**

Mapa 6. Anomalías porcentuales en precipitación media respecto de periodo de referencia. 2046-2200.



Fuente: IPCC, 2013.

Las anomalías respecto al periodo 1986-2005 como por ciento son mostradas en el mapa 6 de acuerdo con 3 periodos, 2046-2065, 2081-2100 y 2181- 2200 para invierno en RCP 8.5. Los cambios más importantes se presentan en el hemisferio norte, con cambios positivos de entre 30% y 60% para el norte de Rusia y noreste de Canadá, sin embargo también en el ecuador del Océano Pacífico se estima un incremento. Los mayores decrementos de entre 10% y 50% se esperan para el noroeste de África y el mediterráneo, en general en los trópicos. Esta tendencia se acentúa en el tiempo abarcando más espacio geográfico en los incrementos para 2100 pero concentrando los decrementos en dicho periodo.

Capítulo 2. Construcción de un Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) para México.

2.1. Biodiversidad y Cambio Climático

La biodiversidad presente en la biósfera está sujeta a las condiciones generales del sistema climático terrestre, de manera que cambios en el segundo inciden en el desarrollo de la primera; lo anterior es determinante en la medida que los organismos son capaces de adaptación o evolución a las condiciones del medio y la rapidez a la que se producen dichos cambios.

El término “Biodiversidad” se usó por primera vez en 1986 en Washington, en el “Foro Nacional de BioDiversidad”, convocado por Walter G. Rosen, simplemente para abreviar los términos de “Diversidad Biológica”. Estos últimos dos vocablos habían sido utilizados desde inicio de los ochentas como definición de “la variabilidad de los seres vivos en la biosfera, tanto dentro de una especie dada como entre especies u otros niveles taxonómicos, así como entre ecosistemas u otros ámbitos terráneos.” (Nuñez et al, 2003: 389)

Para el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB), cuyo máximo órgano de gobierno es la Conferencia de las partes (COP), la diversidad biológica queda definida como: (PNUMA 1992: 3):

La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

Dentro del marco legal en México se encuentra la misma de definición del CDB en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA, 2012: 3):

La variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas.

La definición usada por la Comisión Nacional para Uso y Conocimiento de la Biosfera (CONABIO, 2009) es:

La biodiversidad o diversidad biológica es la variedad de la vida. Este reciente concepto incluye varios niveles de la organización biológica. Abarca a la diversidad de especies de plantas, animales, hongos y microorganismos que viven en un espacio determinado, a su variabilidad genética, a los ecosistemas de los cuales forman parte estas especies y a los paisajes o regiones en donde se ubican los ecosistemas. También incluye los procesos ecológicos y evolutivos que se dan a nivel de genes, especies, ecosistemas y paisajes.

Es de notar que en las definiciones expuestas se hace referencia a la variabilidad de organismos que integran la biosfera en cualquier lugar del planeta y a sus tres niveles de

organización: Específico (que existe entre cada especie). Ecológico (entre otras especies, ecosistemas y complejos ecológicos) y Genético (variabilidad en los genes).

La definición por parte de CONABIO incluye aspectos como ubicación de los ecosistemas y los procesos que ocurren dentro de ellos. Aun cuando se alude a prácticamente todos los seres vivos, los organismos microscópicos y unicelulares no fueron parte del análisis de la biodiversidad sino hasta la actualidad. (Nuñez et al, 2003: 390)

El concepto también se fragmenta en relación con la escala de análisis, cuando se ubica en una comunidad individual se llama diversidad alfa, mientras que cuando se quiere comparar los patrones de diversidad de un conjunto de comunidades presentes en una determinada región se conoce como diversidad gamma, de manera que la diversidad beta se define como la diferencia entre la diversidad de 2 hábitats (Smith y Smith, 2006: 594). En este sentido, la propuesta del Índice de este estudio cae dentro la categoría gamma.

2.1.1. Herramientas de cálculo de diversidad biológica

Conforme a las definiciones anteriores, la biodiversidad puede extenderse como la riqueza de especies que existen en un lugar, para lo cual es necesario estimar el número de individuos y de especies dentro de una comunidad, así como las diferencias entre las mismas.

De acuerdo con la compilación de métodos de medición de diversidad biológica en Moreno (2001: 57) la diversidad gamma se forma a partir de la conjunción entre alfa y beta para estimar el número de especies existentes en una dimensión espacial. La fórmula (2.1.1.1) describe esta relación. Donde diversidad alfa promedio = número promedio de especies en una comunidad, diversidad beta = inverso de la dimensión específica, es decir, 1/número promedio de comunidades ocupadas por una especie y dimensión de la muestra = número total de comunidades.

$$Gamma = diversidad\ alfa\ promedio * diversidad\ beta * dimensión\ de\ la\ muestra \quad (2.1.1.1)$$

De igual forma en la ecología se supone que la diversidad gamma es igual a la diversidad alfa promedio más la diversidad beta, de forma que el cálculo basado en riqueza de especies está expresado en la fórmula (2.1.1.2) donde q_j = peso proporcional de la comunidad j , basado en su área o cualquier otra medida de importancia relativa. S_T = Número total de especies registradas en el conjunto de comunidades, S_j = Número de especies registradas en la comunidad j .

$$Gamma = alfa\ promedio + \sum_j q_j(S_T - S_j) \quad (2.1.1.2)$$

El Índice de Shannon se construye a partir de la frecuencia promedio de la especie en un conjunto de comunidades con la forma (2.1.1.3) donde P_i = frecuencia promedio de la especie i en el conjunto de comunidades, q_j = ponderador de importancia de la comunidad j , H =Índice de Shannon-Wiener de la comunidad j , p_i =frecuencia de la especie i

$$\begin{aligned}
 \text{Gamma} &= \text{alfa promedio} + \left(-\sum_i P_i \ln P_i - \sum_j q_j H_j \right) \\
 P_i &= \sum_j q_j p_{ij} \\
 H &= -\sum_i p_i \ln p_i
 \end{aligned}
 \tag{2.1.1.3}$$

Para el Índice de Simpson la diversidad gamma está dada por (2.1.1.4) donde: λ = Índice de Simpson de la diversidad alfa, p_i^2 = abundancia proporcional de la especie i , P_i =frecuencia de la especie i , q_j = ponderación de la comunidad j

$$\begin{aligned}
 \text{Gamma} &= \text{alfa promedio} + \sum_j q_j \lambda_j - \sum_i P_i^2 \\
 \lambda &= \sum_i p_i^2
 \end{aligned}
 \tag{2.1.1.4}$$

Si bien esta lista no es exhaustiva en la enumeración de los distintos enfoques y métodos existentes para medir la diversidad biológica, muestra los cálculos más comunes. Se resalta que cada uno posee ventajas y desventajas, por lo tanto no existe un mejor método y que son objeto de críticas y escrutinio. En este contexto la propuesta IBP del estudio busca incorporarse como una herramienta adicional al repertorio.

2.1.2. Impactos estudiados del Cambio Climático sobre la biodiversidad a nivel global

El cambio en los patrones de clima tendrá un efecto sobre los ecosistemas, acuáticos y terrestres, sin distinción entre áreas urbanas o naturales. La temperatura promedio de la superficie terrestre observó una anomalía de +0.87° C por encima de los niveles preindustriales de 2006 a 2015, el calentamiento debido a la acción humana se ubicó entre 0.8° C y 1.2° C para 2017, esto es resultado de los métodos de detección y atribución de variaciones en el clima (IPCC, 2018a: 183).

De acuerdo con Oppenheimer, et al (2014: 1054) el impacto en los sistemas humanos se sintetiza en la pérdida de servicios ecosistémicos provistos por la biodiversidad y que son resultado del forzamiento radiativo inducido por la acción humana. La tabla 5 sintetiza algunos de los efectos del CC sobre distintos indicadores de los ecosistemas terrestres, tales como: biomas, fenología, extinciones, abundancia, rango de especies, funciones de los ecosistemas. Una lista completa de tales estudios es una tarea que excede los límites de esta investigación.

Los biomas han sufrido un cambio en su altitud y latitud como producto del mismo fenómeno según Settele, et al (2014: 294), sin embargo hay una gran cautela asociada a estas aseveraciones. En el mismo sentido Warszawski et al (2013: 6) muestra que con un cambio de 1.5° C, un promedio de 6.5% de los biomas se transforma y con 2° C, 13%.

Un ejemplo de argumento de contención para aumentos de la temperatura en 1.5°C o menores se encuentran en Gerten et al (2013: 8) y Seddon et al (2016: 231) donde encuentran que cambios en los biomas del Ártico, sur de África, Australia, Himalaya, Tíbet y de tundra y bosque lluvioso de la mayoría de continentes pueden ser evitados si se logra dicho objetivo.

Tabla 5. Indicadores de relación CC-Biodiversidad a nivel global.

Indicador	Efecto
Biomas	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en localización
Fenología	<ul style="list-style-type: none"> • Adelanto de fenología de primavera • Florecimiento y follaje • Reproducción y migración de aves • Reproducción de insectos • Emparejamiento de relaciones inter especies
Extinciones, abundancia y rango de especies	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en rangos geográficos y distribución espacial • Extinciones locales • Amenaza a variaciones climáticas • Cambios en patrones de polinizadores • Cambios en las proporciones de género
Funciones de los ecosistemas	<ul style="list-style-type: none"> • Productividad y fotosíntesis • Sumideros de carbono • Incendios forestales

Fuente: Elaboración propia con información de Uribe, 2015, IPCC, 2018a, CEPAL, 2011.

Dentro de la fenología de primavera se estima un adelanto de entre 2.45 y 3.15 días por década para plantas y animales del Hemisferio Norte causadas por variaciones en el clima (Settele, et al, 2014: 292). La fenología de bosques tropicales posiblemente esté más relacionada con las condiciones de la humedad con una tendencia consistente de acuerdo con Parmesan y Hanley, 2015: 854). En bosques templados se espera que avance 14.3 días para el periodo 2010-2039 y 24.6 días en el mediano plazo para 2040-2069 (Roberts et al, 2015: 2608)

La incubación y migración de aves descrita por Wu y Shi (2016: 150) ha observado también un adelanto de la fenología de primavera. Dichas modificaciones en la fenología de plantas e insectos puede inducir a un desencuentro en el tiempo de procesos complementarios; las proyecciones para Reino Unido indican que el cambio en los consumidores primarios es mayor, lo que provoca un riesgo para los procesos involucrados en los ecosistemas (Thackeray et al, 2016: 243).

Las especies cuya determinación sexual depende de la temperatura son vulnerables a variaciones de largo plazo en la misma al relacionarse con la proporción macho-hembra.

Escobedo-Galván (2013: 728) indica que para estudios con reptiles, aún con aumentos en la temperatura media, la fluctuación o el límite inferior y superior es lo que tienen un peso mayor en la determinación sexual, sin embargo, dada la compleja relación molecular, ambiental y genética que determina el sexo en el periodo de gestación o fuera de ella, es que no hay una temperatura límite determinada.

Los rangos geográficos de especies terrestres y de cuerpos de agua se han movido como consecuencia del calentamiento en 17 km hacia los polos y 11 m en altitud por década (IPCC, 2013), un ejemplo se da en la varianza de poblaciones de aves del Hemisferio Norte, donde dicho movimiento es predicho por los cambios en los patrones climáticos (Stephens et al, 2016: 86). Wiens (2016: 4) encuentra que de 27 estudios, correspondientes a 976 especies, 47% de las extinciones locales durante el siglo XX pueden atribuirse al CC. Los cambios en las poblaciones de polinizadores y por tanto las consecuencias de esto aún no se determinan con claridad, dada la diferente respuesta de las especies (Rafferty, 2017: 23)

Warren et al (2018: 793) encuentra que con un aumento de la temperatura de entre 2°C y 4°C para 2100 podría inducir a la pérdida de rango geográfica de más de 50% para 3,572 especies de insectos, 994 de vertebrados y 11,715 especies de plantas. De manera global se espera que todas las especies pierdan entre 20% y 27% de su rango.

La productividad neta de ecosistemas terrestres se ha incrementado a nivel global desde los niveles pre-industriales derivado del aumento de la concentración de CO_2 , de la misma forma los stocks de carbono en forma de biomasa y suelo han ido en aumento, sin embargo, son vulnerables a la pérdida del mismo por el aumento en la frecuencia de tormentas, incendios y degradación del suelo (Seidl et al, 2017: 399).

Las investigaciones seminales de Hughes (2000: 60), Root, et al (2003: 59), Parmesan (2006: 644) y Lovejoy (2008) son una importante referencia en los estudios de relación CC-Biodiversidad: Cambios en fenología de plantas dado el incremento de CO_2 atmosférico y de temperatura, disminución de la productividad primaria a través del fitoplancton en mares de la región del Ártico por rápido el derretimiento de glaciares, disminución de individuos arbóreos endémicos del Ártico, cambios latitudinales en las distribuciones potenciales de insectos voladores.

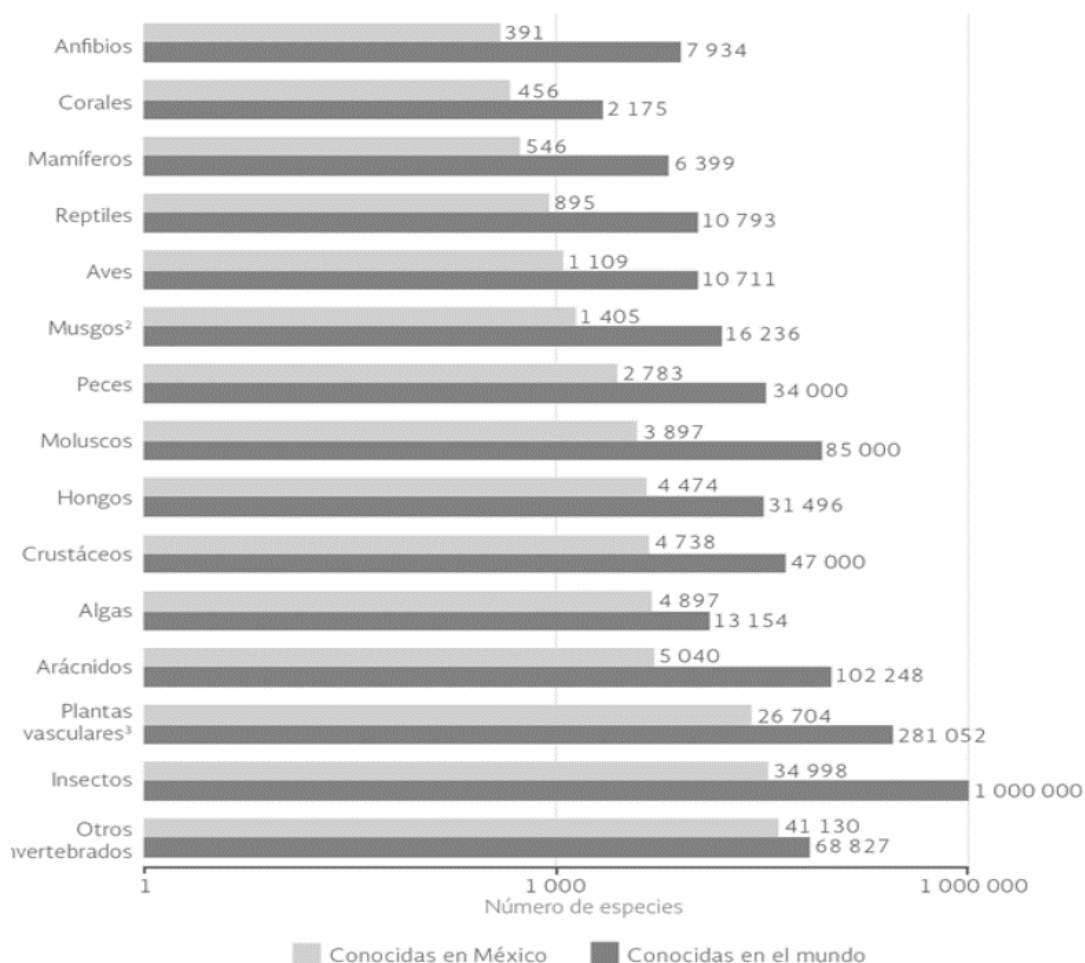
Los cambios estimados en la fenología de primavera, con un adelanto entre 5 y 5.2 días, para 694 especies durante la segunda mitad del siglo XX puede provocar desajustes en el tiempo de sucesos de especies relacionadas entre sí. Extinciones locales o desplazamiento son probables en especies y ecosistemas de montaña y alpinos así como la mayor frecuencia de eventos de blanqueamiento de corales.

No se puede negar que la contribución al CC reciente causada por fuentes antropocéntricas mantiene una estrecha relación de cambio con los impactos en los ecosistemas y comunidades naturales globales, cuyas fluctuaciones suceden de acuerdo a los modelos teóricos que comprenden el entendimiento de la temperatura y precipitación en diferentes latitudes, regiones y sistemas.

2.1.3. Estado de la biodiversidad en México

México es un país que cuenta con la denominación de país Megadiverso, ya que cuenta con aproximadamente el 10% de biodiversidad mundial, con la salvedad de que se estima que sólo se tengan registradas entre el 30% y el 50% del valor real nacional. (Martínez-Meyer et al, 2014: 2). Las complejas relaciones entre el clima, fisiografía, latitud y geología forman un entramado de ecosistemas propicio para que el país presente esta alta biodiversidad con especies tropicales, boreales y su conjunción, misma que se distribuye de manera desigual a lo largo del territorio.

Gráfica 27. Diversidad de especies en el mundo y México.



Fuente: SEMARNAT, 2018.

Particularmente los grupos taxonómicos estudiados presentan correlación con el patrón de latitud donde a mayor cercanía al Ecuador, mayor riqueza de especies (SEMARNAT, 2012: 157). La gráfica 27 muestra la diversidad biológica en México y el Mundo al 2017, siendo la mayor para otros vertebrados con 41,130 especies registradas, seguidas de insectos y plantas con 34,998 y 26,704 especies.

Respecto a algas, aves y hongos los valores absolutos son menores (4,897, 1,109 y 4,474, respectivamente), sin embargo en términos relativos corresponden a las cifras más altas con 37.22%, 10.35% y 14.20% respectivamente. Los reptiles se agrupan principalmente en los estados de Oaxaca, Veracruz y Chiapas, mientras que para los mamíferos se adiciona Jalisco, lo anterior da como resultado que el país sea el segundo con mayor número de reptiles registrados por detrás de Australia.

El endemismo es definido como la presencia exclusiva en una determinada región geográfica de una especie, el cual abona a la alta diversidad biológica observada en el país. Para 2017 el 37% del total de especies de Orquídeas nacionales resultaron endémicas, el 65% de Cactáceas, 30% de Mamíferos, 57% de Reptiles, 66% de Anfibios y 17% de Aves (SEMARNAT, 2018).

La distribución geográfica del endemismo es disímil en el espacio, siendo que para 2008 se presenta una forma de “U” sobre el territorio para el caso de Aves, Reptiles y Anfibios coincidiendo con la región de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y Sierra Madre Oriental, está situación se confirma con la presencia de hotspots en dichas regiones (Anderson et al, 2008: 1).

Los Reptiles endémicos se distribuyen desde el sur de Sonora y las costas Orientales de la Península de Baja California por todo el Pacífico hasta Chiapas, con la mayor concentración en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y una porción de Chiapas. Por el lado occidental se encuentran desde el sur de Nuevo León y el Suroeste de Tamaulipas hasta el centro de Veracruz.

Los Mamíferos presentan un rango más amplio, al ubicarse prácticamente en la totalidad del territorio nacional. Sin embargo su concentración se observa principalmente en la costa del Pacífico y el Centro del país, siendo Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Guanajuato y Estado de México los que albergan un mayor número.

Las especies de Anfibios tienen presencia a lo largo de la costa Pacífico, Noroeste de Veracruz y el Centro, yendo desde el sur de Sonora y Chihuahua, pasando por Durango, Zacatecas, Sureste de San Luis Potosí hasta el oeste de Chiapas. Sin embargo, las mayores concentraciones se ubican más dispersas, tendiendo el sur de Sinaloa, Jalisco, Colima, oeste de Guerrero y Veracruz como lugares predilectos.

Así como los mamíferos, las Aves también tienen presencia endémica a lo largo de todo el país, manteniendo una clara distribución a lo largo de las Sierras Madre y el Eje Neovolcánico, con las concentraciones más altas en una cobertura más amplia, yendo desde la frontera entre Sonora y Chihuahua, la costa del Pacífico hasta el sur de Oaxaca, principalmente en el oriente de Jalisco, Michoacán, Guerrero y el centro del país.

La tabla 6 muestra la distribución de las especies de vertebrados por Entidad Federativa para 2017, desagregada por peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Baja California Sur y Sonora lideran la lista en el rubro de peces con 306 y 241 registros, respectivamente. Con 159 y 102 especies, respectivamente, Oaxaca y Chiapas tienen la mayor contribución de

anfibios en el país, mientras que en Baja California Sur y Guanajuato se han registrado 5 y 13 especies.

En términos de reptiles los mayores valores se concentran en Veracruz y Oaxaca con 320 y 314, respectivamente, sin embargo este grupo tiene mayor presencia en todo el territorio ya que los estados anteriormente mencionados más Coahuila, Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Puebla, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Chiapas tienen registradas a más de 100 especies cada uno, lo que implica que las condiciones del país son particularmente propicias para el desarrollo de dicho grupo.

Tabla 6. Riqueza de especies de vertebrados registrados por entidad federativa, 2017.

Entidad Federativa	Peces	Anfibio	Reptil	Ave	Mamífero	Entidad Federativa	Peces	Anfibio	Reptil	Ave	Mamífero
Aguascalientes	7	15	59	253	46	Morelos	16	40	84	357	107
Baja California	78	18	97	447	123	Nayarit	32	29	89	525	135
Baja California Sur	306	5	82	402	99	Nuevo León	41	27	113	654	126
Campeche	110	20	97	442	127	Oaxaca	111	156	314	743	206
Coahuila	37	20	123	353	112	Puebla	13	74	142	595	142
Colima	19	25	97	465	119	Querétaro	11	23	88	430	105
Chiapas	131	102	235	686	211	Quintana Roo	71	20	106	462	109
Chihuahua	55	36	165	425	147	San Luis Potosí	25	35	122	513	152
Ciudad de México	7	16	40	306	82	Sinaloa	99	39	119	477	115
Durango	39	30	108	425	150	Sonora	241	39	166	520	159
Guanajuato	17	13	52	321	68	Tabasco	93	24	88	490	109
Guerrero	43	69	175	520	140	Tamaulipas	55	45	132	532	149
Hidalgo	13	56	129	494	116	Tlaxcala	2	20	36	301	54
Jalisco	150	44	148	540	202	Veracruz	120	99	320	683	198
México	12	34	82	397	124	Yucatán	115	16	92	357	115
Michoacán	49	44	155	501	162	Zacatecas	14	16	82	352	120

Fuente: SEMARNAT, 2018.

En lo referente a aves el país también tiene incentivos para su desarrollo, del total de registros para 2017, Oaxaca, Chiapas y Veracruz presentan 743, 686 y 683 especies, sin embargo el mínimo para este grupo radica en Aguascalientes, siendo la tercera parte del número de registros para Oaxaca, en promedio se tienen 468 especies por Entidad.

La distribución espacial de mamíferos es en promedio más alta que para los reptiles, sin embargo, no es mayor que en el caso de las aves y presenta una menor dispersión. La media de especies es aproximadamente 129 especies por estado, con los máximos ubicados en Chiapas, Oaxaca y Jalisco, con 211, 206 y 202, respectivamente, mientras los números más bajos se ubican en Aguascalientes y Tlaxcala con 46 y 54 registros. En el análisis realizado en cada uno de los grupos anteriores se contempla el número de registros para el estado contando con las duplicidades, de esta manera una misma especie puede estar registrada en más de una Entidad.

2.1.4. Impactos estudiados del Cambio Climático sobre la biodiversidad a nivel país

De acuerdo con Tamayo et al (2016: 15), la Estrategia Nacional sobre Biodiversidad de México (ENBM) considera que los principales riesgos que enfrenta la Biodiversidad en el país son: degradación, sobreexplotación de especies, pérdida de ecosistemas, efectos adversos en el uso de organismos modificados, especies invasoras, contaminación, uso de suelo y Cambio Climático. Estos factores inciden en la población a través de las consecuencias en la fenología, distribución y fisiología de especies, incluyendo las de fines de consumo alimenticio.

En la misma Estrategia se destaca que el CC incide en los ecosistemas marinos a través de aumentos en la concentración de CO_2 , aumento de temperatura y la desoxigenación. Los ecosistemas insulares son propensos a las variaciones en el nivel del mar, cambios en los patrones de precipitación, incrementos de acidificación del agua y la frecuencia de los eventos extremos.

Los ecosistemas de aguas continentales presentan un riesgo más alto, ya que por la vía de la contaminación, la demanda de agua dulce y la pesca esperan modificaciones en la biodiversidad existente, que observa una baja resiliencia a los cambios en las variables climáticas locales del cuerpo de agua, esto se acentúa con el CC por el lado de la precipitación y modificaciones en el ciclo hidrológico.

Un ecosistema fundamental en la actividad económica es el formado por la agricultura, el mismo depende del grado de biodiversidad intrínseca y de las zonas aledañas. La conjunción adecuada de suelo, cultivos, animales y vegetación natural da como resultado las relaciones funcionales del reciclaje de nutrientes y el microclima. El impacto del CC en ellos puede provocar estrés térmico, erosión de suelos, incremento de incendios forestales y de plagas, así como disminución de polinizadores.

Los ecosistemas con vegetación de bosques, manglar, sabana, pantano y de agricultura esperan un cambio en la zona de confort de su desarrollo para México y Centroamérica provocado por un aumento en la temperatura en un entorno modelado “A2²”, así mismo, en un escenario de emisiones altas, para 2050 la Península de Yucatán espera variaciones climáticas que presionen los límites de condiciones ideales para las especies. (Anderson et al, 2008: 26, 32)

La gráfica 28 presenta el porcentaje de especies en cada clase investigada y la probabilidad de que las condiciones espaciales se vean modificadas por las variaciones climáticas entre 2015 y 2039 en una Trayectoria RCP 8.5, llamadas Condiciones No Análogas, haciendo que se encuentren en un entorno poco favorable para su desenvolvimiento. Prácticamente todas las clases consideradas presentan una probabilidad media a alta de trasladarse a Condiciones No Análogas. En ella se muestra para la clase reptilia el 36.96% de especies incluidas tiene

² Escenarios climáticos a partir de registros de emisiones y estimaciones de desarrollo socioeconómico. Existen dos magnitudes de desarrollo A: alto crecimiento económico, B: crecimiento moderado. Respecto al tipo de crecimiento 1: tendencia a globalización, 2: crecimiento a nivel regional. Combinándose en A1B, A2,B1, B2. (Granados et al, 2014: 477)

una probabilidad muy alta de encontrarse en Condiciones No Análogas para dicho escenario como resultado del endemismo.

Los amphibia tienen una distribución casi equiprobable, donde el mayor porcentaje en 29.41% tiene una probabilidad media. Las aves tienen el porcentaje más alta de especies cuyo traslado probable es bajo con 52.31% como resultado de la facilidad para la migración. En la clase cycadopsida las especies consideradas no tienen alguna probabilidad baja de cambio de condiciones, dos terceras partes esperan una probabilidad media de traslado. La clase de insecta incluida en el estudio tiene una probabilidad en entre 75% y 100% de cambio a Condiciones No Análogas.

Dentro de la clase mammalia su mayor porcentaje tiene una muy alta probabilidad de observarse en condiciones alteradas por la trayectoria de CC con un 32.14%, mientras el 28.57% tiene una probabilidad media.

Gráfica 28. Especies por clase y categoría de cambio a condiciones No Análogas.



Fuente: INECC, 2017.

Esto aporta evidencia en la relación entre el impacto del CC en los ecosistemas y sus condiciones basales, provocando cambios en la distribución de las especies habitantes lo que aumenta la posibilidad de adaptación de las especies, su migración o en el peor de los casos la disminución de individuos.

De acuerdo con Granados et al (2014: 483) los rangos de alto potencial en la planta de café se dan entre 14°C y 28°C, así como 1,400 mm y 2,300 mm de precipitación. En su estudio encontraron que en un escenario A2 a 2080 los cambios en la temperatura aumentan el riesgo de deshidratación de tejido y cambio de tono el follaje provocando su caída.

Los efectos en la distribución potencial del maíz muestran que para 2030 en 43 de las 47 razas existentes en el país se espera una disminución de su rango geográfico y en 2050 44

reducen sus áreas, ambos periodos bajo escenario A2. El aumento en la temperatura incide directamente en su fisiología, fenología y rendimiento a la baja (Ahumada et al, 2014: 51).

Monterroso-Rivas et al (2012: 41) llevan a cabo su estudio en aproximadamente 266,000 ha de bosque mesófilo montano del estado de Hidalgo, encontrando que dicho ecosistema es especialmente sensible a los impactos del CC, ya que para 6 de las 8 especies consideradas la superficie idónea de crecimiento se ve reducida en 2050 por las condiciones climáticas adversas. En el estado de Jalisco los aumentos en la temperatura estimados para 2050 establecen que el área no apta para el crecimiento del maíz espera un incremento, con las zonas más vulnerables del centro y norte del estado (Tinoco et al, 2010: 167).

En un estudio respecto a 405 especies de mamíferos endémicos en el país, Aguado y Escalante (2014: 105) hallaron que en 10, de las 23 áreas de endemismo determinadas, se esperan incrementos de su superficie en al menos un modelo de circulación general, sin embargo, sólo entre el 60% y 69% de las áreas se mantiene en su ubicación actual para 2090 en escenario A2 y 58% de las distribuciones de las especies se desplazan al norte.

Se espera que la mortalidad de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) incremente a raíz del CC de acuerdo con la temperatura durante la noche en las regiones donde la especie pasa el invierno (diciembre-febrero), encontrando que las regiones óptimas reducen su extensión en 73% para mediados del siglo en un escenario A2 (Barve et al, 2012 :819)

En un análisis prospectivo de estudios de CC sobre las aves realizado por Feria et al (2013: 48) destaca que en dichas especies los efectos versan sobre la actividad humana por efecto de los servicios ecosistémicos que prestan. En América cerca del 15% de las plantas son polinizadas por aves consumidoras de néctar, mientras que entre el 30% y 70% de las semillas es dispersada por consumidoras de frutas, que las poblaciones de insectos pueden ser controladas entre 20% y 70% y disminuir las plagas en 10%. Se estima que para 2055 la distribución de especies cambie en un 40% por efecto de extirpaciones y desplazamientos.

El efecto del fenómeno climático en 5 especies arbóreas de bosque templado fue investigado por Gutiérrez y Trejo (2014: 182). Las especies del estudio presentaron condiciones óptimas dentro de un intervalo climático de 9°C a 16°C y de 733 mm a 1,792 mm. Para la totalidad de ellas se estiman reducciones en su distribución potencial para el año 2050 respecto del tiempo de estudio; desde 44% a 79% para dos especies dependiendo el escenario A2 o B1 considerado, 34% a 48% para otras 2 especies en B1 y las consecuencias más graves para 3 especies en A2 con entre 69% y 86% de reducción.

Barradas et al (2011: 76) estiman un cambio en la composición del bosque pino-encino de la zona montañosa central del estado de Veracruz provocado por variaciones climáticas. *Q. candicans* podría desaparecer de dicha región dado el estrecho intervalo de temperatura para su desarrollo, sin embargo, puede haber un traslado altitudinal si existen los dispersores de semillas necesarios. *Q.sartorii* presenta riesgos en su distribución derivada del incremento de la radiación en la zona, la misma es producto de la disminución de nubosidad por variaciones en la precipitación.

En síntesis, la biodiversidad de México es vulnerable a cambios en las variables climáticas derivado de las complejas relaciones y procesos inmiscuidos entre la biota y la abiota. De tal forma que no está ausente de riesgos en los ámbitos de migración de especies, cambio en sus distribuciones geográficas y número de individuos, disminución de la productividad agrícola, cambio en la fenología y degradación de los distintos ecosistemas.

2.2. Metodología del Índice de Biodiversidad Potencial

La medición es clave para realizar un diagnóstico de la situación de los ecosistemas, teniendo presente la incertidumbre relacionada con la exactitud del número de individuos o especies hasta ese momento clasificadas, y su desenvolvimiento respecto de las variaciones del sistema climático pero también como punto de partida para políticas particulares de conservación y protección de ecosistemas así como su evaluación.

Los instrumentos de medición citados anteriormente son de gran utilidad para investigaciones de campo, sin embargo, para los objetivos del presente estudio se requiere una aproximación del total de especies, algo que resultaría costoso desde su enfoque.

Por lo que después de analizar los distintos instrumentos para determinar la riqueza de especies, se optó en este estudio por construir un índice que si bien no estima el número existente de especies, indica la probabilidad de encontrar mayor o menor diversidad dependiendo los valores de diferentes condiciones ambientales.

2.2.1. Índice de Biodiversidad Potencial aplicado a la República Mexicana

El Índice de Biodiversidad Potencial (IBP) representa la probabilidad de encontrar mayor o menor riqueza específica en un espacio geográfico determinado, agrupa variables relacionadas con el ambiente para obtener un valor cuya interpretación depende de los valores máximos permitidos matemáticamente; es de carácter ordinario. Esto implica que un IBP cercano al límite superior representaría una zona con las condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de mayor cantidad de especies dentro de las comunidades.

El índice depende de las variables de: Superficie de ecosistemas, superficie total, precipitación, temperatura, latitud y altitud, esta última considerada como curvas de nivel y disponibilidad de agua (CEPAL, 2011: 172).

Las variables utilizadas en la construcción en este caso son: Superficie total del municipio, superficie con ecosistemas distintos a urbanos y agropecuarios, latitud medida en decimales, número de curvas de nivel, temperatura y precipitación promedio.

La información fue extraída del Compendio de información estadística municipal de INEGI edición 2010, por lo que sólo se incluyen los municipios existentes hasta ese año, sin bien la colección de información terminó en 2015; donde la superficie de ecosistemas es igual a la suma del suelo continental que no es de agricultura, urbano o pastizales, lo anterior no implica que no existan ecosistemas en dichos medios, pero esas condiciones se encuentran más allá de los límites de esta investigación. Los datos de superficie se transformaron de proporción a números absolutos usando la superficie en miles de Km² de cada entidad federativa

Las variables de temperatura y precipitación se promediaron del máximo y mínimo observado para cada municipio. La latitud se formó a partir de la conversión de grados longitudinales a grados decimales y después promediando el valor mínimo y máximo. Las curvas de nivel fueron construidas con el rango de altitud, determinando una curva cada 200 metros (INEGI, 2000)

Una vez organizada la información se procedió a procesarla a través de una normalización para cada una de las variables de interés con la fórmula:

$$z_i = \frac{x_i - \mu}{\sigma} \quad (2.2.1.1)$$

Donde x_i = valor de la variable aleatoria para la observación i , μ = media de la distribución de la variable, σ = desviación estándar de la variable, z = número de desviaciones estándar existentes desde x_i a la media de la distribución.

Al tener el valor z de cada observación el paso siguiente fue calcular un promedio ponderado para cada uno de los municipios de la forma:

$$\bar{x}_p = \frac{\sum_{i=1}^n z_i w_j}{\sum_{i=1}^n w_j} \quad (2.2.1.2)$$

Siendo w_j = ponderación de la variable j y \bar{x}_p = promedio ponderado correspondiente a la observación i . Al sustituir con las variables consideradas el estadístico queda expresado como:

$$\bar{x}_p = \frac{ztm_i + zpr_i + ztkm_i + zse_i - lat_i + (zcn_i * palt_i)}{5 + palt_i} \quad (2.2.1.3)$$

Donde ztm_i = valor normalizado de la temperatura para la observación i , zpr_i = valor normalizado de la precipitación, $ztkm_i$ = valor normalizado del total de miles de kilómetros cuadrados del municipio, zse_i = valor normalizado de la superficie con ecosistemas en miles de kilómetros cuadrados, lat_i = valor normalizado de latitud decimal, zcn_i = valor normalizado de curvas de nivel, $palt_i$ = ponderador de altitud. El valor 5 del denominador en (2.2.1.3) es resultado de la suma de ponderadores iguales a 1 que afectan a cada variable excepto zcn_i , mientras que el signo negativo en la latitud indica que el valor de probabilidad aumenta al acercarse a la línea del Ecuador.

Este cálculo hizo posible que a altitudes mayores o iguales a 2200 m la ponderación fuera menor en el resultado, siendo 0; aumentando en 0.1 cada 200 metros al acercarse al nivel del mar (0 m). Finalmente se obtiene la probabilidad asociada a una función de densidad de probabilidad normal estándar con la forma $N \sim (0,1)$, esto significa el área bajo la curva que corresponde al valor \bar{x}_p calculado con (2.2.1.3)

El índice tiene valores que van del rango de 0 a 1, donde un valor cercano a 1 muestra mayor probabilidad de encontrar una biodiversidad más alta.

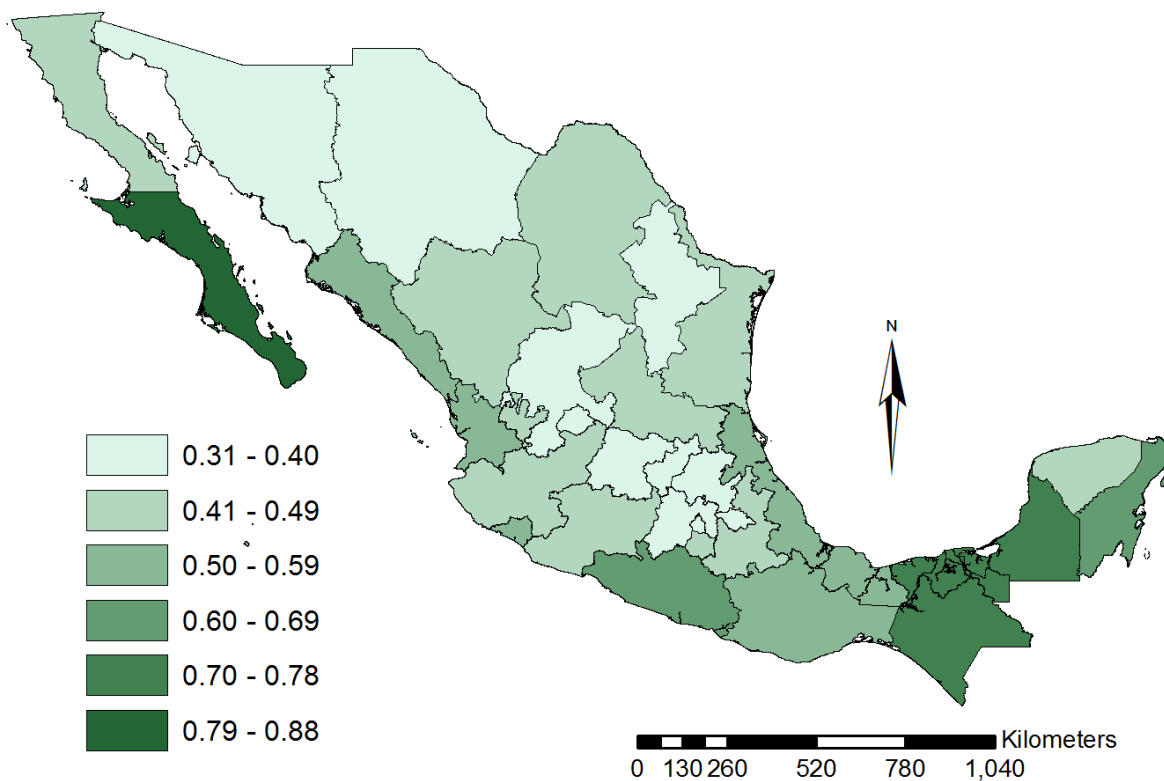
El mapa 7 muestra el IBP generado para cada entidad federativa utilizando un promedio simple para agrupar los datos obtenidos por cada municipio en un solo valor estatal, fue creado con base en la carta de uso de suelo serie III de INEGI con año base 2002 y las características climáticas municipales de 2010. El número de clases en los datos agrupados y los respectivos intervalos de clase fueron construidos a partir de la regla de Sturges con $N=32$, dicha construcción se mantiene en cada horizonte por cada variable de interés prospectivo.

$$\text{Número de clases} = 1 + 3.322 * \log(N) \quad (2.2.1.4)$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{\text{IBP estatal máximo} - \text{IBP estatal mínimo}}{\text{Número de clases}} \quad (2.2.1.5)$$

$$\text{Intervalo de clase} = \frac{0.8319 - 0.3094}{1 + 3.322 * \log(32)} = 0.0870 \quad (2.2.1.6)$$

Mapa 7. Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, México. 2002-2010.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

La entidad con mayor IBP es Baja California Sur con un valor de 0.8319, prácticamente la única entidad en el último intervalo de clase, debido a la superficie de ecosistemas que se observa en los municipios, esto es un fenómeno presente en la Península de Baja California. Seguido de Campeche, Baja California, Chiapas y Quintana Roo en el intervalo entre 0.73-0.82.

Los estados de Guerrero y Tabasco ocupan el rango de 0.63 y 0.72. Sinaloa, Oaxaca, Veracruz, Colima, Coahuila y Nayarit se encuentran dentro la clase 0.52-0.62. Durango, Morelos, Chihuahua, Michoacán, Puebla, San Luis Potosí, Yucatán, Jalisco y Tamaulipas clasificados en la segunda clase, el 46% de las entidades se encuentra en los intervalos medios al igual que el IBP nacional con 0.5194 +/- 0.1457 unidades.

Mientras que Aguascalientes, Ciudad de México, Tlaxcala, México, Nuevo León, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo y Zacatecas se posicionan en la primera clase, de 0.31-0.41. Se debe destacar que al ser un mapa elaborado en base a promedios existe un sesgo en el valor que cada entidad puede presentar. De esta forma las entidades federativas con grandes extensiones territoriales, de ecosistemas no alterados, precipitación y temperatura adecuadas arrojan un índice más alto. El hecho de tener más curvas de nivel implica la existencia de diferentes ecosistemas determinados por la altitud.

2.2.2 Antecedentes a la medición del Impacto en la biodiversidad por Cambio

Climático a través del IBP

Para lograr capturar de manera más precisa el efecto del CC sobre la biodiversidad se desagregan 2 escenarios, el primero está determinado por la ausencia de CC, es decir, los cambios medidos por efecto únicamente del cambio de uso de suelo, nombrado Escenario Base; dejando tanto temperatura como precipitación constantes en las proyecciones. El segundo escenario incorpora ambos tipos de variables, de esta manera se obtiene un comparativo en los mismos periodos de análisis.

La delimitación de tiempo se hizo respecto a la base de datos de Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS) en Fernández et al (2015), teniendo dos horizontes, cercano correspondiente a 2015-2039 y lejano de 2075-2099, ambos existentes para dos trayectorias, RCP 4.5 y RCP 8.5. Teniendo comparativos entre temporalidad, espacio y escenarios de emisiones.

2.2.2.1. Cambio de Uso de Suelo.

La estimación de uso de suelo futuro y por ende el cambio entre un momento y otro se tomó de la instrumentación utilizada en SEMARNAT (2010: 196) y Velázquez et al (2002). En sus estudios se analiza la posibilidad de utilizar la transformación de un estado a otro a través de una matriz de transición y aplicarlo al cambio de uso de suelo. La matriz de transición es entonces un arreglo que sintetiza la probabilidad de cambio de un punto a otro.

Las bases de datos seleccionadas son las “Cartas de Uso de Suelo y Vegetación”, publicadas por INEGI en sus series IV y VI para los años 2004 y 2014, respectivamente, extrayendo información para cada entidad federativa por cada tipo de vegetación o suelo existente en ese

momento en ambas series, por lo tanto, se calcularon 32 matrices. Dichas fueron construidas utilizando un programa de sistema de información geográfica que identifica y tabula los cambios entre un tipo de suelo a otro, finalmente los datos son transformados de superficie a probabilidad por medio de proporciones simples.

Teniendo entonces una ecuación matricial para cada entidad de la forma:

$$T_i * X_i^0 = X_i^1 \quad (2.2.2.1)$$

Donde T_i = Matriz de transición para la entidad i expresada como probabilidad, X_i^0 = Vector de uso de suelo en el tiempo 0 inicial para la entidad i , expresada en metros cuadrados, X_i^1 = Vector de uso de suelo en el periodo 1 para la entidad i en metros cuadrados. El objetivo de la matriz de transición es su uso para estimar estados futuros desde uno inicial. Las cadenas de Markov son el fundamento matemático de lo anterior pues resultan útiles para calcular periodos más allá de la transición que se haya obtenido, utilizando la misma matriz de acuerdo con:

$$X_{t+n} = T_i X_{t+(n-1)} = T_i^2 X_{t+(n-2)} = \dots = T_i^n X_{t+(n-n)} \quad (2.2.2.2)$$

Donde n = número de periodos de proyección en años. Esto es posible gracias al supuesto de estabilidad que presenta la matriz de transición, las probabilidades y los valores son estacionarios (Lay, 2012: 55). De acuerdo con Pérez-Miranda et al, (2011: 65) si el vector resultante X_i^1 se multiplicara de nuevo por T_i se obtendría un X_i^2 que representaría el estado después del número de periodos entre X_i^0 y X_i^1 . Esto se ejemplifica con la siguiente ecuación con separación multianual de 10 años:

$$\begin{aligned} T_i * X_i^{2004} &= X_i^{2014} \\ T_i * X_i^{2014} &= X_i^{2024} \end{aligned} \quad (2.2.2.3)$$

Los periodos seleccionados para representar los horizontes fueron 2029 y 2089, calculados con la media aritmética de las proporciones de uso de suelo de los años 2024-2034 y 2084-2094 para horizonte cercano y lejano, respectivamente. Se deja de lado el efecto retroactivo que puede tener el cambio de uso de suelo sobre el mismo CC por efecto de sumideros de carbono o que dicho fenómeno facilite o dificulte el cambio entre un tipo de vegetación a otra.

Las ecuaciones que muestran la estimación para los años seleccionados son:

$$\begin{aligned} T_i * X_i^{2014} &= X_i^{2024} \\ T_i * X_i^{2024} &= X_i^{2034} \\ T_i * X_i^{2074} &= X_i^{2084} \end{aligned} \quad (2.2.2.4)$$

$$T_i * X_i^{2084} = X_i^{2094}$$

La tabla 7 muestra la evolución del cambio de uso de suelo agrupado en tres categorías de acuerdo a los fines de la investigación y de manera nacional. El uso de suelo agrícola para 2029 es de 28.66% del total de superficie continental nacional, esto es 562.16 miles de Km2 y para 2089 varía en 1.77%; calculado de la tasa de variación porcentual entre las columnas (3) y (4), representando ahora una proporción de 29.17% del total.

El suelo urbano o de asentamiento humano presenta un crecimiento de casi 8 veces entre el periodo, pasando de apenas una proporción de 1.11% del total en 2014 hasta 9.51%, lo que es equivalente a 38.16 miles de Km2 en 2029 y 186.58 miles de Km2 en 2089, respectivamente. El suelo de ecosistemas presenta una disminución de 13.17%, resultado de la estimación en 2029 de 69.38% de superficie nacional al pasar a sólo 61.31% para el final del periodo, lo que implica una disminución de 158.41 miles de Km2 entre ambos puntos.

Tabla 7. Cambio de uso de suelo, México, horizonte lejano y cercano.

Uso de suelo	2014 (1)	2029 (2)	2089 (3)	Δ% (4)
Agrícola	30.67%	28.66%	29.17%	1.77%
Urbano/Asentamiento	1.11%	1.94%	9.51%	388.92%
Ecosistemas	68.21%	69.38%	61.31%	-13.17%

Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2008 e INEGI, 2017.

Al comparar las cifras con 2014 dicho suelo representa 68.21% del total, una mayor proporción con respecto a 2089, pero menor a lo obtenido para 2029, esto se asocia con un ligero incremento hacia la tercera parte del siglo XXI para luego disminuir y estabilizarse de acuerdo al método de cadenas de Markov (Pérez- Miranda et al, 2011: 69).

El mapa 8 muestra la proporción correspondiente de superficie de ecosistemas para cada entidad federativa para el año 2014, con una superficie mínima de 19.48% en el estado de Tlaxcala, mientras que el máximo se encuentra en Baja California Sur con 96.66% de su superficie compuesta por suelo de ecosistemas. Dada esta variabilidad es que el promedio nacional se ubica en 59.06%

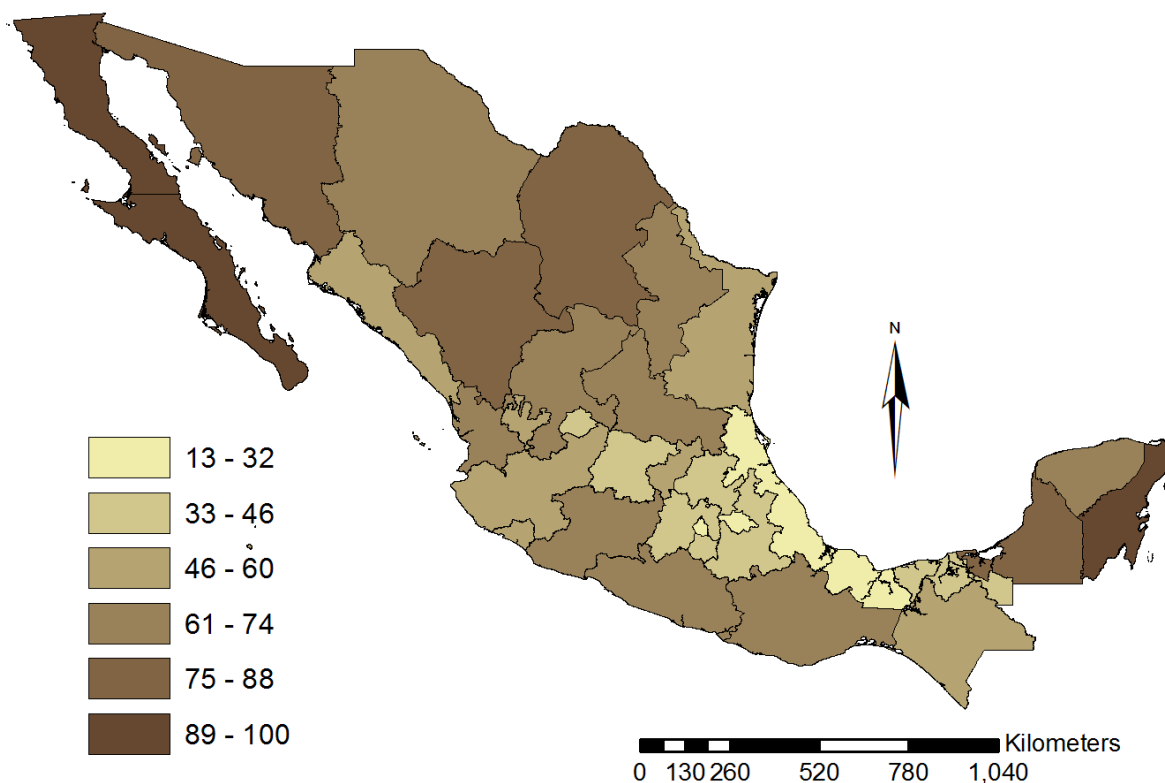
De acuerdo con la estimación para 2029 el promedio de superficie de ecosistemas aumenta a 61.25%, mismo efecto que en el mínimo al pasar a 24.61% localizado en la Ciudad de México, sin embargo, el máximo se conserva en Baja California Sur, pero variando su magnitud al pasar a 95.23% de la superficie de la entidad.

Si bien de manera nacional se aumenta la superficie de ecosistemas, el efecto por estado es disímil, ya que la pérdida más grande se espera en Quintana Roo al pasar del 90.21% de su superficie a 73.78%, de manera inversa la mayor recuperación de dicha superficie se encuentra en Veracruz con un aumento de 37.39 puntos porcentuales entre ambos momentos.

La mitad de las entidades presentan en promedio un aumento de superficie de ecosistemas de 0.08 puntos, mientras que el promedio de pérdidas se ubica en 0.03 puntos.

Al comparar las proporciones de las entidades federativas presentadas en los mapas 9 y 10 por separado se observa que las mayores pérdidas de suelo de ecosistemas entre los 2 horizontes se presentan en Morelos y Guerrero, con disminuciones de más de 20 puntos porcentuales de su superficie total, mientras que entidades con incluso ganancias son Puebla, Tabasco, Veracruz y Michoacán con promedio de 0.01 puntos porcentuales.

Mapa 8. Porcentaje de suelo de ecosistemas por entidad federativa. México, 2014.



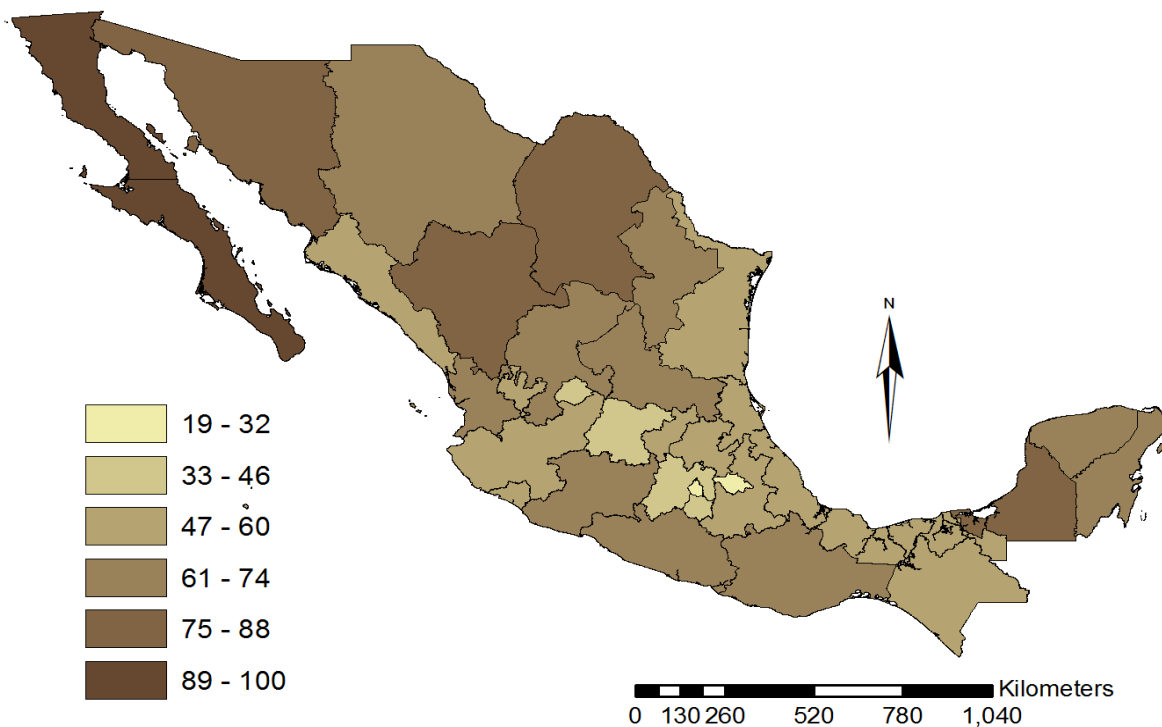
Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2008 e INEGI, 2017.

La media de este indicador es de 0.08 puntos porcentuales con una desviación estándar de 0.07 puntos, sin embargo, la diferencia del rango de pérdidas en 0.36 puntos refleja las diferentes condiciones que existe en cada demarcación, cada entidad experimentará un distinto grado de disminución de suelo de ecosistemas de continuar la tendencia.

Si comparamos todo el periodo la diferencia entre 2014 y 2088 se aprecia en una disminución del promedio por entidad hasta 52.91 puntos porcentuales, sin embargo aún es posible esperar ganancias en la superficie de ecosistemas de algunas entidades como Chiapas, Hidalgo, Michoacán, Puebla, Tabasco, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz con un promedio de 13.36 puntos de aumento. Las pérdidas más graves se esperan en Guerrero con más de 40% de su superficie, seguido de Quintana Roo al pasar de 90.21% de superficie a 73.78%.

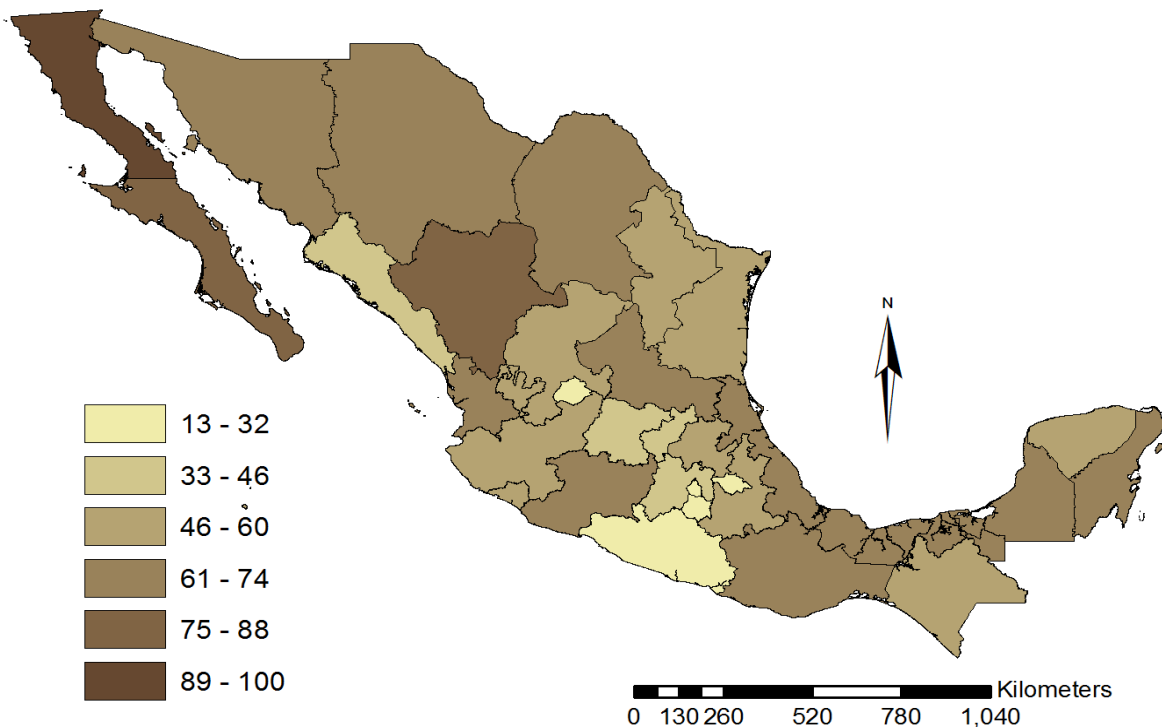
Para 2088 el mínimo se ubica como 13.34% de la superficie de ecosistemas perteneciente a la Ciudad de México, Baja California mantiene el 90.42% de su superficie como ecosistemas, volviéndolo el estado con mayor proporción para dicho horizonte.

Mapa 9. Porcentaje estimado de suelo de ecosistemas por entidad federativa. México, 2029.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2008 e INEGI, 2017.

Mapa 10. Porcentaje de suelo de ecosistemas por entidad federativa. México, 2089.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2008 e INEGI, 2017.

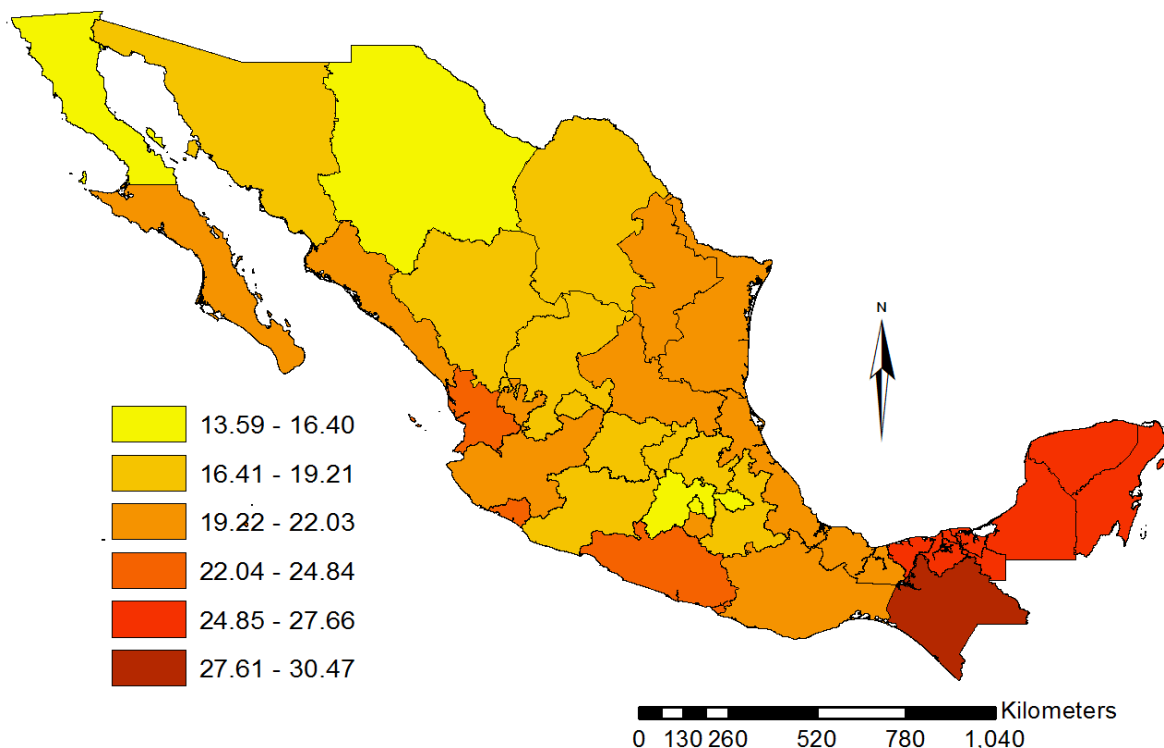
2.2.2.2. Precipitación y temperatura al año 2010 y variaciones en de acuerdo a horizonte cercano y futuro en RCP 4.5 y RCP 8.5.

- **Temperatura**

La temperatura promedio en grados centígrados por entidad federativa a 2010 se muestra en el mapa 11. La media nacional para este año fue de 19.87° C, con una temperatura máxima de 30.42° C para Chiapas, la única entidad observada en el intervalo más alto de la escala; las encontradas en la Península de Yucatán abarcan la totalidad del segundo intervalo más alto, de 24.85° C a 27.66° C. Las entidades próximas al Golfo de México presentan una temperatura más homogénea en la clase con límites de entre 19.22° C y 22.03° C, abarcando los estados de Tamaulipas, Nuevo León, Veracruz y San Luis Potosí.

El centro del país y el Bajío agrupan temperaturas más bajas, siendo la Ciudad de México, Estado de México y Tlaxcala las entidades en la categoría más baja de temperatura, sin embargo en ella también se encuentra Chihuahua y Baja California. Con temperaturas medias se encuentra Baja California Sur, Sinaloa, Jalisco y Tabasco en el Pacífico con temperaturas del cuarto intervalo más alto. En esa misma costa Nayarit, Colima y Guerrero presentan mayor temperatura que los anteriores, ocupando la clase de valores 22.04° C-24.84° C.

Mapa 11. Temperatura por entidad federativa. México, 2010.



Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

En el análisis prospectivo de esta variable se encuentra el mapa 12, que muestra la temperatura promedio por entidad federativa para ambos horizontes en RCP 4.5. En el panel

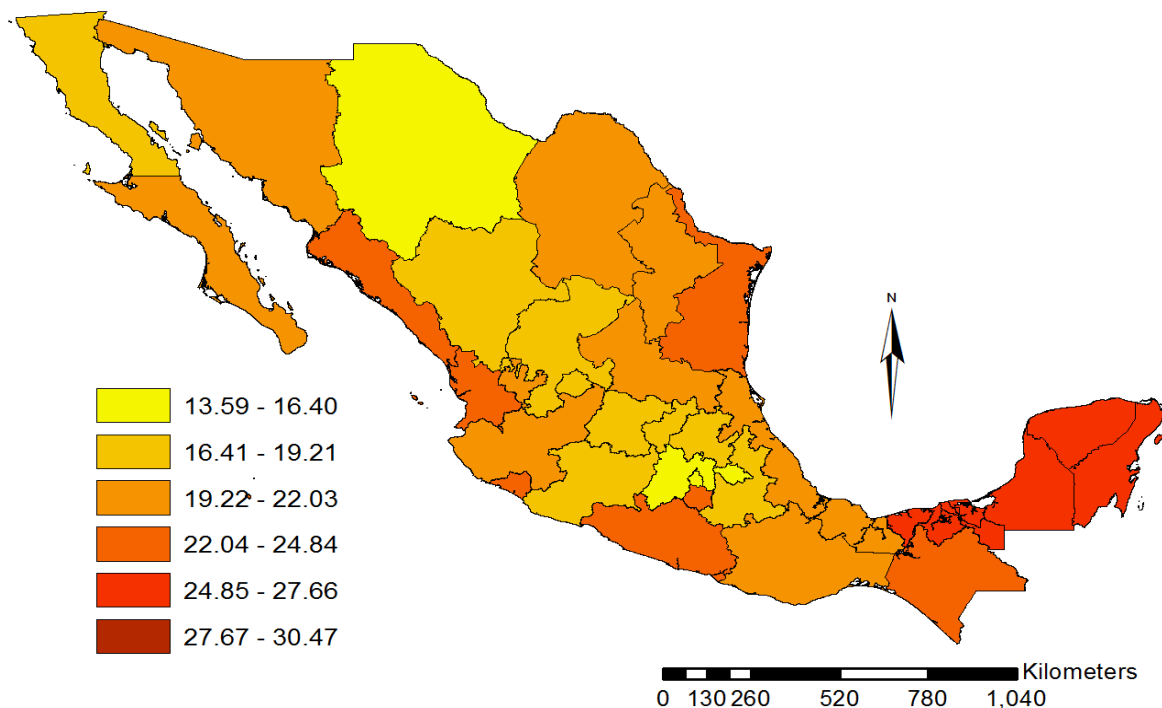
a) la temperatura promedio nacional para el horizonte cercano es de 20.29° C, lo que implica un aumento de 2.11% respecto de 2010 y 0.42° C de diferencia. La temperatura máxima es detenida por Tabasco con 26.65° C, indicando una disminución con referencia a 2010, sin embargo se observa que la región más cálida continúa siendo la Península de Yucatán, de esta forma ninguna entidad se clasifica dentro del intervalo más alto.

Entidades cercanas al Golfo se mantienen en el intervalo del periodo anterior, exceptuando a Tamaulipas, con un incremento al pasar a la clase próxima más alta, encontrándose también Morelos y Sinaloa, junto con los estados presentes anteriormente. El mínimo se observa en Tlaxcala con 14.53° C, mientras que Baja California ya no figura en la clasificación más baja de temperatura.

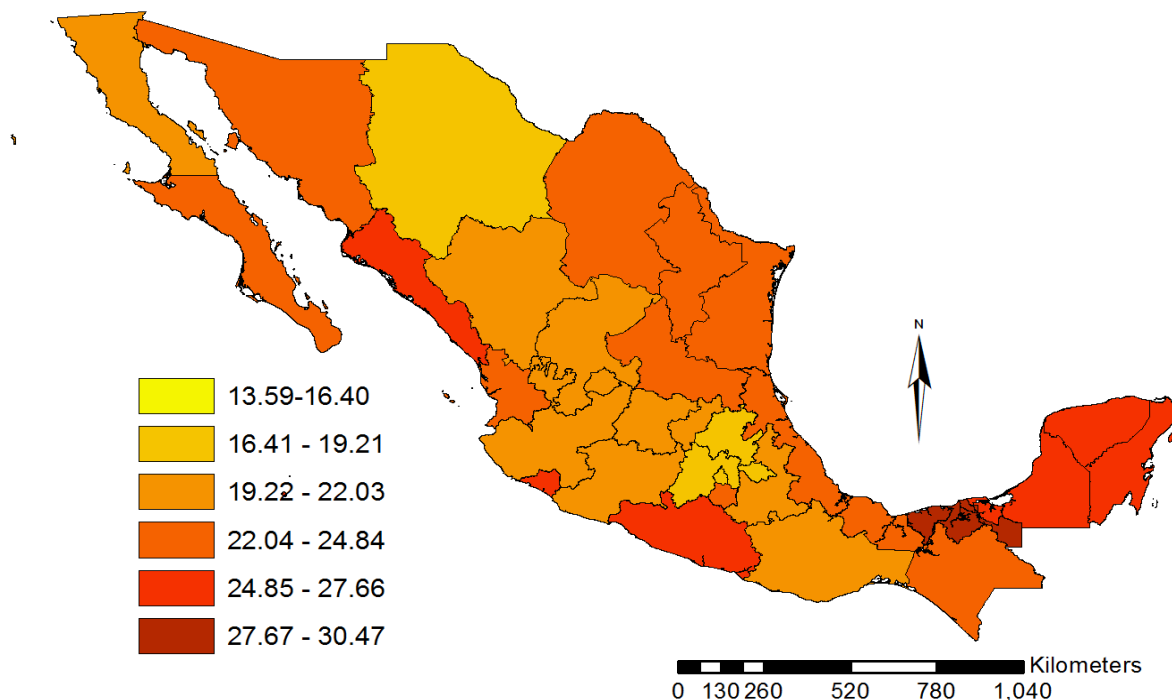
Para el panel b) encontramos una temperatura promedio nacional para el horizonte lejano mayor con 22.37° C, es decir un aumento de 2.08° C y 2.5° C para 2029 y 2010, respectivamente. Este aumento generalizado de temperatura se refleja en la ausencia de entidades en la clase más baja de la variable y en un máximo estimado para Tabasco de 28.26° C, si bien, menor que su contraparte en 2010, pero con un mínimo de 16.42° C para Tlaxcala, que aumenta en un 13%.

En los estados cercanos del Golfo de México se espera un aumento de temperatura, reflejado en su presencia en el intervalo 22.04° C-24.54° C. Sinaloa, Colima y Guerrero se unen a las entidades de la Península con temperaturas entre 24.85° C y 27.66° C.

Mapa 12. Temperatura por entidad federativa. RCP 4.5, México.



a) Horizonte cercano. (2015-2039).



b) Horizonte lejano. (2079-2099).

Fuente: Elaboración propia con datos de Fernández et al, 2015.

Por otra parte el mapa 13 muestra la configuración estatal en términos de temperatura tomando como base a RCP 8.5, en dicha trayectoria se espera un mayor aumento en esta variable, sin embargo no están exentos de efectos diferenciados por horizonte.

El panel a) del mismo mapa hace alusión al horizonte cercano delimitado por los años 2015-2039, para este caso el promedio nacional asciende a 21.58° C, es decir, una variación de 8.60% respecto de 2010 y 6.35% en referencia al mismo horizonte pero en RCP 4.5. La temperatura máxima se espera igualmente en Tabasco, abonando a la Península de Yucatán como la más cálida también en esta trayectoria, dentro de esta misma clase se encuentran Sinaloa, Colima, Yucatán, Campeche y Quintana Roo. Sin embargo, no hay ningún estado en la categoría más alta de temperatura.

El resto de las entidades en las cercanías del Golfo de México, Guerrero, Nayarit, Chiapas, Morelos y Baja California Sur se estima que presenten temperaturas de entre 22.04° C y 24.84° C en promedio, contrastando con RCP 4.5 del horizonte cercano; se espera entonces mayor temperatura en la costa oriental del país en este escenario.

Solamente 2 estados de la República se mantienen en la categoría más baja de temperatura, Estado de México y Tlaxcala, con 16.22° C y 15.62° C, respectivamente, este último también concuerda como la temperatura mínima promedio, semejante a RCP 4.5, pero con un aumento de 1.09° C. Se estima que Baja California y Chihuahua ya no figuren en esta clase al situarse ahora en el intervalo 16.41° C-19.21° C.

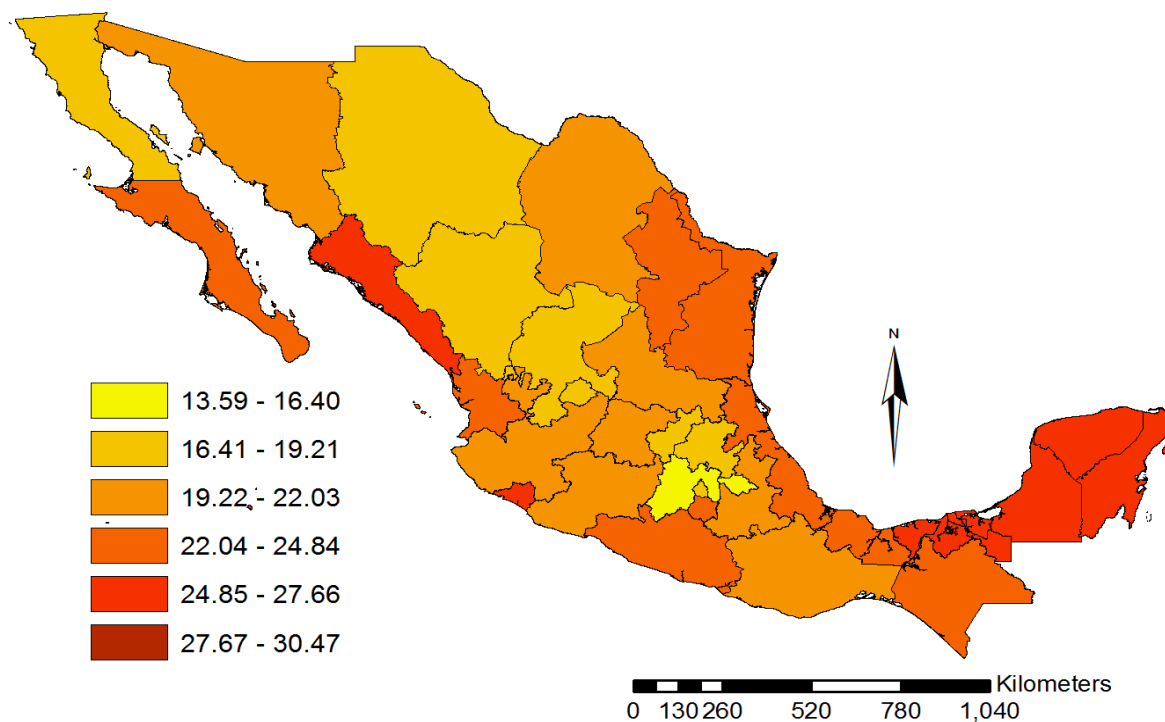
La zona centro y centro septentrional permanece como la menos cálida para este horizonte con Hidalgo, Querétaro, Aguascalientes, Durango y Chihuahua.

Para RCP 8.5 en horizonte lejano comprendido por el periodo 2075-2099 se muestra el panel b) del mapa 13. El rasgo más característico es un aumento del promedio nacional de temperatura con 24.91°C , equivalente a 5.04°C más respecto a 2010 y una variación positiva de 11.35% referente a mismo horizonte con RCP 4.5. Prácticamente para este horizonte ya no figura ninguna entidad en la clase más baja de temperatura para ambas trayectorias.

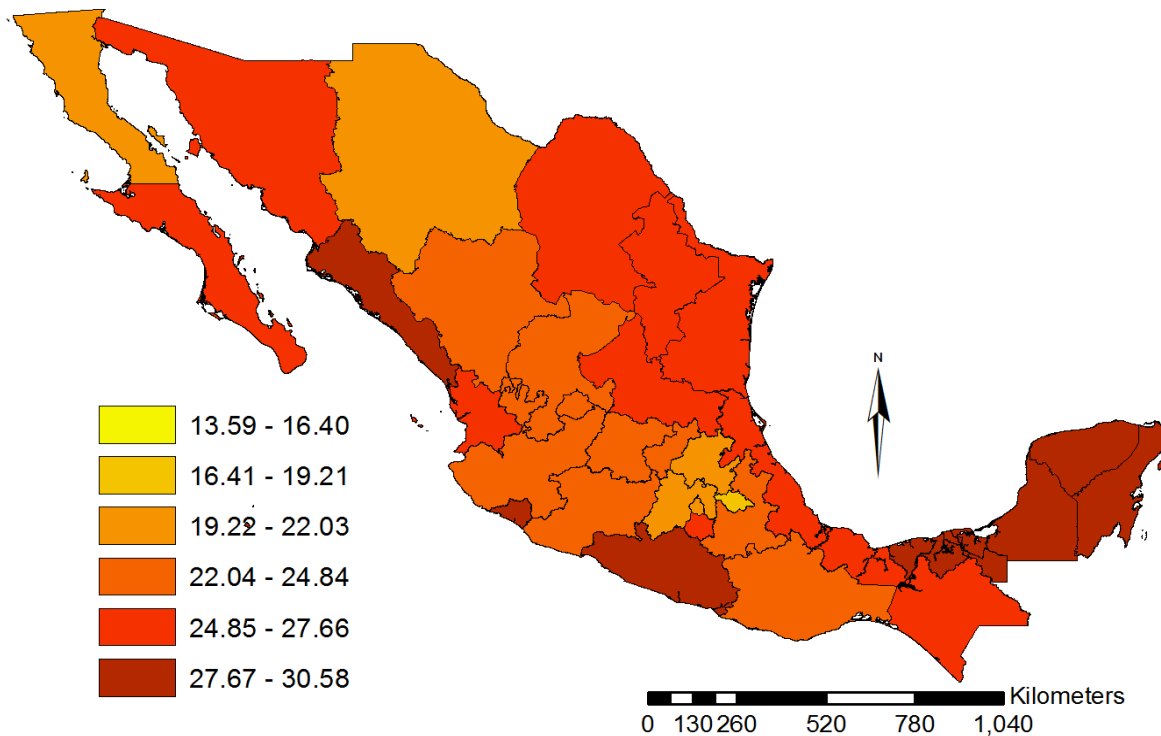
Cinco estados conforman la clase más alta de temperatura, siendo Sinaloa, Colima, Guerrero, Yucatán, Tabasco, Quintana Roo y Campeche de entre 27.67°C y 30.47°C , similar al horizonte lejano en RCP 4.5, la temperatura Máxima se espera en Tabasco con 30.58°C , es decir, 2.32°C más que en el escenario anterior.

Los estados del Golfo de México, incluyendo Nuevo León, Chihuahua y San Luis Potosí junto con Chiapas, Morelos, Nayarit y Baja California Sur conforman la segunda clase más alta, con temperaturas estimadas en el intervalo 24.85°C y 27.66°C . Caso particular en esta categoría se encuentra Sonora, que para el horizonte cercano se encontraba en 19.22°C y 22.03°C , desplazándose 2 clases, hasta la segunda más cálida, lo anterior implica una variación porcentual de 16.86 en su temperatura para llegar a 25.71°C en RCP 8.5 horizonte lejano.

Mapa 13. Temperatura por entidad federativa. RCP 8.5, México.



a) Horizonte cercano. (2015-2039).



a) Horizonte lejano. (2079-2099).

Fuente: Elaboración propia con datos de Fernández et al, 2015

No hay ninguna entidad con una temperatura promedio menor a 19.22° C a excepción de Tlaxcala, en el cual se sigue manteniendo el mínimo de 19.04° C, sin embargo esta es mayor en 3.42° C al comparar ambos horizontes de RCP 8.5.

Cinco estados componen la clase 19.22° C – 22.03° C: Estado de México, Ciudad de México, Hidalgo, Chihuahua y Baja California. Mientras que Durango, Zacatecas y Aguascalientes esperan aumentos de temperatura que las sitúen por encima de dos clases, sumándose a Jalisco, Michoacán, Puebla y Oaxaca en un intervalo debajo del promedio, con límites entre 22.04° C y 24.84° .

- **Precipitación**

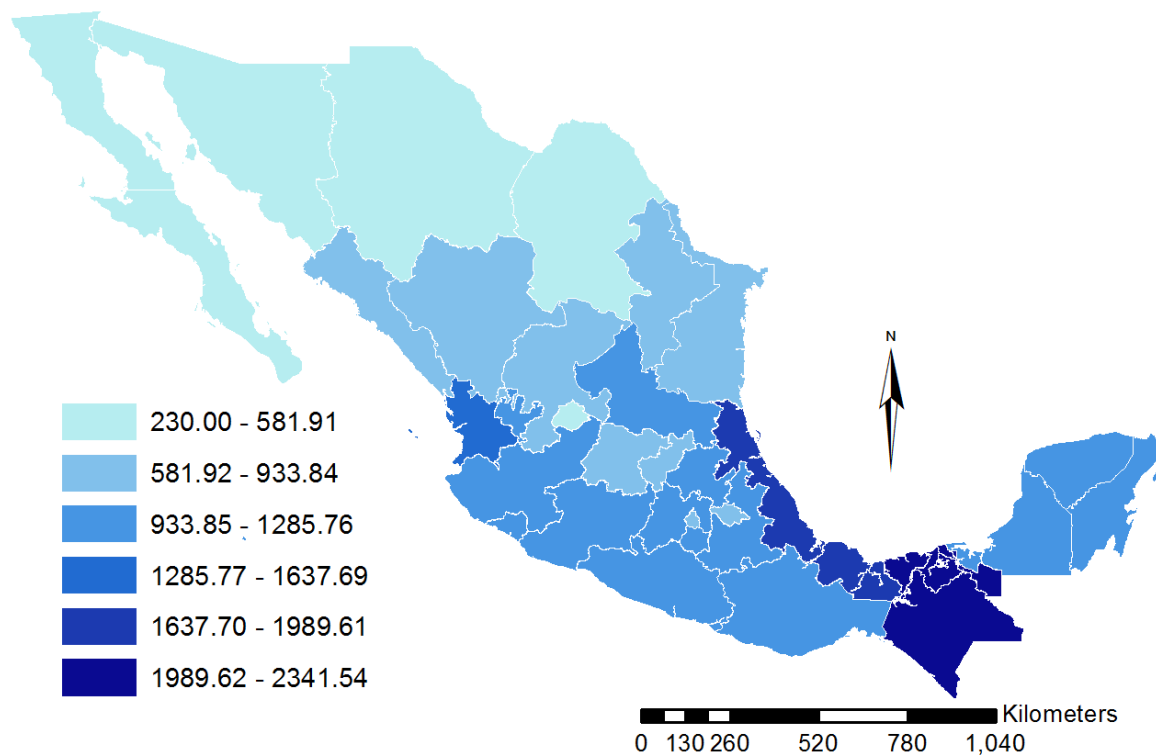
En el mapa 14 se representa la precipitación total acumulada en milímetros para el año 2010 por cada entidad federativa, el patrón geográfico es más perceptible en esta variable que en temperatura, aumentando a medida que se acerca a la línea de Ecuador, encontrándose regiones con menos precipitación al Norte del país, incluyendo la Península de Baja California, sin embargo, el promedio de precipitación para dicho año fue de 951.39 mm, esto indica una alta variación y rango entre los estados (2,111.52 mm)

Los estados componentes de la clase más baja de precipitación de intervalo 200 mm - 581.91 mm son: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Aguascalientes y Coahuila, encontramos el mínimo para este año en Baja California con 230 mm, seguido del estado homónimo del sur con 330 mm. Dentro de la clase que contiene a la media se

encuentran: Sinaloa, Durango, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Ciudad de México y Tlaxcala con un rango de entre 581.92 mm y 933.84.

El máximo es observado en Chiapas con 2,341.52 mm, apenas superior a Tabasco en 3.29 mm, juntos conforman la clase más alta con el intervalo 1,989.62 mm – 2,341.54 mm. La única entidad encontrada en la clase inmediata inferior es Veracruz con 1,734.24 mm, lo mismo ocurre con Nayarit, único presente en la clase con límites 1,285.77 mm y 1,637.69 mm.

Mapa 14. Precipitación por entidad federativa. México, 2010.

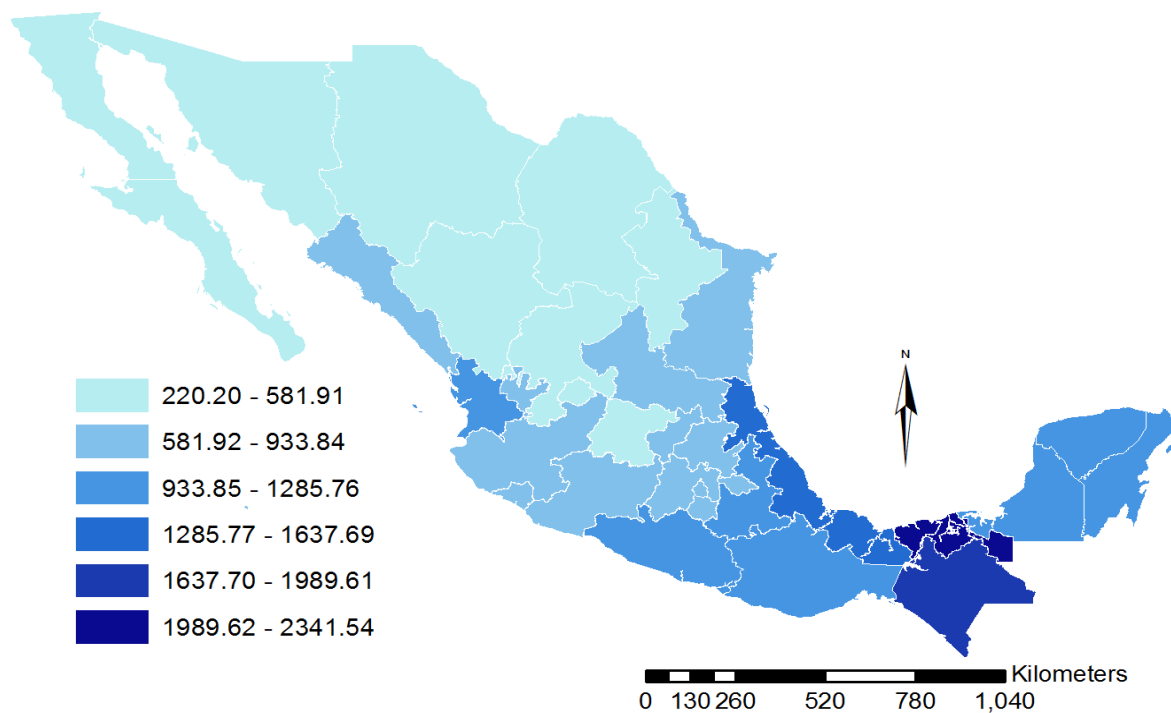


Fuente: Elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

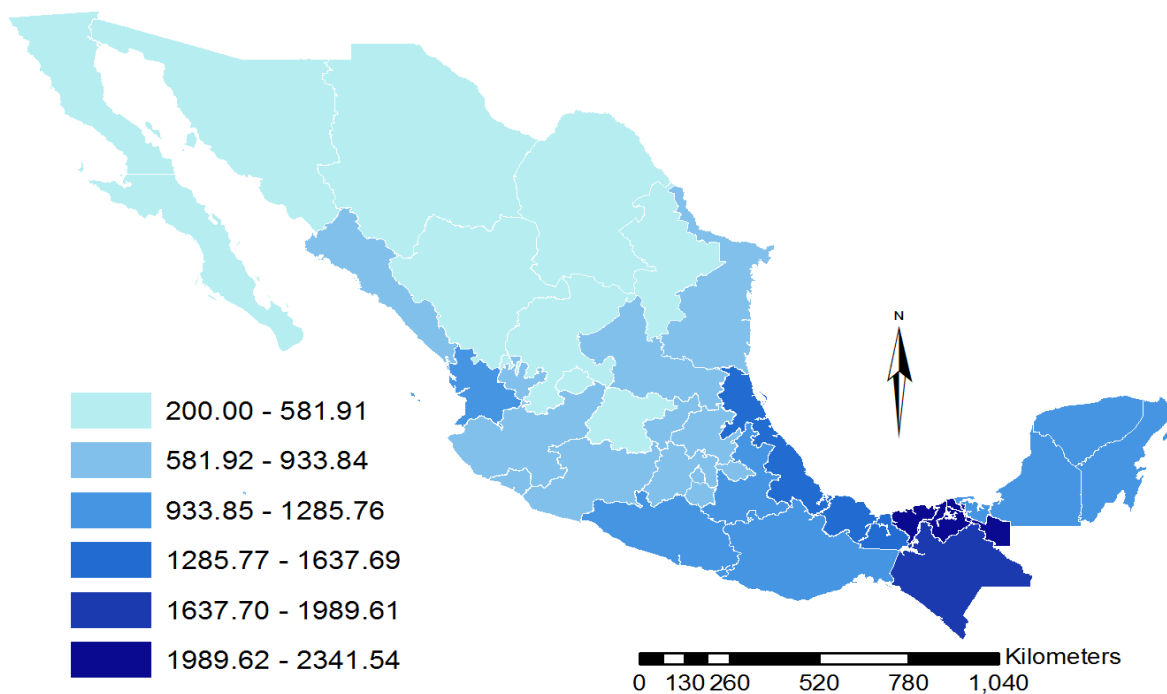
De manera análoga se presenta el mapa 15 que contiene la precipitación acumulada en mm para el horizonte cercano en RCP 4.5 en el panel a), se observa que tanto Durango, Zacatecas, Nuevo León y Guanajuato se incorporan a la clase de precipitación más baja, con un mínimo esperado en Baja California de 220.34 mm, lo que significa una variación de -4.2% en dicho estado contrastando con 2010.

El promedio nacional para este horizonte es calculado en 856.48 mm, es decir, 94.91 mm menos con respecto a 2010. Dentro de esta clase se encuentran parte de los estados de la costa del Océano Pacífico, generando una forma de “U” hasta Tamaulipas, con un intervalo de entre 581.92 mm y 933.84 mm. Lo anterior confirma el patrón de aumento de precipitación a medida que se aleja del Trópico de Cáncer hacia el Ecuador.

Mapa 15. Precipitación por entidad federativa. RCP 4.5. México.



a) Horizonte cercano (2015-2039).



b) Horizonte lejano (2075-2099).

Fuente: Elaboración propia con datos de Fernández et al, 2015

Para este horizonte sólo Tabasco se mantiene en la clase más alta, sin embargo, al esperar un decremento de precipitación esta se ubica en 2147.21, equivalente a una disminución de 8.16% comparado con 2010, mientras que para Chiapas la disminución es más aguda, con 374.11 mm menos respecto al mismo periodo, esto provoca que esta entidad sea la única ubicada en la clase inmediata inferior de 1,637.70 mm y 1,989.61 mm.

Veracruz permanece como único elemento de una sola clase, con menor precipitación que en 2010, estimando una precipitación de 1,603.00 mm y por lo tanto disminuyendo al intervalo 1285.77 mm – 1637.69 mm. Los estados de la Península de Yucatán, adicionalmente a Guerrero, Oaxaca, Nayarit y Puebla se encuentran en la clase determinada por 933.85 mm y 1,285.76 mm.

El panel b) muestra el horizonte lejano del mismo RCP 4.5. A simple vista ambos paneles son iguales en cuanto a distribución de los estados en las clases, lo que indica que no hubo la suficiente variación como para clasificar a un estado dentro de otro intervalo de precipitación. Las diferencias se hacen notar al comparar los datos estadísticos; el promedio nacional estimado para este horizonte es 848.26 mm, si bien sólo representa una variación de 0.95% menos respecto al horizonte cercano, al compararlo con 2010 esto equivale a una disminución de 103.13.

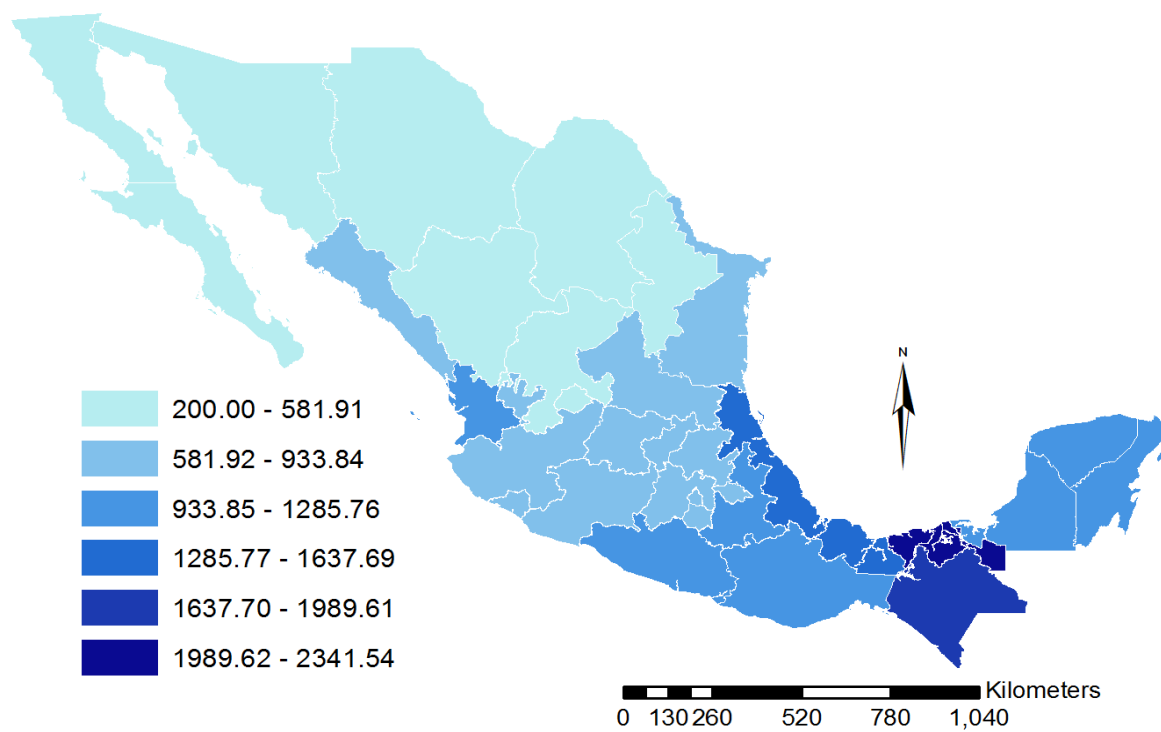
El mínimo esperado en este horizonte se ubica de igual manera en Baja California con 208.78 mm, es decir una variación de -5.24% y -9.22% referente al horizonte cercano y a 2010, respectivamente. El máximo continua ubicándose en Tabasco con 2113.17 mm, esto implica una disminución de 34.04 mm. Lo anterior sustenta que el rango de precipitación a lo largo del país se estime en 1,904.39 mm para 2075-2099, representando una disminución con respecto a 2010 de 9.80%.

En el caso de RCP 8.5 se condensa la información en el mapa 16; se observa en el panel a) una forma similar de “U” cercana al Trópico de Cáncer y con un patrón espacial similar a RCP 4.5 y 2010, con la región norte más árida, de manera que se conforma la clase del intervalo 200 mm – 581.91 mm por las entidades federativas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Zacatecas, Aguascalientes y Nuevo León.

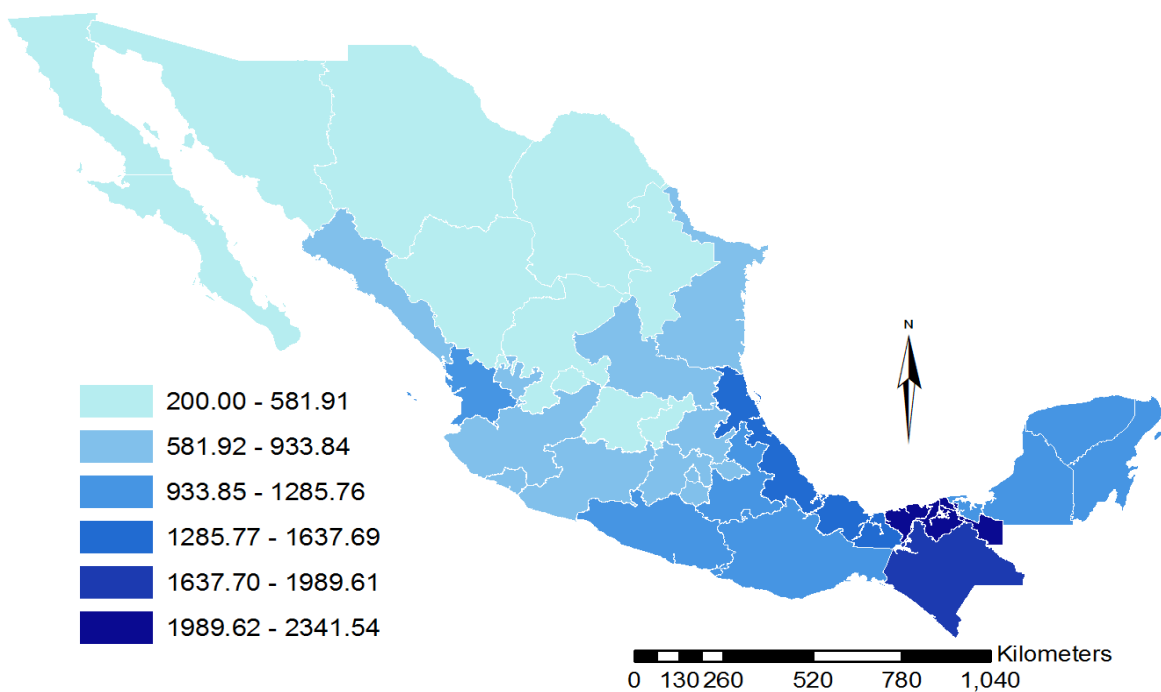
Al comparar con 2010, en RCP 8.5 se incorporan Durango, Zacatecas y Nuevo León a la clase definida en 200 mm y 581.91 mm, encontrando un mínimo de 214.78 en Baja California, 5.53 mm menos que en RCP 4.5 cercano y 15.22 mm menos que en 2010. Jalisco, Michoacán, Colima y San Luis Potosí disminuyen la precipitación esperada al ubicarse en los intervalos 581.92-933.84 respecto al mismo periodo.

Similar a RCP 4.5 el máximo de precipitación se estima esté ubicado en Tabasco con 2,140.53 mm, lo que es igual a una disminución de 0.31% y 8.45% respecto al mismo horizonte en diferente trayectoria y 2010, respectivamente.

Mapa 16. Precipitación por entidad federativa. RCP 8.5. México.



a) Horizonte cercano (2015-2039).



b) Horizonte lejano (2075-2099).

Fuente: Elaboración propia con datos de Fernández et al, 2015.

Esto abona a la estimación del promedio nacional para este horizonte en 867.78 mm, lo que resulta mayor a RCP 4.5 cercano en 1.30%, pero menor a 2010 en 8.79%. Guanajuato figura en una clase mayor en este horizonte que en el mismo para RCP 4.5, lo que se aprecia al comparar los mapas 13 y 14, sin embargo existe una disminución generalizada de la precipitación a lo largo del país, siendo que el conjunto de estados se recorre a la clase menor inmediata a excepción del máximo.

El panel b) presenta el horizonte lejano en RCP 8.5. Guanajuato y Querétaro forman parte de la categoría más baja al compararlo con el horizonte cercano. De manera similar a los horizontes en RCP 4.5, no se aprecia una variación lo suficientemente intensa para que los estados migren a otra clase al comparar entre horizontes, pero de igual manera el máximo esperado lo posee Tabasco con 2,091.23 mm, menor al horizonte cercano en 2.30%, aún con esta variación sigue manteniéndose como el único en la clase más alta de precipitación. Sin embargo, el mínimo igualmente esperado en Baja California con 210.78 mm sufre una variación de 4 mm menos respecto al horizonte cercano del mismo RCP.

Esto se acentúa al comparar el mínimo nacional del panel b) con 820.62 mm, es decir menor en 4.33% respecto al horizonte cercano y menor en 3.25% respecto al horizonte lejano de RCP 4.5, además significa una disminución en referencia a 2010 de 13.75% o 130.77 mm menos.

Tabla 8. Escenarios de Cambio Climático para México, RCP 4.5 y 8.5, Horizonte Cercano y Lejano.

	Anomalías					Tasas de variación porcentual (%)			
	2002-2010	RCP 4.5		RCP 8.5		RCP 4.5		RCP 8.5	
		2015-2039	2079-2099	2015-2039	2079-2099	2015-2039	2079-2099	2015-2039	2079-2099
Precipitación (°C)	951.393	-94.9138	-103.1338	-83.6061	-130.7701	-9.98	-10.84	-8.79	-13.75
Temperatura (mm)	19.8721	0.4239	2.5002	1.6566	5.0443	2.13	12.58	8.34	25.38

Fuente: Compendio Estadístico de Información Municipal INEGI, 2010 y Fernández et al, 2015.

La tabla 8 sintetiza la información estadística de precipitación y temperatura respecto diferentes horizontes y RCP incluidos en el estudio, se muestra el promedio de temperatura en °C a nivel nacional como promedio de todos los municipios para el periodo 2002-2010 así como la precipitación promedio en mm para el mismo periodo.

Las anomalías fueron calculadas como la desviación absoluta del Horizonte Cercano y Lejano correspondiente con el periodo de referencia, conservan las mismas unidades, de igual manera se obtuvieron a partir del promedio nacional. Por otro lado también se muestran las variaciones porcentuales que corresponden a dichas desviaciones respecto de 2002-2010

Se observa que en ambas trayectorias las variaciones en la temperatura fluctúan entre 0.42°C y 1.65°C para el Horizonte Cercano, sin embargo, en el largo plazo la situación se torna grave con incrementos en la temperatura de 12.58% hasta 25.38%. Lo anterior se complementa con la disminución en la precipitación, para la trayectoria RCP 4.5 en el Horizonte Cercano se

espera una mayor caída a comparación de RCP 8.5; para el largo plazo el mayor decrecimiento se espera en esta trayectoria con 13.75% menos que en 2002-2010.

2.3. Uso de IBP para análisis de impacto en la Biodiversidad en horizonte cercano y futuro

El instrumento estadístico utilizado para pronosticar IBP para periodos futuros es un modelo de regresión lineal, tomando el conjunto de municipios como un todo (N= 2,456)³ y posteriormente realizando una estimación se sección cruzada con la siguiente especificación inicial:

$$ibp = \beta_0 + tm_i\beta_1 + pr_i\beta_2 + se_i\beta_3 + tm^2_i\beta_4 + pr^2_i\beta_5 + u_i \quad (2.3.1)$$

Donde ibp = índice de biodiversidad potencial tm_i = temperatura en grados Celsius, pr_i = precipitación en milímetros, se_i = superficie de ecosistemas no alterados en miles de kilómetros cuadrados, tm^2_i = temperatura de la observación i elevado a la segunda potencia, pr^2_i = precipitación de la i -ésima observación al cuadrado. u_i = término de perturbación estocástica.

Aplicando Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para obtener los parámetros β de (2.3.1), se espera que los coeficientes β_1 , β_2 y β_3 sean positivos mientras β_4 y β_5 negativos, esto indicaría que la temperatura y la precipitación tienen efectos positivos en la biodiversidad a medida que aumentan, pero con rendimientos decrecientes después de cierto punto para luego tornarse adversos, el coeficiente de uso de suelo tiene un impacto positivo ya que al aumentar la superficie con suelo de ecosistema, es más probable encontrar mayor número de especies.

Dentro de las posibilidades de especificación para la estimación se seleccionaron 2 modelos adicionales para contrastar con (2.3.1), dichas ecuaciones teóricas son:

$$ibp = \beta_0 + ztm_i\beta_1 + zpr_i\beta_2 + zse_i\beta_3 + ztm^2_i\beta_4 + zpr^2_i\beta_5 + u_i \quad (2.3.2)$$

$$zibp = ztm_i\beta_1 + zpr_i\beta_2 + zse_i\beta_3 + ztm^2_i\beta_4 + zpr^2_i\beta_5 + u_i \quad (2.3.3)$$

Donde $zibp$ =valor normalizado de IBP ztm^2_i = valor normalizado de la temperatura al cuadrado de la i -ésima observación y zpr^2_i = valor normalizado de la precipitación en la observación i . El resto de variables fueron definidas previamente de acuerdo a (2.2.3.1)

Los signos esperados en (2.3.2) y (2.3.3) deben concordar con los esperados en la ecuación (2.3.1); la temperatura y la precipitación contienen un efecto positivo sobre la posibilidad de mayor biodiversidad, sin embargo estas variables presentan consecuencias negativas con su

³ Para el tiempo de conclusión de compilación estadística del Compendio 2010 de INEGI existían 2456 municipios. La información de precipitación para el municipio de Jopala (ID: 21089) fue interpolado con información de los municipios aledaños.

ausencia o extremo, lo cual es representado al elevar a la segunda potencia y obtener un signo negativo.

Los resultados de las regresiones se sintetizan en la tabla 9, se observa que los parámetros de los tres modelos especificados cumplen con el sentido del efecto esperado y son significativos estadísticamente de acuerdo a la prueba de hipótesis asociada a la función de probabilidad *t*-student típicamente con 5% de significancia. El coeficiente de determinación (R^2) mide el grado en que variaciones en las variables regresoras explican en promedio a las variaciones de la variable dependiente (Wooldrige, 2010: 40), de esta manera un valor cercano a 1 implica que las variaciones en el término de perturbación no determinan las variaciones en la variable regresada y que el ajuste global es aceptable, dicho ajuste también es determinado por el valor de F y la función de probabilidad asociada

Tabla 9. Comparativo de resultado de regresiones para IBP.

Especificación		(2.3.1)	(2.3.2)	(2.3.3)
Coeficientes (errores estándar)	β_0	-0.3385*** (.0266)	0.4793*** (0.0013)	No aplica
	β_1	0.0485*** (.0027)	0.1957*** (0.0110)	1.2977*** (.0732)
	β_2	0.0002*** (7.24e-06)	0.0048*** (0.0048)	0.9812*** (0.0320)
	β_3	0.0360*** (.00077)	0.0641*** (0.0013)	0.4254*** (.00911)
	β_4	-0.0009*** (0.00007)	-0.1416*** (0.0110)	-0.9391*** (.0734)
	β_5	-2.35e-08*** (2.01e-09)	-0.0550*** (0.0047)	-0.3647*** (0.0312)
Valor F		2055.58	2055.58	2056.42
R^2		0.8075	0.8075	0.8075
Desviación		1.3991	0.0014	0
N		2456	2456	2456

Fuente: Elaboración propia: *** Significativo a 1%, ** Significativo a 5%, * Significativo a 10%.

Conforme a lo anterior, las 3 especificaciones son factibles en términos de significancia estadística. La fila Desviación indica la desviación absoluta entre el IBP nacional promedio estimado y el IBP real para 2010-2014, se muestra que (2.3.1) excede al IBP real en 1.399179 unidades, es decir, sobrepasa los límites definidos para los valores que puede tener el índice, ya que un IBP con valor mayor de “1” unidad no significa mayor de probabilidad de encontrar mayor diversidad biológica, de esta forma queda descartado.

El modelo elegido en base al análisis de la tabla 8 es (2.3.3), ya que de las alternativas que cumplen con los requisitos definidos presenta una bondad de ajuste más cercana a 1 y un valor F calculado más elevado. La especificación de la ecuación empírica se describe:

$$zibp = 1.2977ztm_i + 0.9812zpr_i + 0.4254zse_i - 0.9391ztm^2_i - 0.3647zpr^2_i + u_i \quad (2.3.4)$$

El término independiente es suprimido en esta ecuación al realizar las transformaciones de los parámetros originales a los obtenidos después de estandarizar (Wooldridge, 2010: 188), expresados ahora en una misma base. De esta forma la interpretación de los coeficientes es: por un aumento de una σ en la temperatura, el IBP aumenta en 1.2977σ . Si la precipitación presenta un aumento de una σ , entonces IBP experimenta un aumento en 0.9812 unidades de σ . Con una variación de una σ en la superficie de ecosistemas, el IBP varía en 0.4254σ .

Mientras que un aumento en la temperatura al cuadrado de una σ propicia una disminución de 0.9391σ sobre el índice y una variación en la precipitación cuadrada se refleja en -0.3647σ sobre IBP. Siendo σ = desviación estándar muestral de la variable correspondiente.

De acuerdo con Gujarati y Porter (2010: 72) y Wooldridge (2010: 38) los parámetros obtenidos por MCO deben presentar propiedades específicas para poder ser usados para pronosticar, que son resultado de la aplicación de supuestos del Modelo Clásico de Regresión Lineal (MCRL) propuesto por el teorema de Gauss, esto implica: a) Que los parámetros obtenidos son sólo un grupo dentro de un conjunto de variables, los cuales presentan una distribución normal de probabilidad. b) las variables regresoras presentan nula relación lineal entre ellas, c) la varianza de los residuos es constante y d) que estos son independientes el uno del otro, esto determina que existan parámetros eficientes, lineales e insesgados (MELI).

a) Residuos distribuidos de forma normal

Mediante el Teorema del Límite Central (TLC) se postula que la suma de variables aleatorias independientes con idéntica distribución posee una distribución tendiente a normal a medida que el número de variables incluidas crece indefinidamente (Ross, 2004: 204).

En este caso dicha suma es representada en el término de perturbación u_i , aproximado por los residuos, resultado de la ecuación de regresión poblacional e indica todas las variables que no fueron explícitamente especificadas en la modelación estadística pero que tienen influencia en el fenómeno.

De acuerdo a las propiedades de la distribución normal se establece que cualquier combinación lineal de variables normalmente distribuidas tendrá una distribución de la misma forma; los parámetros obtenidos mediante MCO son funciones lineales de los residuos, por lo que al comprobar su distribución en estos se infiere la de aquellos (Gujarati y Porter, 2010: 99).

Para fundamentar que los residuos estimados de la ecuación (2.3.4.) se distribuyen de manera normal se recurre a las propiedades asintóticas. Al utilizar la totalidad de los municipios de la República Mexicana, el tamaño de muestra es igual al tamaño de la población por lo que los mencionados parámetros adquieren propiedades benéficas en términos de su distribución.

La primera propiedad se refiere al insesgamiento asintótico, a saber, un estimador es asintóticamente insesgado cuando al aumentar el tamaño de la muestra el valor esperado se aproxima al valor verdadero del estadístico. A manera de ejemplo con el tamaño muestral utilizado se obtiene un sesgo de $0.9995 \approx 1$ sobre la varianza.

La segunda propiedad indica la consistencia, a medida que aumenta el tamaño de la muestra, el estimador tiende al valor verdadero del parámetro, similar al insesgamiento, sin embargo, se refiere al valor per se del estimador y no a su valor esperado o media.

Esto quiere decir que a medida que el tamaño de la muestra tiende a infinito la distribución tiende a concentrarse alrededor del valor verdadero del estadístico, de manera que la varianza tiende a cero. Lo anterior se ilustra con la varianza de los residuos calculada 0.1925 en y una media de $-2.95e-08$

La normalidad asintótica es una propiedad que se postula como una extensión del TLC. Al no conocer todas las variables incluidas en el término de error ni sus respectivas distribuciones, se concluye que la suma de estas variables puede tener una distribución normal si el tamaño de la muestra aumenta indefinidamente y dichas variables son independientes aun cuando no se distribuyan normalmente de manera individual. Por lo que la varianza de la suma es definida con igualdad a una varianza proveniente de una distribución normal. (Gujarati y Porter, 2010: 831)

El mismo autor menciona que en muestras grandes los estadísticos t y F tienen las distribuciones de probabilidad t y F , consecuentemente estos tienen validez para inferencia estadística. (p. 99), mientras que Wooldrige (2010: 167) resalta que aun sin cumplir el supuesto de normalidad dichos estadísticos tienen una distribución aproximada a t y F en muestras grandes.

b) Multicolinealidad

La multicolinealidad se refiere a la relación lineal perfecta o imperfecta que puede existir en las variables explicativas de una regresión, sin embargo sólo se restringe a combinaciones lineales, por lo que relaciones exponenciales de las variables no violan este supuesto (Gujarati y Porter, 2010: 323).

Las consecuencias en presencia de alta multicolinealidad incluyen una disminución en la exactitud al estimar los parámetros ya que los errores estándar asociados son grandes, aumentando los intervalos de confianza y la probabilidad de aceptar que algún coeficiente sea estadísticamente igual a 0. Coeficientes de determinación cercanos a 1, pero estadísticos t no significativos.

De acuerdo con Kmenta (1986: 431) la multicolinealidad es una característica de la muestra, no de la población, sin embargo, aún se puede exponer el grado de dicho fenómeno con distintas reglas prácticas.

- Diagrama de dispersión

Un método accesible para la detección de multicolinealidad reside en la observación gráfica de las relaciones entre las regresoras a través de un gráfico de dispersión. Es un proceso exploratorio y cualitativo porque no arroja valores sobre el fenómeno.

En el gráfico 29 se observan los comportamientos de las variables regresoras contrastadas. La diagonal principal se omite ya que indicaría la relación entre una variable y ella misma, lo que produciría un valor R^2 de 1 y se sustituye con el nombre de las variables introducidas.

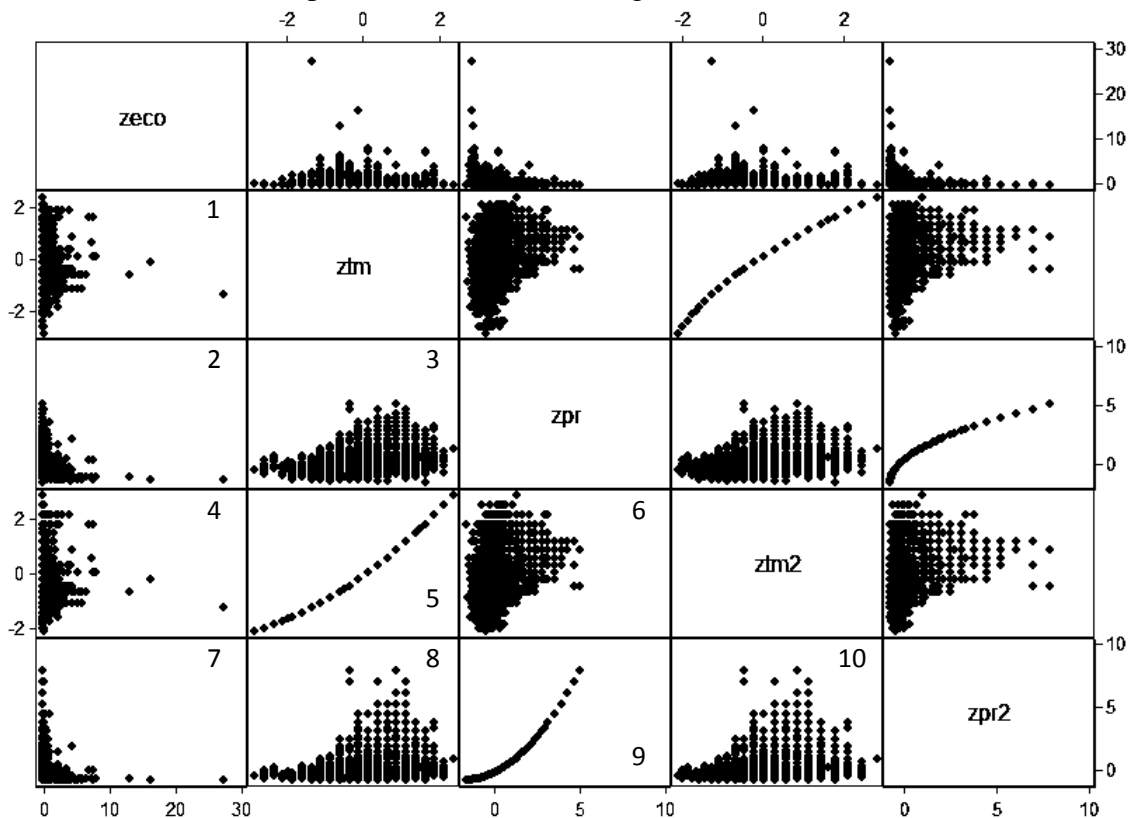
Se puede interpretar desde 2 enfoques, en este caso se toma la diagonal inferior, cada casilla muestra la relación entre 2 variables intersectadas.

La casilla 1 muestra la superficie de ecosistemas y la temperatura sin una clara correlación entre las variables, ya que aumentos en la segundo no muestran una respuesta por parte de los ecosistemas, la mayor parte de los datos se agrupan entorno a 0 y 10 desviaciones estándar de temperatura. Un gráfico similar se encuentra en la casilla 4, sin un patrón definido para la temperatura cuadrada y la misma superficie.

En la casilla 2 encontramos un comportamiento inverso no lineal, ya que valores altos de precipitación tienen como contraparte valores bajos de superficie de ecosistemas, sin embargo, esto es asintótico y convexo al origen, este mismo efecto se encuentra en la casilla 7 al comparar la precipitación al cuadrado con respecto a la superficie de ecosistemas, de manera que la precipitación tiene un resultado multiplicativo en los ecosistemas.

Las casillas 3, 8 y 10 muestran la relación entre la temperatura y la precipitación, en niveles y al cuadrado, existe un patrón definido positivo entre ambas de manera exponencial, con aumentos en la precipitación respondidos por aumentos en la temperatura.

Gráfico 29. Matriz de dispersión entre variables regresoras.



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI, 2010.

Las casillas 5 y 9 tienen un claro comportamiento exponencial, lo cual es esperado, ya que relaciona la temperatura y la precipitación con sus respectivas potencias al cuadrado mostrando una forma parabólica. Mientras que la casilla 6 creada a partir de la combinación

entre la temperatura al cuadrado y la precipitación, donde se observa un patrón positivo multiplicativo entre ambas variables, si la temperatura aumenta la precipitación también lo hace, pero los valores empiezan agrupados para luego tener una dispersión entre -2 y 5 desviaciones estándar.

- Regresiones auxiliares

Este procedimiento se basa en el grado de relación lineal que existe entre las mismas regresoras, la aproximación queda definida por el coeficiente de determinación obtenido de las regresiones auxiliares. Utilizando la regla práctica de Klein, que considera la multicolinealidad como grave si existe un R^2 auxiliar superior al R^2 original del modelo (2.3.3.) (Gujarati y Porter, 2010: 339).

La tabla 10 muestra los resultados de las regresiones auxiliares, en la especificación se omitieron la combinación entre las variables climáticas y sus respectivas potencias al cuadrado. Los resultados más altos corresponden al cuadrado de la temperatura, además precipitación y temperatura en niveles, valores que no exceden 0.15, indicando que variaciones en las regresoras explican en menos de 15% el promedio de las variaciones en la variable dependiente.

Se observa que ningún coeficiente R^2 auxiliar supera al R^2 original, por lo que la multicolinealidad tiene presencia pero no es grave, mientras que los patrones más definidos indican relaciones no lineales, de esta manera no se viola el supuesto del MCRL.

Tabla 10. Coeficiente de Determinación de regresiones auxiliares.

Variable dependiente	Variables independientes				R2
ztm	zpr	-	zpr2	zeco	0.1375
zpr	ztm	ztm2	-	zeco	0.1371
ztm2	-	zpr	zpr2	zeco	0.1406
zpr2	ztm	ztm2	-	zeco	0.0910
zeco	ztm	zpr	ztm2	zpr2	0.0542

Fuente: Elaboración propia.

c) Varianza constante de los residuos

Este supuesto implica que las varianzas condicionales de los residuos de la regresión son un número constante, es decir, no varía de acuerdo a las variables regresoras, fenómeno conocido como homoscedasticidad. Las consecuencias de su ausencia derivan directamente de la relación entre las varianzas y los errores estándar de los parámetros, manifestándose en la eficiencia de estos y en la incapacidad de inferir normalmente a través de los estadísticos t y F , donde ya no poseen sus correspondientes distribuciones y por lo tanto la estimación resulta inválida (Wooldridge, 2010: 265).

Dentro de las pruebas para detectar heteroscedasticidad más comunes se eligen en este estudio aquellas que representan mayor potencia: Breusch-Pagan, White y Koenker-Basset.

- Breusch-Pagan (BP)

En esta prueba el objetivo es identificar si el valor esperado de los residuos cuadrados, como aproximación de la varianza de los errores no observados, está relacionado con una o más regresoras de la especificación, de esta forma se recurre a una regresión auxiliar con los residuos cuadrados como variable independiente de la forma:

$$\hat{u}_i^2 = \delta_0 + \delta_1 ztm_i + \delta_2 zpr_i + \delta_3 zse_i + \delta_4 ztm^2_i + \delta_5 zpr^2_i + v_i \quad (2.3.5)$$

Donde $\delta_0, \delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ son los coeficientes auxiliares y \hat{u}^2 = residuales cuadrados de la regresión (2.3.3.), el término de error v_i se considera independiente de estos parámetros.

En este procedimiento se utiliza la prueba de hipótesis de la significancia global F , de manera que al no rechazar la hipótesis nula, todos los coeficientes son estadísticamente idénticos a 0, a excepción del intercepto, por lo tanto no tienen relación lineal con la varianza (Wooldridge, 2010: 272).

- White

Al igual que la prueba anterior esta se basa en el uso de una regresión auxiliar, sin embargo la especificación difiere, ya que incluye todas las regresoras elevadas al cuadrado dando una prueba pura de heteroscedasticidad (Gujarati y Porter, 2010: 388)

De la ecuación (2.3.6), se calcula un estadístico de prueba con distribución ji cuadrada con grados de libertad igual al número de regresoras excluyendo el término independiente, obtenido como el producto del coeficiente de determinación de la regresión auxiliar y el tamaño de muestra.

$$\hat{u}_i^2 = \delta_0 + \delta_1 ztm_i + \delta_2 zpr_i + \delta_3 zse_i + \delta_4 ztm^2_i + \delta_5 zpr^2_i + \delta_6 zeco^2_i + v_i \quad (2.3.6)$$

El criterio de decisión de la hipótesis nula implica que si el estadístico calculado es inferior al valor crítico en el nivel de significancia seleccionado, hay presencia de homoscedasticidad.

- Koenker-Basset (KB)

En consonancia con las pruebas aplicadas anteriormente para comprobar esta propiedad, el procedimiento de KB establece el uso de una regresión auxiliar de los residuos al cuadrado pero únicamente sobre la estimación de la variable independiente también a dicha potencia, de manera que la especificación es:

$$\hat{u}_i^2 = \delta_0 + \delta_1 (\widehat{zibp}_i)^2 + v_i \quad (2.3.7)$$

Donde \widehat{zibp}_i = valor estimado de la normalización de IBP para el municipio i . Para este caso el estadístico usado es t , de significancia individual del parámetro δ_1 , el cual debe ser menor al crítico para no rechazar la hipótesis nula, implicando ausencia de heteroscedasticidad.

En la tabla 11 se muestran los estadísticos calculados para cada regresión auxiliar, incluyendo el estadístico y el resultado de la aplicación del criterio de decisión para no rechazar la hipótesis nula para cada una de las pruebas con 1% de significancia

Tabla 11. Pruebas de hetetoscedaticidad en el modelado de IBP.

Prueba	Estadístico	Criterio	Valor calculado	Interpretación
Breusch-Pagan	F	$F_{cal} < F_{critico}$	451.04	Heteroscedasticidad
White	$R^2 * n \sim X^2$	$X_{cal}^2 < X_{critico}^2$	2082.68	Heteroscedasticidad
Koenker-Basset	t	$t_{cal} < t_{critico}$	70.00	Heteroscedasticidad

Fuente: Elaboración propia

En cada una de las pruebas aplicadas el resultado arroja la ausencia de homoscedasticidad. De acuerdo a la prueba BP los coeficientes estimados son distintos de 0 estadísticamente, lo que implica que variaciones en las regresoras impactan en la varianza.

Posterior, en la Prueba White el valor X^2 calculado a partir de la regresión (2.3.6) es superior al crítico, de manera que existe una relación funcional entre la varianza y las regresoras, así como sus cuadrados.

Finalmente el valor t obtenido de la regresión (2.3.7) posee una probabilidad de 0.000, con esta información se rechaza la hipótesis nula de homoscedasticidad, ya que el parámetro asociado al valor estimado de IBP al cuadrado tiene influencia sobre la varianza al ser estadísticamente distinto de 0.

- Solución al problema de heteroscedasticidad

Ya que la inferencia no es válida en presencia de heteroscedasticidad se opta por calcular los errores estándar robustos a heteroscedasticidad como una manera de ajuste sobre los errores estándar usuales de MCO y los estadísticos t y F , dichos errores son atribuidos a White (1980) de acuerdo la raíz cuadrada de la fórmula:

$$\widehat{Var}(\widehat{B}_j) = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{r}_{ij}^2 \hat{u}_i^2}{STC_j^2} \quad (2.3.8)$$

De acuerdo con Wooldridge (2010: 265) su ventaja radica en que son útiles sin importar si se conoce o no el comportamiento de la varianza y que dicho estimador es válido a medida que aumenta el tamaño de muestra.

Adicionalmente en muestras pequeñas el uso de estos errores robustos puede crear estadísticos que no tengan sus respectivas distribuciones, caso inverso al usar muestras grandes, de manera que al incluirlos se cumple con el supuesto de varianza constante.

La tabla 12 muestra el resultado de la estimación al incluir los errores estándar robustos a heteroscedasticidad y los errores estándar usuales obtenidos de la ecuación (2.3.3). Se observa que el valor de ninguno de los parámetros ha sido alterado, sin embargo, los errores

estándar robustos son mayores, la diferencia más alta se encuentra en parámetro β_1 asociado a la temperatura con una distancia de 0.1423108 unidades.

Con este valor de errores estándar las pruebas de significancia estadística global e individual tienen un sustento más sólido para la inferencia. Todos los parámetros conservan una significancia al 1% al igual que al analizar los parámetros de manera múltiple con el estadístico F aun con este incremento en el valor de los errores.

Tabla 12. Comparación MCO y MCO con errores robustos de White.

	$\beta_1(ztm)$	$\beta_2(zpr)$	$\beta_3(zse)$	$\beta_4(ztm^2)$	$\beta_5(zpr^2)$	Prueba F
MCO con ee robustos de White	1.2977*** (.0690)	.9812*** (.0483)	0.4254 *** (0.0793)	-0.9391*** (0.0667)	-0.3647*** (0.0397)	2739.47***
MCO	1.2977*** (-0.0732)	.9812*** (-0.0320)	0.4254*** (-0.0091)	-0.9391*** (-0.0734)	-0.3647*** (-0.0312)	2056.42***

Fuente: Elaboración propia.

d) Autocorrelación

Para Gujarati y Porter (2010: 412), es una violación a los supuestos de MCRL, ya que un término de error está relacionado con el anterior o el sucesivo; es un problema típico en datos de tipo series de tiempo, sin embargo su presencia no se limita a ellos ya puede existir en datos de corte transversal como el presente estudio, denominándose autocorrelación espacial.

De acuerdo con Vilalta, (2005: 325) la autocorrelación espacial se define: "... la concentración o dispersión de valores de una variable en un mapa" o "refleja el grado en que objetos o actividades en una unidad geográfica son similares a otros objetos o actividades en unidades geográficas similares" Goodchil (1986: 3)

Las consecuencias de este fenómeno afectan directamente a los parámetros volviéndolos ineficientes con varianzas que no son mínimas, además afecta directamente a los estadísticos de prueba haciéndolos inválidos para inferir incluso en muestras grandes (Wooldridge, 2010 : 409).

Para detectar el problema es necesario que exista un orden natural u lógico sobre los datos de corte transversal (Gujarati y Porter, 2010: 412), por lo que para nuestra investigación se usa un reordenamiento de los municipios basados en el valor de su IBP. Lo anterior expresaría que municipios con valores de IBP cercanos a 1 concentran a su alrededor municipios con valores similares, ya que es más probable que compartan características climáticas y de superficie, dada su adyacencia y similitud geográfica, provocando una correlación entre los residuos obtenidos de la estimación.

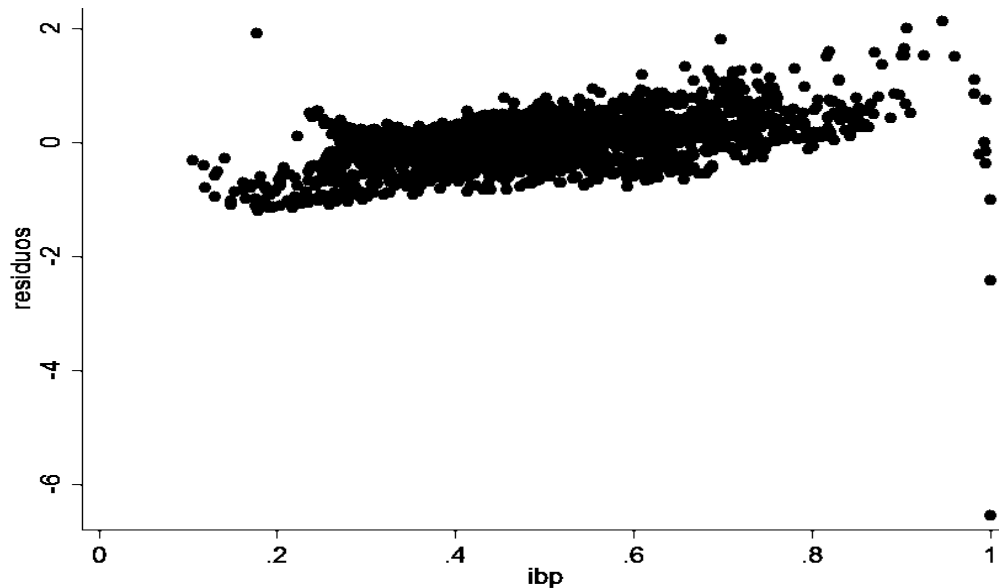
En el conjunto de procedimientos para identificar este problema se tienen los métodos gráficos y el cálculo de estadísticos con hipótesis asociadas como la prueba Durbin-Watson, de acuerdo con Sawada (2009) la detección de la autocorrelación también se asocia con un error de especificación en la regresión o con variables omitidas, sin embargo la autocorrelación espacial representa un asunto de naturaleza distinta y se detecta principalmente con I de Moran.

- Método gráfico

La exploración gráfica de los residuos ayuda en el conocimiento de su comportamiento agregado y también aporta información importante sobre otros problemas. Para este supuesto se busca que los residuos no presenten un comportamiento definido

El gráfico 30 muestra los residuos ordenados respecto al valor ascendente de IBP, donde se aprecia una relación lineal positiva con aumentos de IBP respondidos con un residuo mayor, sin embargo existe un punto de inflexión donde de nuevo los residuos presentan una relación pero de sentido negativo, confirmando que un efecto de arrastre entre los residuos es detectado al ordenarlos por IBP existiendo 2 rachas, posible presencia de autocorrelación positiva en los residuos. En general un número reducido de rachas es indicativo de este tipo de autocorrelación (Gujarati y Porter, 2010: 433)

Gráfico 30. Residuos de la regresión ordenados contra valor de IBP por municipio.



Fuente: Elaboración propia.

- Prueba I de Moran

Esta prueba es útil dado que se calcula a partir de la distancia entre entidades espaciales como vecinos y un valor asociado de manera simultánea, para este caso dicho atributo es el residuo obtenido a partir de la regresión para cada uno de los municipios. Fue propuesta por Moran en 1950 como un primer intento de análisis de medición de los fenómenos estocásticos que se distribuyen ya sea en 2 o 3 dimensiones, sus valores poseen un intervalo de -1 y 1, el primero indicando autocorrelación negativa fuerte y el segundo autocorrelación positiva. (Sawada, 2009)

El estadístico es calculado a partir de un doble producto cruzado ponderado por el tamaño de la muestra y la varianza de acuerdo a la fórmula:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j}} * \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} (x_i - \bar{X})(x_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (2.3.9)$$

Donde $w_{i,j}$ es la ponderación espacial entre la entidad i y j , n = tamaño muestral. Tomando como hipótesis nula que los valores se distribuyen de manera aleatoria usando el valor z obtenido como cociente de las diferencias entre el índice calculado, esperado, media y varianza.

Los cálculos fueron realizados en un paquete de Sistema de Información Geográfica obteniendo un valor para I de 0.1385, encontrado en los intervalos del estadístico, una puntuación $z= 71.6412$ y una probabilidad asociada de $p=0.000000$.

Con los argumentos anteriores de esta prueba se determina el rechazo de la hipótesis nula de aleatoriedad y por lo tanto los residuos presentan un patrón definido; el valor z positivo indica una autocorrelación positiva, de manera que los residuos más altos agrupan a su alrededor valores similares, mientras que residuos bajos se encuentran junto con valores similarmente bajos, indicando una agrupación espacial no esperada de un proceso aleatorio, esto confirma lo presentado en el método gráfico.

- Cumplimiento del supuesto de no autocorrelación espacial.

Similar a la propuesta de errores robustos a heteroscedasticidad de White, Newey y West (1987: 705) desarrollaron un cálculo de errores estándar que incorporan problemas de naturaleza de autocorrelación, es una generalización de los errores estándar de White pero que amplía su efecto a este fenómeno, llamados errores Newey-West, su uso es fundamentalmente válido para muestras grandes (Gujarati y Porter, 2010: 448)

Tabla 13. Comparación de errores estándar para cumplimiento de supuesto de no correlación serial.

	$\beta_1(z_{tm})$	$\beta_2(z_{pr})$	$\beta_3(z_{se})$	$\beta_4(z_{tm}^2)$	$\beta_5(z_{pr}^2)$	Prueba F
MCO con ee robustos de Newey-West	1.2982*** (0.0713)	0.9811*** (0.0511)	0.4255*** (0.0769)	-0.9396*** (0.0702)	-0.3647*** (0.0417)	2215.20***
MCO con ee robustos de White	1.2982*** (0.0690)	0.9811*** (0.0482)	0.4255*** (0.0793)	-0.9396*** (0.0667)	-0.3647*** (0.0396)	2740.37***
MCO	1.2982*** (-0.0732)	0.9811*** (-0.0320)	0.4255*** (-0.0091)	-0.9396*** (-0.0734)	-0.3647*** (-0.0311)	2055.92***

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente la tabla 13 muestra la comparación entre los errores robustos de White, la especificación de los errores de Newey-West y los errores estándar de MCO usuales. Se observa que la estimación por MCO subestima sistemáticamente el error estándar de cada parámetro en contraste con los errores White y Newey-West, siendo la diferencia entre estos dos menor, por lo que el efecto más importante para obtener estimadores eficientes estaba dado por la heteroscedasticidad.

El resultado esperado y obtenido era que al incluir autocorrelación y heteroscedasticidad en la varianza, los errores fueran mayores, excepto para β_3 , sin embargo, todos los coeficientes siguen manteniendo significancia estadística de manera individual y sus valores no han sido alterados, de manera que las conclusiones y los efectos parciales marginales se mantienen. Por otro lado el estadístico F presentado en MCO es subestimado, mientras con los errores robustos de White este se sobreestima, de igual forma para las 3 regresiones se rechaza la hipótesis de que todos los coeficientes son idénticos a 0 de manera simultánea.

En conclusión la especificación propuesta calcula parámetros que son estadísticamente significativos de manera individual y global, los estadísticos para las pruebas de hipótesis son válidos y poseen sus respectivas distribuciones, cumplen con las propiedades requeridas de insesgamiento, linealidad, consistencia y eficiencia; se satisfacen los supuestos del MCRL, por lo tanto son útiles para estimar la variable dependiente IBP para periodos posteriores.

2.3.1. IBP en Escenario Base, Horizonte Cercano, y Lejano.

Como se mencionó en la sección 2.2.2.1 se toma como punto de partida la construcción de 2 escenarios, el Escenario Base que incluye solamente efectos sobre la biodiversidad causados por las variaciones en la superficie de ecosistemas y un escenario que adicionalmente incorpora el efecto del CC.

De esta forma se estima IBP para los horizontes citados recurriendo a la especificación (2.3.3) manteniendo fijos los efectos climáticos del periodo 2002-2010 pero modificando la superficie de ecosistemas conforme a la información contenida en los mapas 9 y 10.

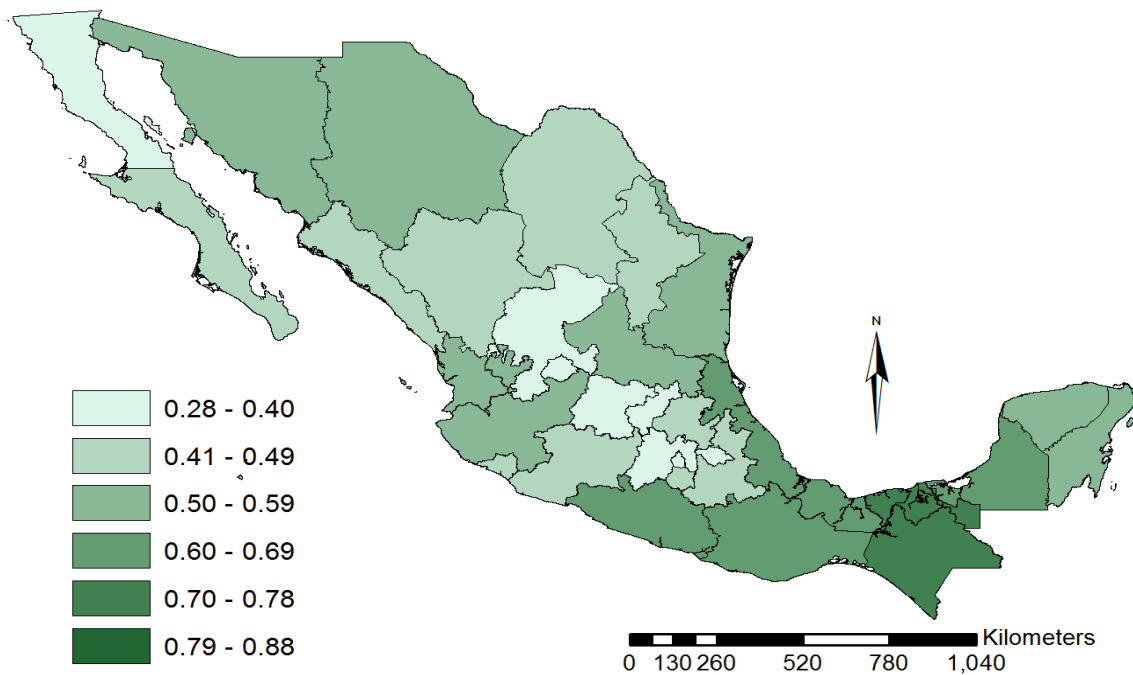
El panel a) del mapa 17 muestra las conformaciones de IBP por cada entidad federativa para el horizonte cercano (2015-2039) en donde se usan los datos de modificaciones en el uso de suelo pertenecientes a 2029. El mínimo se ha estimado en 0.2852 unidades encontrado en Baja California, mientras que la entidad con mayor IBP es Chiapas con 0.7477 unidades, único componente de la última clase en el panel.

Existe comportamiento diferenciado y mixto al comparar el índice del Horizonte Cercano y el calculado en 2002-2010, la pérdida más alta se encuentra en Baja California Sur, cuyo índice desciende de 52.28%, sin embargo se espera una ganancia de 62.70% para Sonora, mientras que las menores variaciones positiva y negativamente se encuentran en Quintana Roo y Michoacán, respectivamente. La desviación estándar para este periodo disminuye 14.46%, indicando una menor dispersión entre las series.

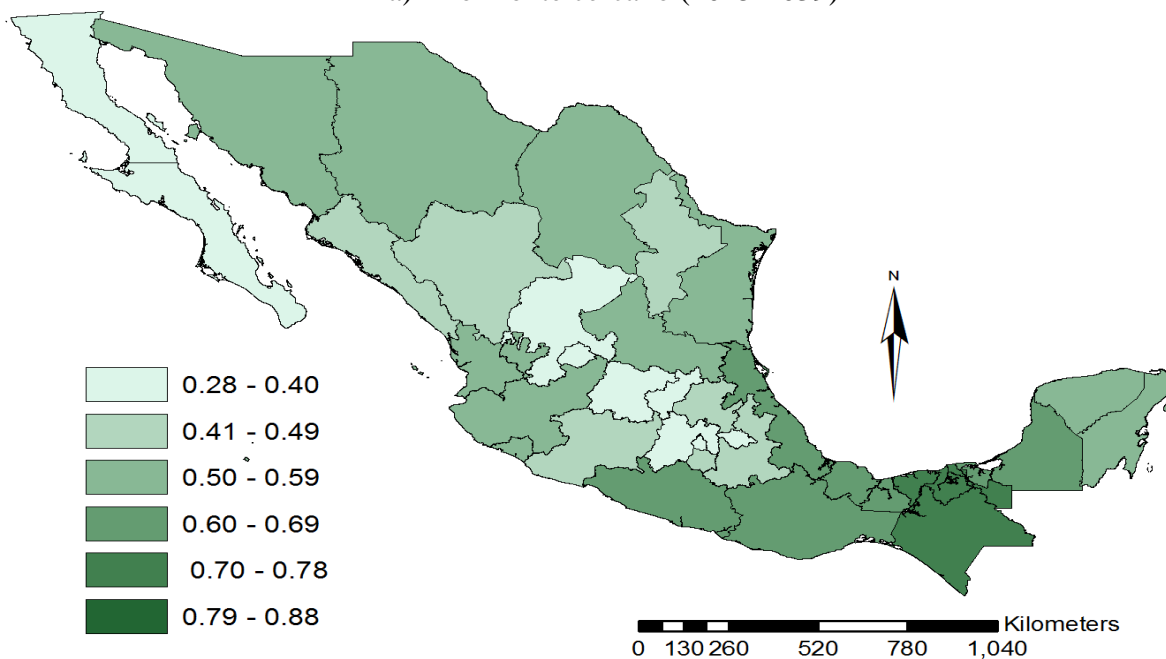
El promedio de pérdidas entre las entidades se encuentra en 0.0756 unidades, contrastando con una ganancia de 0.0630 unidades, con un efecto neto de 0.0126 unidades perdidas.

La clase modal está determinada por los intervalos 0.28 – 0.40, la cual es la primera clase, dentro encontramos a los estados de Baja California, Zacatecas, Aguascalientes, Tlaxcala, Ciudad de México, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo

Mapa 17. Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, Escenario Base, México.



a) Horizonte cercano (2015-2039)



b) Horizonte lejano (2079-2099)

Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma el panel b) muestra el IBP del horizonte lejano (2079-2099) estimado a partir del uso de suelo calculado para 2089. El máximo es mantenido por Chiapas, pero disminuido en 0.28%, seguido de Tabasco, que disminuye su índice 1.05%, a su vez la

desviación estándar disminuye con respecto al horizonte cercano con 1.20%, continuando la tendencia a la baja que en 2002-2010.

Al comparar con 2002-2010 la pérdida más intensa se espera igualmente en Baja California Sur, con 52.58% perdido, inversamente, la ganancia esperada más alta se obtiene para Sonora. Respecto al horizonte cercano la entidad con mayor variación es Veracruz con - 5.52%. Quintana Roo corresponde en las ganancias entre horizontes con 2.45% más.

El efecto neto promedio es de 0.0013 puntos perdidos para este horizonte, resultado de una ganancia promedio de 0.0048 y una pérdida media de 0.0061, lo anterior indica que las ganancias y las pérdidas disminuyen en 92.36% y 91.82% respectivamente, al comparar con el horizonte previo.

La baja en las unidades del índice produce que los estados de Sinaloa y Jalisco se trasladen de la clase 0.50 – 0.59 a la inferior inmediata 0.41 – 0.49, Durango por el contrario presenta el fenómeno inverso. Chiapas y Campeche se ubican en este contexto en clase 0.79-0.88 al pasar a 0.7817 y 0.7815 unidades, respectivamente comparado con el Horizonte 2015-2039.

El mapa 18 muestra en el panel a) IBP para el Horizonte Cercano (2015-2039) en la trayectoria RCP 4.5. Para esta serie la dispersión del índice sube al ubicarse 0.60% por arriba del mismo horizonte del Escenario Base, la ganancia promedio supera a las pérdidas con 0.0207 y 0.0124 unidades, respectivamente, lo anterior significaría que el cambio climático aunado al cambio de uso de suelo resulta marginalmente favorable en promedio a nivel nacional al aumentar 0.0082 unidades del índice.

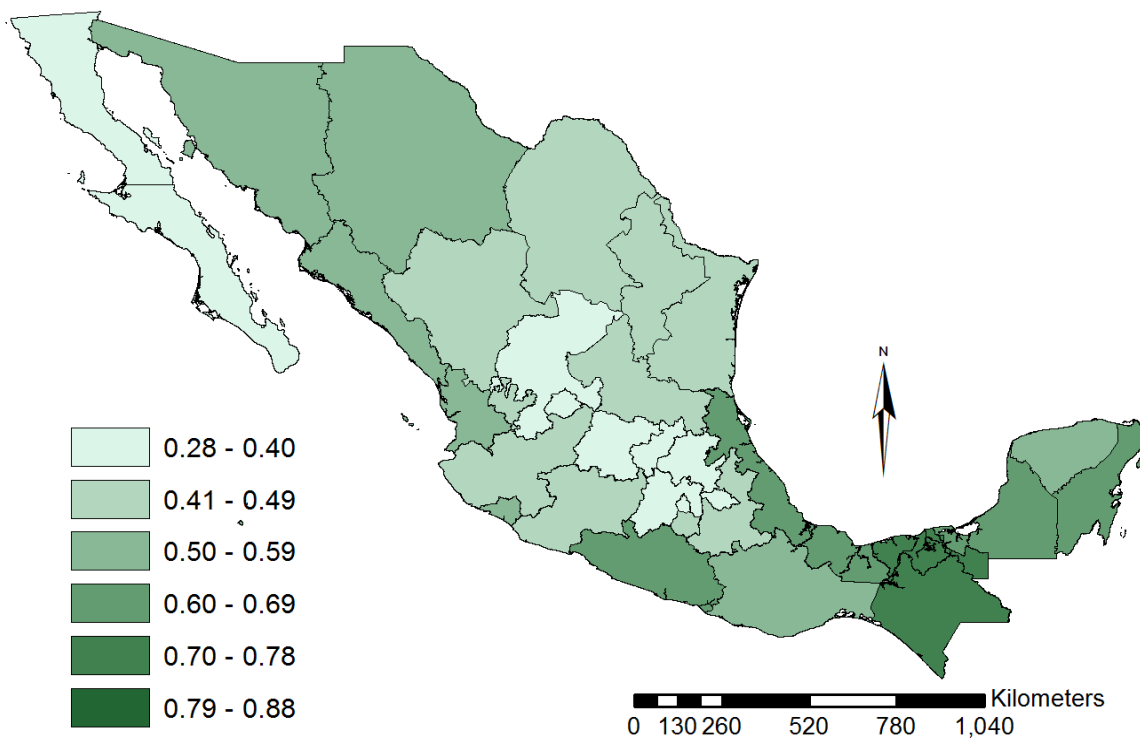
A nivel estatal el mínimo se localiza en Aguascalientes con 0.2859 unidades, diferenciándose del Escenario Base en Horizonte Cercano donde se ubicaba en Baja California, sin embargo, esta cifra es mayor 0.25%. El máximo se espera en Tabasco con 0.7255 unidades, sin embargo, también esta cifra resulta menor en 2.96% unidades que el máximo de dicho Escenario en el Horizonte Cercano.

La mayor pérdida se calcula en 4.09% menos para Nayarit, seguido de Chiapas con 3.45%. Las ganancias más altas se estiman en 14.16% y 10.20% para Ciudad de México y Quintana Roo, respectivamente.

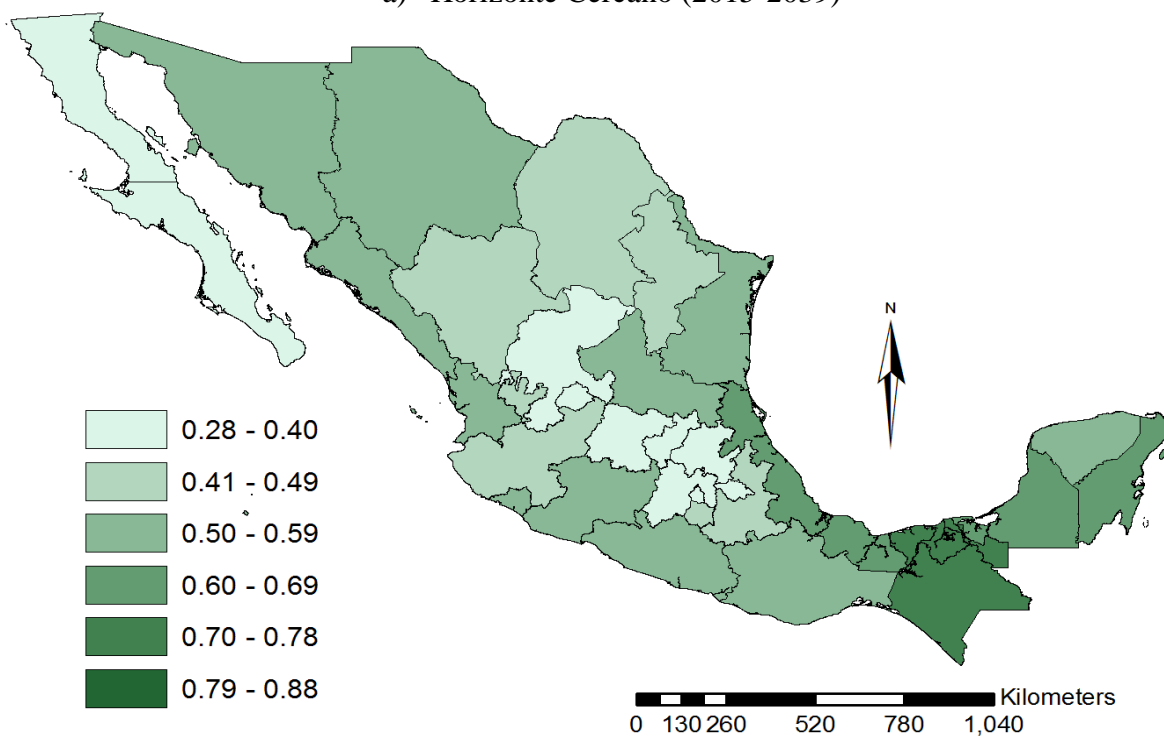
Las principales ganancias que modifican la distribución de clases en el mapa se observan al norte del país Con Chihuahua, Coahuila, Sonora adicionalmente a la región Sureste en Guerrero, Veracruz, Oaxaca y la Península de Yucatán en su conjunto, lo que ayuda a visualizar el efecto neto esperado respecto del mismo Horizonte en Escenario Base.

Si contrastamos dicho Horizonte con los datos presentados para 2002-2010 encontramos que la pérdida media se ubica en 0.0731 unidades, mientras que la ganancia en 0.0568 unidades, se infiere que al recorrer una trayectoria de RCP 4.5 para el Horizonte Cercano el efecto promedio neto sería 0.0163 unidades menos del Índice nacional.

Mapa 18. Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, RCP 4.5. México.



a) Horizonte Cercano (2015-2039)



b) Horizonte Lejano (2079-2099)

Fuente: Elaboración propia.

En el panel b) se observa el Horizonte Lejano para RCP 4.5; al comparar con el Horizonte previo de la misma trayectoria se espera un efecto neto de 0.0007 de ganancia, derivado de una disminución promedio del orden de 0.0058 contra un aumento de 0.0065 unidades promedio del Índice, las pérdidas más intensas son expresadas por Guerrero con 4.74% menos seguido de Oaxaca con -1.79%. Las ganancias esperadas más altas se encuentran en Durango y Coahuila con un incremento 4.07% y 2.98%, respectivamente.

El Índice más bajo para este Horizonte corresponde a Aguascalientes con 0.2851, dicho mínimo se estima 0.27% menos que para el Horizonte Cercano en el mismo RCP y para el mismo Horizonte de Escenario Base, es menor en 7.85% respecto a 2002-2010. En el caso del Índice máximo es estimado en 0.7281 unidades para Tabasco, seguido de Chiapas con 0.7183, similarmente este indicador es mayor en 0.35% a comparación del Horizonte Cercano en RCP 4.5 y 2.34% menor comparándolo con Horizonte Lejano en Escenario Base.

En la contrastación entre el citado Horizonte y el Escenario Base para el mismo periodo de igual forma se estima una ganancia promedio nacional de 0.0020 unidades adicionales. Se esperan las pérdidas de mayor magnitud en Chiapas y Nayarit con 3.66% y 4.46%, respectivamente. Por otra parte las mayores ganancias esperadas se obtuvieron para los estados de Baja California en 13.81% y Quintana Roo en 6.40% adicionales.

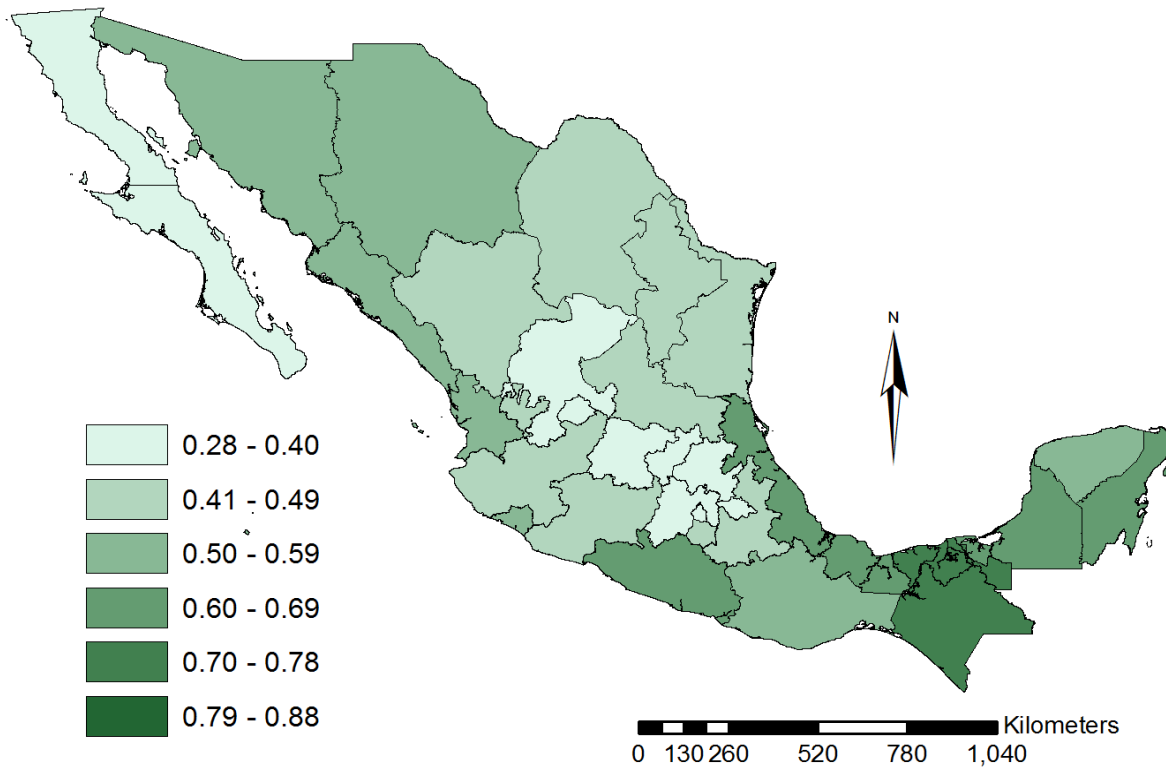
La reconfiguración de la distribución espacial de IBP se evidencia en las clases con una disminución generalizada del índice en ambos Horizontes respecto al Escenario Base. Para el Horizonte Lejano de RCP 4.5 Guerrero se traslada al intervalo 0.50-0.59 desde el inmediato superior para el Horizonte previo. Michoacán presenta el efecto inverso, al igual que Tamaulipas y San Luis Potosí.

Al comparar dicho Horizonte Lejano con su contraparte del Escenario Base la distribución se ve afectada por los movimientos de Oaxaca y Guerrero, ubicándose desde el intervalo 0.60-0.69 hasta 0.50-0.59. Jalisco y Coahuila cuya disminución en su índice provoca un desplazamiento a la clase con rango 0.41-0.49. Hidalgo por su parte se ubica en la clase del intervalo más bajo de la serie después de estar en la clase superior inmediata. Quintana Roo por otro lado escala en las clase, localizándose para el final del siglo en 0.60-0.69 desde 0.50-0.59.

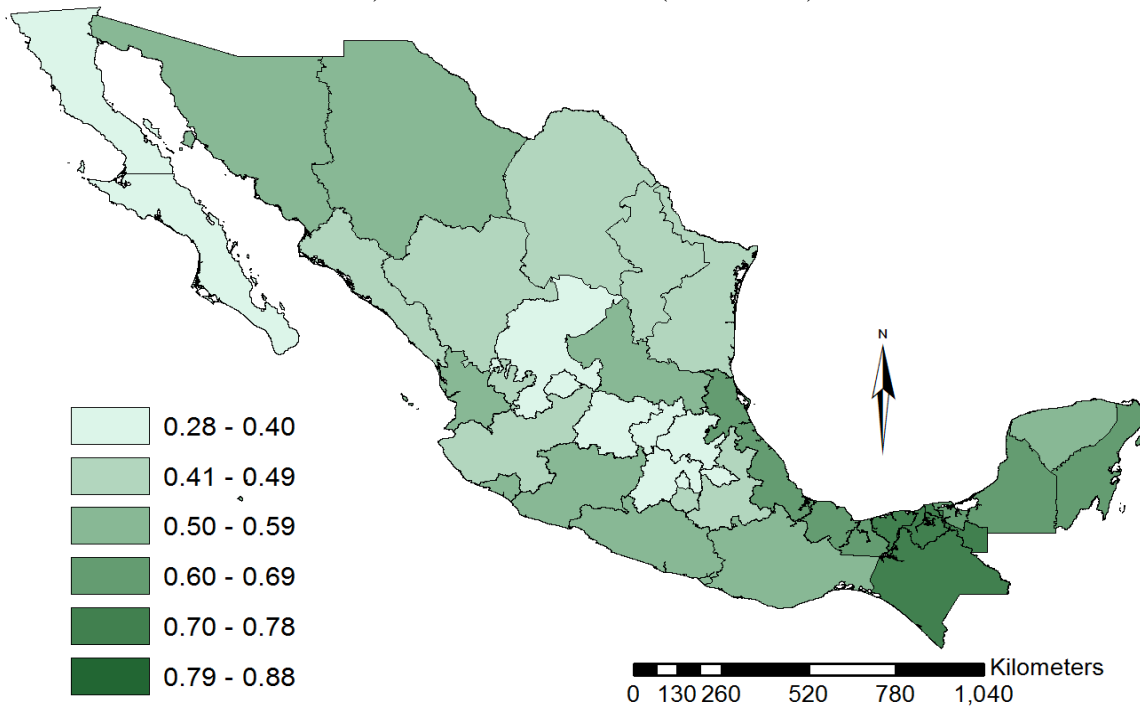
Si se toma en cuenta la variación espacial entre este Horizonte en RCP 4.5 y el IPB calculado para 2002-2010 se tiene que la tendencia en resultados mixtos es más clara; la península de Baja California, Guerrero y Campeche contrastan en disminuciones con las ganancias esperadas de Sonora, Chihuahua y Veracruz.

En el mapa 19 se muestra la distribución espacial del índice en el territorio nacional para la trayectoria RCP 8.5. El panel a) indica el Horizonte Cercano (2015-2039), el estado con mayor Índice es Tabasco con 0.7211 unidades, un 3.55% menor que el máximo esperado en el Escenario Base en dicho Horizonte, mientras que es un 0.60% menor a comparación de la trayectoria RCP 4.5 para el mismo indicador, el cual sigue permaneciendo en aquella entidad federativa.

Mapa 19. Índice de Biodiversidad Potencial por entidad federativa, RCP 8.5. México.



a) Horizonte Cercano (2015-2039)



a) Horizonte Lejano (2079-2099)

Fuente: Elaboración propia.

Aunado a lo anterior el mínimo se ubica en Aguascalientes con 0.2868 unidades, lo que resulta mayor en 0.56% al menor índice presentado en el mismo Horizonte pero del Escenario Base, si se contrasta con el RCP alternativo se tiene también un aumento de 0.31%. Adicionalmente, la dispersión medida por la desviación estándar es menor a la reportada para el mismo periodo del Escenario Base y de RCP 4.5, mostrando una concentración alrededor de la media para la serie presentada en el panel a) del mapa 19.

La comparación entre esta Trayectoria y el Base para el Horizonte Cercano estima un efecto neto positivo promedio de 0.0041 unidades con base en una pérdida promedio de 0.0146 y una ganancia media de 0.0188 unidades. Las mayores pérdida están asociadas a los estados de Chiapas y Nayarit con 4.85% y 4.24% menos, respectivamente. Las ganancias se encuentran en 9.48% para Quintana Roo seguido de la Ciudad de México con un 12.19% adicional.

Al analizar RCP 8.5 Cercano respecto al periodo 2002 – 2010 se encuentra una pérdida promedio de 0.0696 unidades contra una ganancia de 0.0614 unidades, resultando en una pérdida neta promedio de 0.0081 unidades. Las entidades más afectadas con caídas en su Índice son las encontradas en la Península de Baja California con 52.07% menor para Baja California Sur, mientras que Baja California pierde 32.88%. Sin embargo se esperan también ganancias, siendo las más altas para Sonora y Chihuahua con 71.74% y 47.84% adicionales, respectivamente.

En el panel b) del mapa 19 se aprecia el IBP para el Horizonte Lejano en el mismo RCP de referencia, con un mínimo asociado a Tlaxcala con 0.2876 unidades, ligeramente inferior a las correspondientes a Aguascalientes en 0.13%; Tabasco presenta el mayor IBP con 0.7290 unidades, cercanamente se encuentra Chiapas con 0.7181 unidades, esto implica que el Índice máximo para esta trayectoria es mayor en 0.12% con respecto al mismo Horizonte de RCP 4.5 pero menor en 2.22% al Escenario Base de 2079 – 2099.

Entre el mismo RCP 8.5 pero inter Horizontes se tiene una variación promedio neta de -0.0015, como resultado de una mayor variación negativa promedio en 0.0071 y un avance de 0.0055 promedio para los estados del país. De la misma forma entre esta trayectoria y el Escenario Base para Horizonte Lejano se tiene esperada una ganancia promedio final de 0.0040 unidades, derivado de una ganancia promedio en 0.0182 unidades y una pérdida nacional promedio de 0.0142.

La tabla 14 sintetiza los resultados para los distintos Escenarios, Trayectorias y Horizontes analizados, se muestra estadística como mínimo, máximo, desviación estándar, variación, así como el efecto promedio esperado de acuerdo a los cálculos del estudio.

No hay una tendencia clara al analizar la columna referente al mínimo, ya que con una Trayectoria de RCP 4.5 se espera una disminución marginal, sin embargo, para el Escenario Base y RCP 8.5 se esperan ligeras alzas, esto indica una posibilidad de que aumentos en la temperatura aun tengan un efecto benéfico sobre la biodiversidad para los estados con menor IBP.

Tabla 14. Resumen de resultados de IBP para Escenario Base, RCP 4.5, RCP 8.5 en Horizonte Cercano y Lejano.

	Mínimo	Máximo	Desviación Estándar	Efecto neto promedio respecto a 2002-2010	Efecto neto promedio respecto a E. Base
Horizonte Cercano (2015-2029)					
Base	0.2852	0.7477	0.1194	2.62%	
RCP 4.5	0.2859	0.7255	0.1202	3.36%	(1.70)%
RCP 8.5	0.2868	0.7211	0.1184	1.68%	(0.85)%
Horizonte Lejano (2079-2099)					
Base	0.2859	0.7456	0.1180	1.76%	
RCP 4.5	0.2851	0.7281	0.1191	(0.87)%	(0.41)%
RCP 8.5	0.2876	0.7290	0.1187	(0.87)%	(0.83)%

Fuente: Elaboración propia. Cifras en paréntesis indican un número negativo.

La columna del máximo también ejemplifica los resultados mixtos; en el Escenario Base en ambos Horizontes se encuentran las cifras más altas, mientras que al incluir CC de ambas Trayectorias se tienen las menores cifras en el Horizonte Cercano, si bien en el Horizonte Lejano no se alcanzan las magnitudes de la ausencia de CC, esto podría implicar que en el mediano plazo los cambios en las variables climáticas tienen una mayor repercusión sobre los estados que presentan un límite en la combinación de condiciones para un máximo IBP.

Se observa que en lo referente a la dispersión de los datos en el largo plazo estos se sitúan más próximos a la media pero que el Escenario Base no detenta la mayor dispersión de la serie en ambos Horizontes. Este cambio puede explicarse derivado de las magnitudes distintas de afectaciones por cada una de las Entidades Federativas.

En el efecto neto promedio se calcularon las ganancias promedio y se restan las pérdidas promedio para el mismo Escenario/Trayectoria en el respectivo Horizonte y contrastando con IBP de 2002-2010, mostrando los resultados en porcentaje del IBP promedio nacional del mismo periodo. Los porcentajes en paréntesis indican un efecto neto positivo, de esta forma, en el Horizonte Cercano y el Escenario Base del Horizonte Lejano se espera una reducción del IBP promedio nacional de entre 3.36% y 1.68%, siendo la mayor para RCP 4.5. Mientras que en RCP 4.5 y RCP 8.5 se espera una ligera ganancia en el mismo de 0.87%.

La última columna refleja la comparación entre un mismo Horizonte pero distinta Trayectoria con respecto al Escenario Base y de igual manera expresado como porcentaje de IBP nacional 2002-2010. De tal manera que para el Horizonte Cercano de RCP 4.5 se espera un mayor IBP que en el Escenario Base del mismo Horizonte en 1.70%, siendo que para RCP 8.5 del mismo Horizonte esta disminuye a un 0.85% esperado.

Capítulo 3. Estimación de costos asociados a la pérdida de biodiversidad.

La actividad humana se circunscribe dentro de la actividad inherente y natural del planeta; como especie nos hemos beneficiado de estar dentro del sistema Tierra, de manera más básica dependemos de los flujos de energía del sistema que comienzan con la radiación que proveniente del Sol. Esto implica que el desarrollo del humano ha modificado el entorno natural, esta interacción entre organismos vivos y los elementos no vivos del medio componen los ecosistemas.

Entonces un ecosistema es: “La comunidad biótica y su ambiente abiótico en su función como sistema” Smith (2009: G-6). Para los efectos que nos incumben se toman en cuenta únicamente los ecosistemas terrestres ya que la información utilizada fue obtenida a partir de ellos. Al respecto, el mismo autor (2009: 467) sostiene que estos se ven afectados por variaciones climáticas a través de la fotosíntesis y la cantidad de agua disponible, principalmente.

Sin embargo, no se disminuye la importancia de los ecosistemas acuáticos, los cuales dependen, entre otros factores, de la profundidad, salinidad, corrientes, intensidad luminosa, mismos que salen del alcance de este proyecto.

Siendo así que la biodiversidad se encuentra dentro del ecosistema, es un componente de ellos pero al mismo tiempo una base para el conjunto de la relaciones entre la misma biota.

Los efectos benéficos que el ser humano obtiene de los procesos llevados a cabo en ambientes naturales son llamados Servicios Ecosistemáticos (SE) o Servicios Ambientales (Pacha, 2014: 17). La definición parte de una asimilación de elementos biofísicos a la lógica económica, por lo que también pueden entenderse como la aportación directa o indirecta al bienestar humano por parte del flujo de bienes y servicios obtenidos del Capital Natural. (TEEB, 2010: 21)

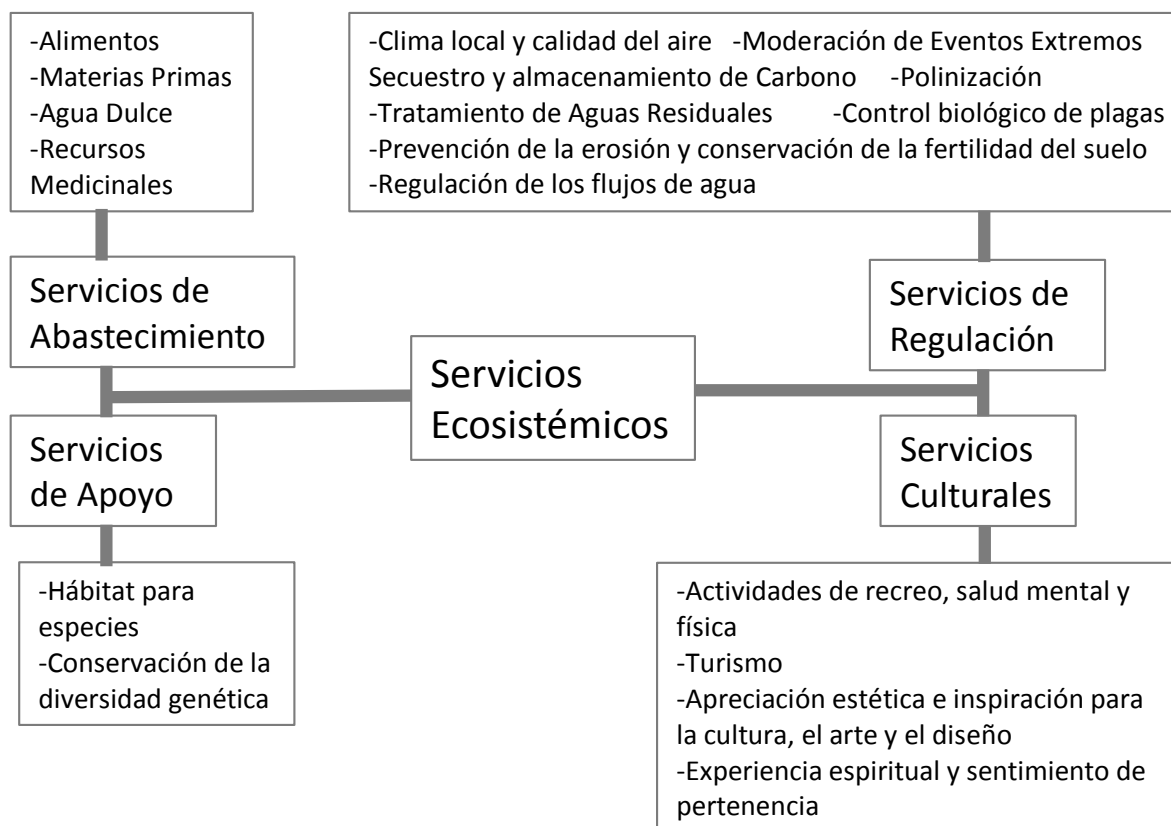
De acuerdo a la propuesta de conceptualización de SE de Hermelingmeier y Nicholas (2017: 257) la definición usada en este trabajo cae dentro del marco de investigación de tipo económico instrumental, con una perspectiva principalmente económica moderada, acercándose marginalmente también al enfoque del utilitarismo no económico, lo que arroja como resultado que los SE sean vistos como un instrumento útil y pragmático para la toma de decisiones pero también un medio para la conservación y mitigación de impactos.

Los SE se clasifican por el tipo de servicio que proporcionan, la figura 3 muestra la división entre Servicios de Abastecimiento, Regulación, de Apoyo y Culturales, así como algunos ejemplos. En los primeros se tiene como ejemplo los recursos naturales que se explotan con la intención de obtener bienes para sustentar la vida humana. Para los SE de regulación se tienen como procesos que actúan en segundo plano e indirectamente influyen en fenómenos de mayor escala temporal y espacial, como el clima y el ciclo hidrológico.

Dentro de los servicios de Apoyo o Soporte se encuentran aquellos que brindan el medio físico para el desenvolvimiento de las especies, mientras que los SE Culturales se relacionan fundamentalmente con la experiencia o expresiones intangibles.

La biodiversidad en su conjunto se clasifica dentro de los cuatro tipos de SE ya que sus características hacen que desarrolle distintas funciones, a manera de ejemplo: la diversidad biológica aporta especies vegetales valiosas para la medicina, al mismo tiempo se pueden encontrar distintas clases de polinizadores y transportadores de semillas involucrados en los procesos naturales; además en ella se encuentra la diversidad genética que sustenta las diferentes clases de cultivos para generar los alimentos requeridos, el reciclaje de nutrientes, por otra parte está representada en el folclor cultural al interior de las artes o el goce estético que conforma la base del ecoturismo. (Uribe, 2015: 30)

Esquema 3. Clasificación de Servicios Ecosistémicos.



Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2019.

3.1. Métodos de valoración económica aplicados a los Servicios Ecosistémicos

Reconociendo que los SE tienen características inherentes heterogéneas, es difícil aplicar un mismo método para cada una de ellos, es por eso que existen diversas técnicas que nos permiten aproximarnos a un valor para dichos SE. De acuerdo con Uclés (2006: 67) dentro de la economía ambiental todos los bienes y servicios obtenidos del medio son susceptibles de incorporarse a la lógica de precios y derechos de propiedad, por lo que internalizar los costos de los SE ayuda a la toma de decisiones de los agentes económicos.

La valoración es en sí misma un camino para la comparación entre costos y beneficios de los SE al convertirlos a unidades comparables; la utilidad de lo anterior se extiende también en

la selección respecto a una política de intervención frente a entre otras circunstancias: degradación, presencia de una externalidad, distribución de bienes públicos o compensación de los daños de los agentes involucrados.

Cristeche y Penna (2008: 12) sostienen que los estudios en América Latina relativos a la valoración económica de la biodiversidad se pueden incluir desde este enfoque teórico, resultando en las metodologías específicas para un recurso individual determinado.

Es así como el concepto de Valor Económico Total (VET) es aplicable, entendido como la suma del Valor de Uso (VU) y Valor de No Uso (VNU), la figura 4 detalla los valores incluidos en cada uno. Dentro del VU encontramos el Valor de Uso Directo (VUD), Valor de Uso Indirecto (VUI) y Valor de Opción (VO); siendo el primero relacionado con los productos y servicios de consumo directo, dividido en usos extractivos y no extractivos.

En VUI incluye el valor de los beneficios funcionales clasificados en ecosistémicos y ambientales. Adicionalmente, VO es referente a la protección de un recurso siendo su uso directo o indirecto en periodos futuros.

La categoría de VNU está compuesta de Valor de Legado (VL) y Valor de Existencia (VE): VL implica el heredar valores a generaciones futuras y VE corresponde al valor que un individuo asigna a un bien natural por el mero hecho de reconocer su existencia, aún cuando no se pretenda consumirlo. La suma de los valores se representa en la fórmula 3.1.1:

$$VET = VDU + VNU = (VUD + VUI + VO) + (VL + VE) \quad (3.1.1)$$

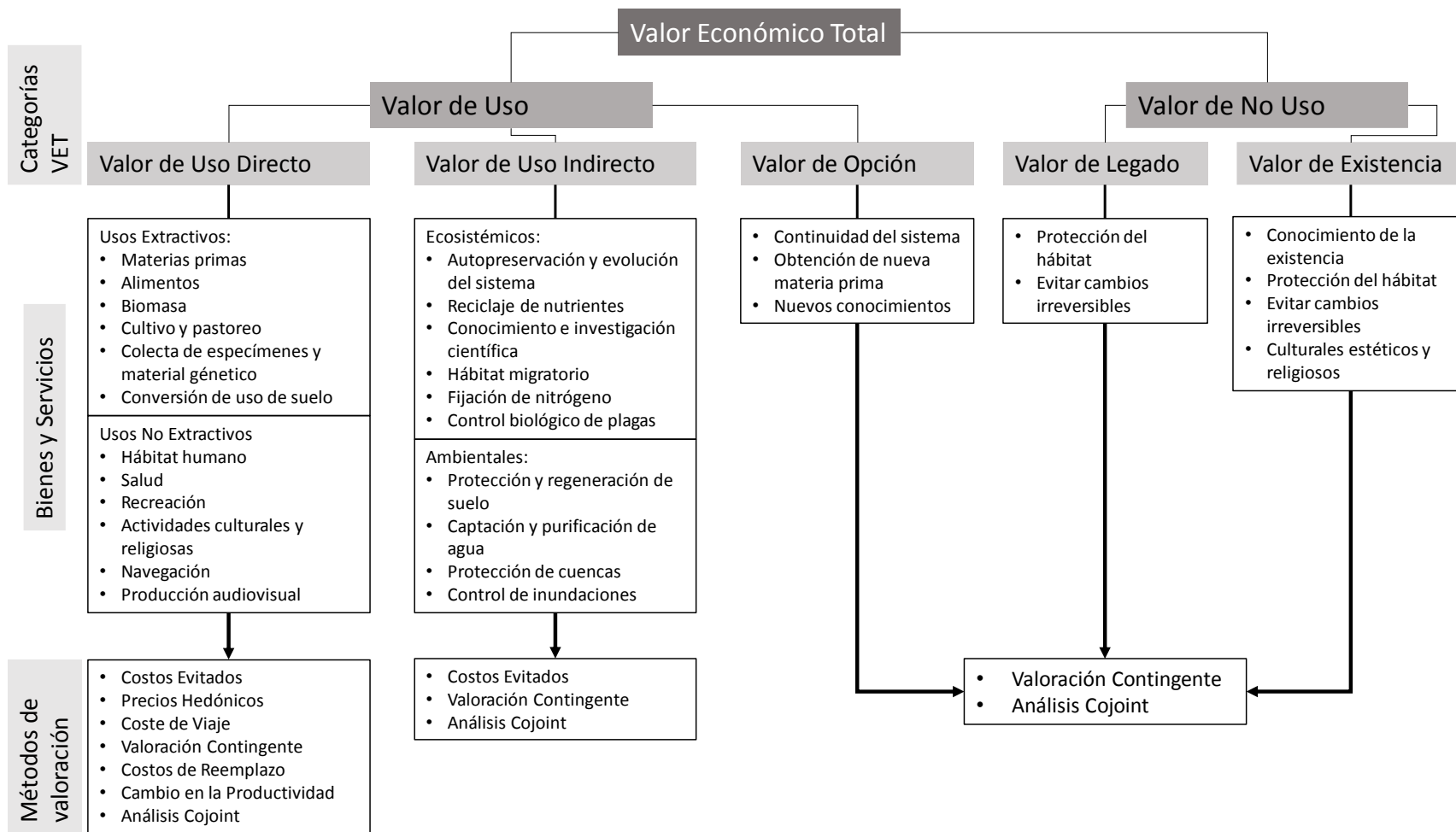
En la misma figura se presentan las técnicas más frecuentemente utilizadas para estimar cada tipo de valor en la biodiversidad. VUD es susceptible de estimarse a través de las metodologías de Costos Evitados, Precios Hedónicos, Coste de Viaje, Valoración Contingente, Costos de Reemplazo, Cambio en la Productividad, Análisis Conjoint. VUI y VO se han calculado a través de Costos Evitados, Valoración Contingente y Análisis Conjoint. Posteriormente, VE y VL con Valoración Contingente y Análisis Conjoint (Uribe, 2015: 32).

No es el objetivo presentar una detallada discusión de todas las metodología existentes, sus ventajas y desventajas, sin embargo se expone un breve resumen sobre la base general de cada uno de los mencionados.

- Análisis Conjoint

Se basa en la selección de circunstancias hipotéticas relacionadas con atributos de un bien, ya sea su cantidad o precio, entonces los individuos proceden a ordenar o comparar distintos escenarios respecto de un escenario base usualmente llamado status quo. Dichos escenarios también se pueden relacionar con distintos niveles de acción de política pública.

Esquema 4. Clasificación de valores y métodos de valoración.



Fuente: Elaboración propia con base en Iwan et al, 2017, Uclés, 2006 y Uribe, 2015.

- Precios Hedónicos

Método utilizado para estimar el valor de manera indirecta, es decir, se calcula el aporte de un atributo que afecta al valor final de un bien de mercado, de esta forma el valor del bien se representa como la suma de los valores de cada atributo independiente incluido en el agregado.

- Valoración Contingente

Una técnica utilizada para valorar bienes que sean de mercado o que no se incorporen en él. Presenta únicamente un cambio entre el status quo y una alternativa, se fundamenta en las preferencias declaradas de los agentes para construir una curva de demanda.

- Costos Evitados

Se usa para estimar el valor de los impactos en un recurso, sin embargo, estos no se encuentran en un entorno de mercado. Es igual al valor de las pérdidas producidas por la inexistencia de un SE. Puede calcularse en dos momentos: ex – ante, como el costo adicional que se generaría por no tener una acción encaminada a evitar dicho impacto. Ex – post indica que la acción para evitar el impacto se ha llevado a cabo, por lo que el valor es igual al costo de dicha acción.

- Cambio en la Productividad o Efectos en la Producción

Es un método para valorar directamente los cambios en la producción de una actividad económica derivados de variaciones en insumos que pueden ser bienes o servicios ambientales; tanto la actividad como los insumos adquieren un valor de mercado a través de las aportaciones que cada insumo agregue.

- Coste de Viaje

Esta metodología se basa en las preferencias reveladas de los consumidores al analizar su conducta referente al pago por desplazarse para consumir el bien en cuestión.

- Costo de reemplazo

También conocido como Costo de Oportunidad, es útil cuando se quiere comparar los beneficios y costos de una actividad con impacto en un bien natural contra el costo de conservación, en síntesis es un comparativo de costo-beneficio.

3.2. Estimación por medio de Función de Producción

Una Función de Producción es un instrumento utilizado para cuantificar las utilidades marginales, es decir variaciones en la productividad determinada (Solow, 1956: 66), dando como resultado una valoración indirecta de los insumos asociados. FAO (2015: 8) propone que la escasez de tierra, degradación del suelo, disponibilidad de agua y la pérdida de biodiversidad son factores que presentan un impacto negativo en la productividad agrícola.

Entonces una forma de valorar la biodiversidad a través del método de Cambio en la Productividad se relaciona con una función de producción donde uno de los insumos sea IBP aunado a los factores típicos de la producción como sería el Trabajo y el Capital. Se está agrupando el aporte de la biodiversidad en el producto del sector agrícola concentrando los

SE brindados en forma de control de plagas, variabilidad genética, polinización, reciclaje de nutrientes, captación de agua y biomasa.

En la fórmula 3.2.1 se expone la representación teórica de una función de producción para el sector agrícola con Y = valor de la producción agrícola, L = Factor Trabajo, K = Factor Capital, Bio = biodiversidad.

$$Y = f(L, K, Bio) \quad (3.2.1)$$

Dichos parámetros son estimados a través de MCO usando datos de corte transversal para el año 2007 de manera estatal. La información de producción agropecuaria obtenida de series históricas con fuente en INEGI (2019a) formado por los datos correspondientes al sector 11⁴: Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza. Estas cifras están presentadas en millones de pesos de 2013.

Mientras que el Capital compone el número de tractores, trilladoras, motogruas y vehículos funcionales usados en el sector primario. Se utiliza la población ocupada del mismo sector registrada en la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo de INEGI (2019b) cuyas unidades son miles de personas, por último la variable Bio representa el insumo ambiental de la producción medido por IBP del capítulo 2.

De acuerdo con Varian (2010: 349) un tipo de función de producción es la llamada Cobb-Douglas cuya forma se expresa en la ecuación 3.2.2, donde Y = producción, A = escala de producción= 1, L^a = Factor Trabajo, K^b = Factor Capital, a y b = respuesta de la cantidad producida a la variaciones de los factores, sin embargo, para su cumplimiento con los supuestos del MCRL se requiere una transformación logarítmica, obteniendo la ecuación 3.2.3 donde $\ln Y$ = logaritmo de Y , $\ln A$ = logaritmo de A , $\ln L$ = logaritmo de L , $\ln K$ = logaritmo de K .

$$Y = AL^aK^b \quad (3.2.2)$$

$$\ln Y = \ln A + a \ln L + b \ln K \quad (3.2.3)$$

Finalmente el modelo econométrico requerido es representado en la ecuación 3.2.4 que agrega el insumo ambiental, donde β_0 = intercepto, β_1 = Coeficiente relacionado al Trabajo del sector agropecuario, β_2 = Coeficiente del Factor Capital, β_3 = Coeficiente referente al índice de biodiversidad potencial, u = término de error, y = logaritmo de la producción de la entidad i , l_i = logaritmo de la Población Ocupada Agropecuaria del estado i , k_i = logaritmo de los vehículos funcionales en el sector primario y bio_i = Índice de Biodiversidad Potencial de la entidad i :

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 l_i + \beta_2 k_i + \beta_3 bio_i + u \quad (3.2.4)$$

⁴ De acuerdo al Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte.

La función empírica 3.2.5 se estimó con logaritmos naturales de todas las variables a excepción de IBP, cuyas unidades para este caso se encuentran en el intervalo de 0 a 100. Los signos de los coeficientes muestran el sentido requerido, ya que se espera que los aumentos en los insumos impacten de manera positiva en la producción en su conjunto. Las cifras en paréntesis indican el error estándar del coeficiente resultando en la significancia estadística tanto de cada parámetro individual como en su conjunto al tener una probabilidad del estadístico $F = 0.0000$

$$y_i = 0.3726l_i + 0.7696k_i + 0.0169bio_i \quad (3.2.5)$$

(0.1239)*** (0.0664)*** (0.0060)***⁵

La interpretación se modifica ya que al haber sido estimada con logaritmos representa ahora una elasticidad (Gujarati, 2010: 160): por una variación de 1% en la población ocupada del sector, en promedio el producto varía en 0.372%; por una variación de 1% en el número de bienes de capital funcionales, se espera un variación en el producto de 0.769%; por una variación de 1 unidad de IBP la producción esperada responde con una modificación de 0.0169%.

El último coeficiente mencionado es consistente con el estimado en CEPAL (2011: 179), siendo de 0.018, lo que indica una aportación similar de la biodiversidad a la producción agrícola dados los factores de la producción.

3.2.1. Cumplimiento de supuestos de MCRL para Función de Producción

De la misma forma en que el modelo para estimar el IBP presentado en el capítulo 2 cumple con los supuestos de MCRL, la estimación a través de una Función de Producción del apartado anterior debe aprobarlos, de manera que hay pruebas que son utilizadas nuevamente así como otras adicionales para el caso de esta especificación.

a) Distribución Normal en residuos de la regresión

El tamaño de la muestra corresponde al total de entidades federativas de la república mexicana más un distrito federal existente en ese periodo, dando un total de 32 observaciones, al ser considerablemente menor se requieren otras técnicas de detección de la distribución de los residuos. La ausencia de este tipo de distribución provoca que los estadísticos t y F dejen de poseer sus respectivas distribuciones y por lo tanto de validez para la inferencia (Gujarati, 2010: 99)

- Histograma

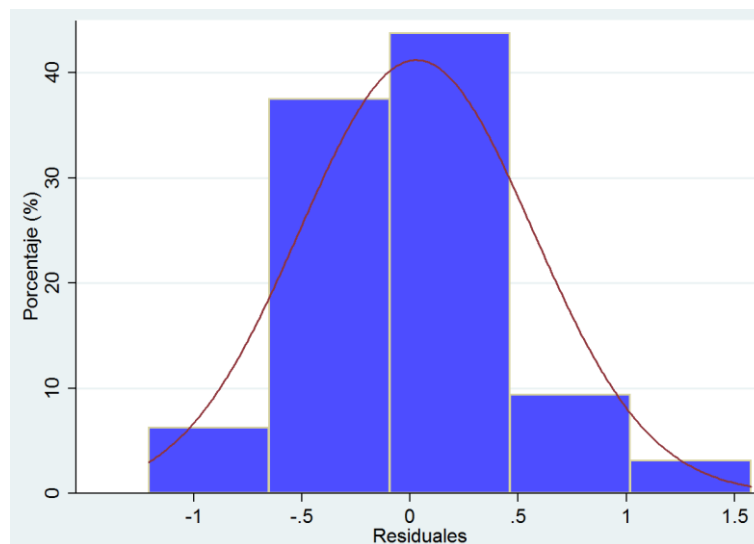
La serie de residuales posee una media de 0.0278, una desviación estándar 0.5303, asimetría de 0.3349 y 4.0784 como kurtosis, mientras que el mínimo y el máximo se ubican en -1.2070 y 1.5751 unidades, respectivamente. Con los datos anteriores podemos suponer que la distribución es platicúrtica con sesgo hacia la derecha

⁵ *** Significancia al 1%

El histograma es una representación gráfica de datos, consistente en una serie de rectángulos cuyo ancho representa un intervalo de valores y cuya altura indica la proporción de elementos dentro de una clase (Levin et al, 2004: 30).

En el gráfico 31 la línea roja superpuesta indica una distribución normal ideal, las barras muestran el porcentaje del total de residuales que caen en cada categoría con un intervalo de 0.5564 unidades, la segunda clase contiene al 38% de los datos, mientras que la tercera se compone del 44% de ellos, en suma el 82% del total. Al incluir la clase número 4 se tiene que el 81.25% de los datos se encuentra entre la media +/- una desviación estándar.

Gráfico 31. Histograma de residuales de la regresión 3.2.5.



Fuente: Elaboración propia.

- Pruebas Jarque-Bera (JB)

Dentro de las pruebas estadísticas para la detección de distribuciones encontramos la propuesta por Jarque- Bera (Gujarati, 2010: 131), que considera tanto la curtosis como la asimetría para formar un estadístico con distribución chi-cuadrada de acuerdo a la fórmula 3.2.6 donde n = tamaño de la muestra, S = simetría y K = curtosis:

$$JB = n \left(\frac{S^2}{6} + \frac{(K - 3)^2}{24} \right) \quad (3.2.6)$$

- Prueba Anderson- Darling (AD)

La prueba anterior debe tomarse con cautela, ya que fue demostrada predominantemente para muestras grandes, por tanto se agregan otras para consolidar una decisión respecto a la distribución normal de los residuos (McNeese, 2019). La Prueba AD presupone que una serie de datos se distribuye de manera normal sin embargo puede adecuarse a otros tipos, fue propuesta en 1952 cuya fórmula descrita en 3.2.7 e hipótesis nula de normalidad en la

distribución. Donde n = tamaño de la muestra, $F(X_i)$ = función de distribución acumulativa de la distribución especificada e i = i-ésima observación ordenada en forma ascendente:

$$AD = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(X_i) + \ln(1 - F(X_{n-i+1}))] \quad (3.2.7)$$

- Prueba Shapiro-Wilk (SW) y Shapiro-Francia (SF)

La prueba SW fue propuesta en 1965 con el objetivo de comparar la desviación en los estadísticos emanados de una muestra con distribución aleatoria y estadísticos propios de una distribución normal para menos de 50 observaciones, definida en la fórmula 3.2.8 donde n = tamaño de la muestra, $k = n/2$, a_{n-i+1} = coeficientes dados:

$$W_c = \frac{(\sum_{i=1}^k a_{n-i+1} (x_{n-i+1} - x_i))^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2.8)$$

La prueba SF se basa en SW y es equivalente en muestras grandes, es una simplificación de la anterior pero al mismo tiempo amplía el tamaño de muestra.

La tabla 15 contiene una agrupación de las pruebas estadísticas mostradas en esta sección. El estadístico JB obtenido es de 2.1489, al comparar con el valor crítico de tablas de 7.815 podemos inferir que, al nivel de significancia de 5% y con 3 grados de libertad, los residuos presentan una distribución normal. En la prueba AD el p-value obtenido asociado a un valor de 0.373 del estadístico es mayor a 0.05, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula, esta prueba fue ajustada para muestras pequeñas.

Para SW el valor calculado es de 0.9679, mientras que en SF es de 0.9557, contrastando ambos con el valor crítico de tablas de 0.930 no podemos rechazar la hipótesis nula, por lo tanto los residuos vienen de una serie de datos normalmente distribuida.

Tabla 15. Resultado de pruebas de normalidad de residuos.

Prueba	Hipótesis Nula	Valor	P-value (p)	Criterio	Inferencia
JB	$X \sim N$	2.14890	0.54000	$JB < 7.815, p > 0.05$	Normalidad
AD	$X \sim N$	0.373	0.41902	$p > 0.05$	Normalidad
SW	$X \sim N$	0.96797	0.44531	$W_c > 0.930, p > 0.05$	Normalidad
SF	$X \sim N$	0.95570	0.18170	$W_c > 0.930, p > 0.05$	Normalidad

Fuente: Elaboración propia.

b) Multicolinealidad

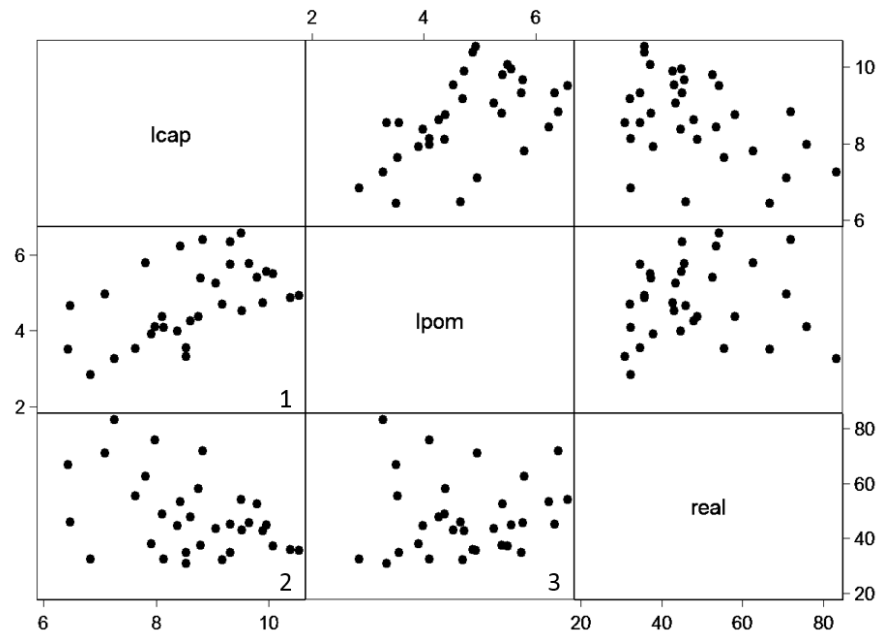
De igual manera la multicolinealidad afecta a los estimadores ya que estos presentan errores estándar de mayor magnitud, ampliando los intervalos de confianza. Se recurre a la prueba gráfica y a las regresiones auxiliares para la detección de este problema.

- Diagrama de dispersión entre regresoras del modelo

El gráfico 32 muestra el diagrama de dispersión entre las variables explicativas de la especificación planteada, se observa que existe una amplia dispersión lo que dificulta encontrar un patrón concretamente definido, sin embargo, se aprecia cierta relación positiva entre el capital y la población ocupada encontrada en la casilla 1.

Al comparar dicha población con IBP no hay una clara correlación, observada en la casilla 3, mientras que IBP con respecto a los bienes de capital tiene rasgos de una relación exponencial con pendiente negativa, dada la dispersión presentada en los primeros valores de la serie que finalmente se agrupan al aumentar el capital, observado lo anterior en la casilla 2.

Gráfico 32. Matriz de dispersión de variables regresoras.



Fuente: Elaboración propia.

- Regresiones auxiliares

En la tabla 16 se observan los coeficientes de determinación de las regresiones auxiliares entre las variables regresoras, ninguno de dichos coeficientes sobrepasa al R^2 de la regresión principal (0.9968), siendo en la regresión 1 de 0.3788, de 0.4827 para la regresión 2 y en la tercera regresión de 0.2790. Esto arroja evidencia de la presencia de multicolinealidad entre las variables, sin embargo, esta no es grave y no afecta a los estimadores de manera crítica al no rebasar al R^2 original.

Tabla 16. Coeficientes de determinación de regresiones auxiliares.

Regresión	Variable dependiente	Variables independientes		R2
1	<i>l</i>	<i>k</i>	<i>bio</i>	0.3788
2	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>bio</i>	0.4827
3	<i>bio</i>	<i>l</i>	<i>k</i>	0.2790

Fuente: Elaboración propia.

c) Varianza constante de los residuos

La ausencia de homoscedasticidad en los residuos afecta directamente a las varianzas y errores estándar de los estimadores, afectando su eficiencia, además las distribuciones t y F pueden ser falsas implicando inferencias incorrectas estadísticamente. Se utilizan de nueva cuenta las pruebas Breusch-Pagan, White y Koenker-Basset, cuyos resultados se compilan en la tabla 17.

Adicionalmente dado el tamaño limitado de la muestra se incluye otra prueba llamada Prueba Szroeter (SKH) con suficiente poder para percibir varianzas no constantes (Dufour et al, 2004: 342), con fórmula 3.2.9 en donde n = tamaño de la muestra, \hat{u}_i^2 = varianza de la i -ésima observación:

$$SKH = \frac{\sum_{i=1}^n 2[1 - \cos(\frac{\pi i}{n+1})]\hat{u}_i^2}{\sum_{i=1}^n \hat{u}_i^2} \tag{3.2.9}$$

Para la prueba BP se obtuvo un valor de F de 0.61, el cual es menor al $F_{3,28}$ de tablas, además posee un valor-p de 0.6151 que de acuerdo con la prueba de hipótesis asociada da como resultado no rechazar la hipótesis nula de homoscedasticidad. De manera contraria el estadístico de la prueba W muestra que existe heteroscedasticidad, ya que es mayor al valor crítico, mientras que en KB el estadístico t indica que el coeficiente es estadísticamente equivalente a 0, por lo que no afecta a la varianza. En SKH el valor chi-cuadrada es menor al valor crítico de tablas, por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula de homoscedasticidad.

Tabla 17. Pruebas de homoscedasticidad en los residuos de la función de producción para el PIB agrícola.

Prueba	Estadístico	Criterio	Valor calculado	Interpretación
Breusch-Pagan (PB)	F	$F_{cal} < F_{critico}$	0.61	Homoscedasticidad
White (W)	$R^2 * n \sim X^2$	$X_{cal}^2 < X_{critico}^2$	10.34	Heteroscedasticidad
Koenker-Basset (KB)	t	$t_{cal} < t_{critico}$	-1.02	Homoscedasticidad
Szroeter	X^2	$X_{cal}^2 < X_{critico}^2$	0.95	Homoscedasticidad

Fuente: Elaboración propia.

Lo anterior muestra que en 3 de las 4 pruebas se detecta homoscedasticidad, la prueba W puede haber sido afectada por el tamaño de la muestra, provocando que se haya detectado heteroscedasticidad con los grados de libertad y significancia al 5%, sin embargo, hay suficiente evidencia en las otras pruebas para considerar la varianza constante en los residuos.

d) Autocorrelación espacial de los residuos

Nuevamente el instrumento propuesto por Moran, llamado I de Moran es la prueba elegida para detectar la correlación espacial, de igual forma es calculada con un paquete de sistema de información geográfica.

El orden espacial seleccionado se hizo con base en IBP, al igual que en los datos municipales, ya que las entidades con mayor biodiversidad potencial pueden presentar un efecto de arrastre

con las entidades aledañas, tomando en cuenta lo anterior es posible aplicar también la prueba de las rachas.

- Prueba de las rachas o de correlación de Geary

Esta prueba fue planteada en 1970 por R. Geary como una prueba no paramétrica para definir si un patrón posee cierto sentido o es fundamentalmente aleatorio (Gujarati, 2010: 433). En dicha prueba es necesario ordenar los residuos de acuerdo a un criterio lógico para luego determinar el número de sucesiones con un atributo común, en este caso el sentido de los residuos. Posteriormente se calculan la media y la varianza del número de rachas, finalmente si dicho número de rachas cae fuera de un intervalo relacionado a la distribución normal estandarizada, se rechaza la hipótesis nula de no autocorrelación serial.

Las ecuaciones 3.2.10 muestran las fórmulas utilizadas en esta prueba, así como el intervalo de confianza con una significancia al 5%. Donde $E(R)$ = media de las rachas, N =número de observaciones, R = número de rachas, N_1 = número de residuos positivos, N_2 = número de residuos negativos y σ_R^2 = varianza de las rachas.

$$E(R) = \frac{2N_1N_2}{N} + 1$$

$$\sigma_R^2 = \frac{2N_1N_2(2N_1N_2 - N)}{(N)^2(N - 1)} \quad (3.2.10)$$

$$Prob [E(R) - 1.96\sigma_R \leq R \leq E(R) + 1.96\sigma_R] = 0.95$$

Al aplicar las fórmulas anteriores obtenemos que con $N=32$, se obtuvieron $R= 16$, con $N_1= 16$, $N_2= 16$, $E(R)= 17$, $\sigma_R^2=7.74193$ y un intervalo de (14.218, 19.782), por lo tanto al encontrarse el número de rachas, $R= 16$, dentro del intervalo no se rechaza la hipótesis de no autocorrelación.

- I de Moran

Después de la estimación el programa de información geográfica arroja una I de -0.0725, con una z de -0.4746 asociado a una probabilidad de $p= 0.6450$. Con los datos obtenidos a partir del programa para dicho estadístico no se puede rechazar la hipótesis nula de aleatoriedad espacial, es decir, los residuos posiblemente sean el producto de un proceso aleatorio.

Una vez después de haber aplicado estas técnicas de detección a la modelación podemos concluir que dichos parámetros cumplen con los supuestos del MCRL, las inferencias basadas en las pruebas de hipótesis tienen validez al presentar sus respectivas distribuciones, por lo tanto los coeficientes son útiles para pronosticar distintas situaciones hipotéticas.

3.3. Impactos generales a nivel nacional asociados a la variación en la biodiversidad.

Una vez definido el instrumento para calcular de manera indirecta el peso que tiene la biodiversidad sobre la producción agropecuaria se continúa con la estimación para periodos futuros relacionados con las variaciones en las condiciones climáticas. Seleccionando la

metodología de Valor Presente Neto (VPN) para tal efecto, consistiendo en calcular el valor de un activo a través de la suma de los flujos que obtendríamos en un tiempo distinto del actual, ponderándolos con una preferencia por el valor actual o futuro y finalmente restando la inversión inicial. Para lograr calcular dichos flujos se usó una interpolación lineal entre ambos Horizontes de acuerdo a la fórmula explicada en Chapra y Canale (2014: 90).

La fórmula 3.2.11 representa la fórmula de VPN, donde a_t = flujo de efectivo al año t del proyecto y r = tasa de descuento.

$$VPN = \sum_{t=0}^n \frac{a_t}{(1+r)^t} \quad (3.2.11)$$

Para estudios donde existe una circunstancia adversa de largo plazo con incertidumbre involucrada como es el CC el VPN representa el costo de la no acción ante las modificaciones climáticas (CEPAL, 2011: 265). Este costo es expresado como porcentaje de la producción de referencia, de manera que las comparaciones son válidas ya que expresan unidades monetarias equivalentes. Una mayor tasa implica mayor transferencia de valor del futuro al presente.

La tasa de descuento para proyectos colectivos está definida a partir de componentes que recaen en los factores de la tasa de impaciencia, la aversión relativa a la desigualdad intertemporal y la tasa de crecimiento económico (3.2.12), dicha relación es conocida como “La Regla de Ramsey”. La primera (δ) representa la tasa de interés a la que un agente económico aceptaría ahorrar una porción de su ingreso actual, llamada también “tasa de retorno de preservación de bienestar”. La aversión (γ) es la proporción del ingreso que se está dispuesto a sacrificar en el presente para aumentar el consumo en el futuro. (Gollier, 2013: 36)

$$r = \delta + \gamma g \quad (3.2.12)$$

Con esta forma funcional se puede estimar la tasa de descuento eficiente al sustituir los valores calculados y evaluar políticas públicas referentes al CC. El mismo autor (2013: 37) menciona que se han utilizado tasas de descuento de entre 1.4% y 6% calculadas a partir de esta fórmula; en el presente estudio se usan las tasas de descuento de 0.5%, 2%, 4% y 8%. Usualmente para periodos de más de 30 años se disminuye la magnitud de la tasa de descuento en virtud de la incertidumbre asociada a la tasa de crecimiento económico.

Consecuentemente se calculan los costos asociados a las variaciones en la biodiversidad para todas las entidades federativas en su conjunto, descontando cada magnitud anual de manera individual, restando la pérdida del año de referencia de cada entidad, sumando cada año del periodo del Horizonte determinado y finalmente expresándolo como porcentaje de la producción nacional. De esta forma se obtienen resultados individualmente para el Escenario

Base, que no incluye el CC en el IBP, la trayectoria RCP 4.5 y 8.5 en ambos horizontes, 2015-2039 y 2079-2099, respectivamente.

La tabla 18 muestra la variación neta del PIB del sector primario de México en las distintas trayectorias como porcentaje del PIB nacional de 2007 a precios de 2013, a las diferentes tasas de descuento mencionadas anteriormente. La información se presenta agregada a nivel país y contiene implícitamente los resultados mixtos de acuerdo a la estimación; estos costos nacionales se componen de la suma de efectos entre las Entidades en el Horizonte correspondiente, enfatizando el lapso de entre 20 y 25 años, respectivamente.

Se esperan costos para todas las tasas de descuento, siendo el menor de 0.06% en el Escenario Base del Horizonte Cercano con 0.5% como factor de descuento y el máximo de 3.65% para la tasa de descuento 8% en el Horizonte Lejano. Las mayores variaciones se registran entre Horizontes para las tasas de descuento más bajas, se pasa del costo anual mínimo a un 1% tan sólo al avanzar en el tiempo con el descuento más bajo. Mientras que con una tasa del 2% el costo anualizado en promedio es más que el triple entre Horizontes.

En promedio para un descuento de 4% se añaden 1.78 puntos porcentuales a los costos al pasar de un Horizonte a otro, sin embargo, para una tasa de 8% la variación en los costos entre Horizontes disminuye a un promedio de 1.09 puntos porcentuales adicionales.

La tasa de descuento tiene un efecto preponderante en la estimación de costos, ya que los aumenta de manera sistemática al aumentar el descuento, principalmente entre 0.5% y 2% de descuento para el Horizonte Cercano. Existe una menor intensidad en la variación del porcentaje de costos al aumentar el descuento en el Horizonte Lejano.

El Horizonte Cercano espera un comportamiento diferenciado, derivado del aumento de los costos al incluir CC en las estimaciones al compararse con el Escenario Base, sin embargo, los mayores costos en este Horizonte se esperan en RCP 4.5, con ligeras diferencias respecto al RCP alterno considerando una tasa de 0.5% de descuento.

Tabla 18. Costos anualizados a nivel nacional entre Horizonte Cercano y Horizonte Lejano en porcentaje de PIB 2007 a VPN.

Horizonte cercano (2015-2039)				
	0.5%	2%	4%	8%
Base	0.06%	0.92%	1.70%	2.55%
4.5	0.09%	0.94%	1.71%	2.56%
8.5	0.08%	0.94%	1.71%	2.56%
Horizonte lejano (2079-2099)				
Base	1%	2.86%	3.49%	3.65%
4.5	0.98%	2.86%	3.49%	3.65%
8.5	0.98%	2.86%	3.49%	3.65%

Fuente: Elaboración propia.

Los costos son incrementales en el tiempo pero en el largo plazo la diferencia entre RCP 4.5 y 8.5 se espera de manera marginal, siendo que estos son menores al compararse con el Escenario Base en el descuento más bajo, a nivel agregado el CUS tiene un efecto negativo sobre la biodiversidad similar a la variación climática para este Horizonte y un efecto ligeramente diferenciado en el Horizonte Cercano.

Las estimaciones realizadas por Costanza et al (2014:156) indican que el valor promedio del total de SE es de 125 billones de dólares⁶ por año en 2011, con una pérdida de 20 billones de dólares por año al comparar con los valores de 1997.

3.3.1. Costos estatales entre RCP 4.5, RCP 8.5 y el Escenario Base para el Horizonte

Cercano.

Cabe destacar que las cifras de la tabla 18 se componen de la suma simple de costos y beneficios de las entidades federativas en su conjunto, se analizan los efectos por estado, a fin de no soslayar las diferencias entre las estructuras de producción, el peso de la biodiversidad, el nivel de impacto del CC en cada uno, así como su aportación nacional.

Los costos estatales como porcentaje del PIB nacional de 2007 en el Horizonte Cercano son mostrados en tabla 19, entre todo el territorio se esperan efectos mixtos entre costos y ganancias en el Escenario Base, Trayectorias y tasas de descuento consideradas, siendo los signos negativos ganancia. Del total de entidades federativas, 56% presentan algún grado de costo, mientras lo probables beneficios se ubican en las tasas de descuento de entre 0.5% y 4%

Para el Escenario Base en la tasa de descuento de 0.5% Jalisco presenta el costo más alto con 2.63%, seguido del estado de Guerrero de 1.92%, el costo menos intenso para el mismo Escenario se ubica en Quintana Roo de 0.06%, próximo a Ciudad de México con 0.07%. El costo promedio para este Horizonte es de 0.84% en la tasa mencionada

Al aumentar el descuento 2% en el mismo Escenario los mayores costos se esperan en Jalisco y Sinaloa con 4.26% y 3.06%, respectivamente. Mismo evento en los menores costos de Tlaxcala, Nayarit, Quintana Roo y Ciudad de México los primeros con 0.08%, mientras que los segundos con 0.11%; esto es un aumento del costo en estos últimos estados, sin embargo, Tlaxcala y Nayarit pasan de esperar beneficios a dichos costos. El costo medio de 1.00% muestra una variación positiva respecto la tasa anterior.

El mismo patrón se observa al analizar la tasa de 4% y 8% del descuento, con Jalisco y Sinaloa como los estados con mayores costos con 5.75%, 4.26% y 7.51%, 5.48%, para cada descuento, respectivamente. Adicionalmente se repite en Quintana Roo y Ciudad de México, sin embargo hay costo creciente para Tlaxcala, al pasar a un 0.37% desde 0.22% entre las tasa de descuento de 4% y 8%, Nayarit mantiene un costo de entre 0.47% y 0.99% entre ambas tasas de descuento, provocando en estos últimos una mayor sensibilidad a la variación del factor de descuento.

⁶ Dólares constantes de 2007.

La trayectoria RCP 4.5 en todas las tasas de descuento presenta comportamientos similares al Escenario Base, siendo Jalisco y Guerrero los estados con mayores costos esperados, con entre 2.74%- 7.43% y 1.91% -3.26% para cada tasa, respectivamente. Guerrero no posee una sensibilidad tan intensa a las variaciones en la tasa de descuento, ya que estados como Sonora, Sinaloa, Estado de México y Veracruz esperan un mayor costo para descuentos del 8%, con cifras de 5.58%, 3.87%, 3.01% y 4.39%, respectivamente.

Lo mismo ocurre para Ciudad de México y Quintana Roo con 0.06%-0.18% y 0.04%-0.21% para cada descuento, respectivamente. En el mismo sentido el costo medio de la trayectoria en la tasa 0.5% es de 0.80%, contra 2.04% de la tasa de 8% de descuento.

Al comparar RCP 4.5 respecto al Escenario Base se observa que en los estados de Aguascalientes, Coahuila, Jalisco, Nuevo León, Querétaro y Tamaulipas aumentan los costos esperados para todas las tasas de descuento al incluir las variaciones climáticas, mientras Baja California Sur, Colima, Ciudad de México, Estado de México, Morelos, Tabasco y Tlaxcala se mantienen prácticamente iguales. Sin embargo, los costos disminuyen en los estados de Baja California, Guerrero, Michoacán, Quintana Roo, Sinaloa, Sonora y Yucatán, esto implica que son circunscripciones capaces de obtener un beneficio del CC moderado con una tasa de descuento adecuada.

Los estados de Campeche, Durango y Veracruz aumentan su posible ganancia al incorporar la trayectoria RCP 4.5 de variación climática en la tasa de descuento de 0.5% respecto al Escenario Base. Mientras que Chiapas, Chihuahua, Guanajuato, Hidalgo, Nayarit, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí y Zacatecas recortan las ganancias esperadas entre RCP 4.5 y el Escenario Base en el mismo descuento. Solamente los estados de Campeche, Chiapas y Zacatecas poseen algún grado de ganancia en la tasa de descuento de 2% de dicha trayectoria, la cual fluctúa entre 0.03% y 1.62%.

En suma, las Entidades inmediatas anteriores mencionadas son aquellas que entre las distintas tasas de descuento pasan de esperar ganancias a costos al aumentar dicho descuento y que además son afectados de manera mixta por la variabilidad climática en la respectiva aportación de la biodiversidad al producto. Caso especial de Tamaulipas, cuya única estimación benéfica se ubica en el Escenario Base del 0.5% de descuento, al incluir la variación climática esta se desplaza al terreno de los costos con 0.01%.

Si se incluyen las variaciones representadas en RCP 8.5, Guerrero y Jalisco lideran los costos con 2.77% y 1.92% al 0.5% de descuento, para la tasa más alta de descuento estos se trasladan en Jalisco y Sinaloa con 7.44% y 5.55% 2.53%, respectivamente. Las menores pérdidas se concentran en Quintana Roo, seguido de Ciudad de México, en ambos estados el costo es menor a 0.22% para todas las tasas. El costo promedio para esta trayectoria es igual que para la trayectoria alternativa.

Tomando en cuenta únicamente los estados que presentan sólo costos se pueden categorizar al comparar RCP 4.5, RCP 8.5 y el Escenario Base. Jalisco y Estado de México, tienen un patrón común, al aumentar sus costos a medida que aumenta la variabilidad climática compilada en ambos RCP. Aguascalientes y Querétaro no presentan un patrón definido, ya

que sus costos aumentan en ambos RCP respecto al Escenario Base, pero entre trayectorias tienen un crecimiento marginal. Caso contrario de Ciudad de México, Quintana Roo y Yucatán, donde sus costos son menores en ambos RCP en referencia al Escenario Base, pero entre trayectorias no varían.

Tabasco sólo tiene un aumento de costos perceptible al comparar RCP 8.5 con Escenario Base. Baja California y Sonora disminuyen sus costos al trasladarse del Escenario Base a RCP 4.5 y de este a RCP 8.5. Baja California Sur y Colima permanecen constante prácticamente al comparar entre trayectorias y Escenario Base, en este grupo también podemos incluir a Morelos, ya que sólo existe una variación marginal en la tasa de descuento 0.5% de RCP 4.5.

Guerrero y Michoacán tienen un patrón donde al compararse RCP 4.5 contra el Escenario Base, sus costos disminuyen, pero al comparar RCP 8.5 respecto al citado Escenario, estos aumentan a niveles similares sin contemplar las variaciones climáticas.

Se espera un patrón inverso al anterior en Coahuila y Nuevo León; en donde el costo más alto se muestra al comparar RCP 4.5 con la trayectoria alternativa y el Escenario Base, es decir, con ausencia de CC o en presencia de variabilidad climática intensa los costos son menores.

En contraste con los costos estatales también se esperan efectos mixtos en 14 Entidades Federativas en el Horizonte Cercano, representadas de igual manera en la tabla 18. La única Entidad con ganancias hasta una tasa de descuento de 4% es Zacatecas con un máximo de 2.98% con un descuento aplicado de 0.5% en el Escenario Base, en este sentido dichas ganancias esperadas se ven disminuidas por las trayectorias de CC al pasar a 0.55%, aunque entre ellas no existan diferencia considerables, es el estado con mayor resiliencia esperada a los efectos de la variación climática.

Al sustentar en el análisis una tasa de descuento de 0.5% Durango muestra un aumento de las ganancias esperadas a medida que los efectos en las variables climáticas se vuelven más intensos hasta llegar 0.75%, de manera análoga los costos esperados en las restantes tasas de descuento se ven disminuidos por las trayectorias, Chihuahua es otro estado con un comportamiento similar, pero ampliado al usar un descuento de 2% con un máximo de 0.80% en RCP 8.5. Campeche tiene un aumento en las ganancias esperadas para las tasas de descuento de 0.5% y 2% al incluir CC con 0.37% y 0.14%, respectivamente, sin embargo entre trayectorias no se espera una variación apreciable, en el caso de los costos se espera un efecto similar.

Tabla 19. Impactos estatales en Horizonte Cercano para RCP 4.5, RCP 8.5, Escenario Base y tasas de descuento.

	0.50%	2%	4%	8%	0.50%	2%	4%	8%	0.50%	2%	4%	8%	0.50%	2%	4%	8%
	Aguascalientes				Ciudad de México				Morelos				Sinaloa			
Base	0.34%	0.51%	0.67%	0.85%	0.07%	0.11%	0.14%	0.18%	0.12%	0.35%	0.56%	0.79%	1.76%	3.06%	4.26%	5.58%
RCP 4.5	0.36%	0.53%	0.68%	0.86%	0.06%	0.10%	0.14%	0.18%	0.11%	0.35%	0.56%	0.79%	1.63%	2.97%	4.19%	5.55%
RCP 8.5	0.36%	0.53%	0.68%	0.86%	0.06%	0.10%	0.14%	0.18%	0.12%	0.35%	0.56%	0.79%	1.63%	2.97%	4.19%	5.55%
	Baja California				Durango				Nayarit				Sonora			
Base	0.94%	1.21%	1.46%	1.74%	-0.68%	0.27%	1.13%	2.07%	-0.36%	0.08%	0.47%	0.90%	1.80%	2.50%	3.15%	3.88%
RCP 4.5	0.90%	1.18%	1.44%	1.73%	-0.72%	0.24%	1.11%	2.06%	-0.30%	0.12%	0.50%	0.91%	1.76%	2.48%	3.14%	3.87%
RCP 8.5	0.89%	1.17%	1.43%	1.73%	-0.75%	0.22%	1.10%	2.05%	-0.30%	0.12%	0.50%	0.91%	1.71%	2.44%	3.11%	3.86%
	Baja California Sur				Guanajuato				Nuevo León				Tabasco			
Base	0.26%	0.34%	0.41%	0.49%	-1.10%	0.16%	1.31%	2.55%	0.37%	0.60%	0.81%	1.05%	0.41%	0.62%	0.82%	1.04%
RCP 4.5	0.26%	0.34%	0.41%	0.49%	-1.03%	0.22%	1.34%	2.57%	0.40%	0.62%	0.83%	1.06%	0.41%	0.63%	0.82%	1.04%
RCP 8.5	0.26%	0.34%	0.41%	0.49%	-1.04%	0.21%	1.34%	2.56%	0.39%	0.62%	0.82%	1.05%	0.42%	0.63%	0.82%	1.04%
	Campeche				Guerrero				Oaxaca				Tamaulipas			
Base	-0.34%	-0.12%	0.08%	0.30%	1.92%	2.37%	2.79%	3.27%	-0.50%	0.20%	0.82%	1.50%	-0.04%	0.71%	1.38%	2.12%
RCP 4.5	-0.37%	-0.14%	0.06%	0.29%	1.91%	2.36%	2.78%	3.26%	-0.47%	0.22%	0.84%	1.51%	0.01%	0.74%	1.40%	2.13%
RCP 8.5	-0.37%	-0.14%	0.06%	0.29%	1.92%	2.37%	2.79%	3.26%	-0.44%	0.24%	0.85%	1.52%	0.00%	0.73%	1.40%	2.13%
	Coahuila				Hidalgo				Puebla				Tlaxcala			
Base	1.04%	1.33%	1.60%	1.90%	-0.09%	0.40%	0.85%	1.34%	-0.98%	0.22%	1.31%	2.49%	-0.07%	0.08%	0.22%	0.37%
RCP 4.5	1.06%	1.34%	1.60%	1.90%	-0.06%	0.43%	0.87%	1.35%	-0.96%	0.24%	1.32%	2.50%	-0.07%	0.08%	0.22%	0.37%
RCP 8.5	1.04%	1.33%	1.59%	1.90%	-0.05%	0.43%	0.87%	1.35%	-0.93%	0.26%	1.34%	2.50%	-0.07%	0.08%	0.22%	0.37%
	Colima				Jalisco				Querétaro				Veracruz			
Base	0.31%	0.44%	0.56%	0.70%	2.63%	4.26%	5.75%	7.41%	0.52%	0.68%	0.82%	0.99%	-1.47%	0.55%	2.38%	4.38%
RCP 4.5	0.31%	0.44%	0.56%	0.70%	2.74%	4.34%	5.80%	7.43%	0.53%	0.69%	0.83%	0.99%	-1.49%	0.55%	2.39%	4.39%
RCP 8.5	0.31%	0.44%	0.56%	0.70%	2.77%	4.36%	5.82%	7.44%	0.53%	0.69%	0.83%	0.99%	-1.46%	0.57%	2.40%	4.39%
	Chiapas				México, Estado de				Quintana Roo				Yucatán			
Base	-1.46%	-0.17%	0.99%	2.25%	0.69%	1.49%	2.21%	3.01%	0.06%	0.11%	0.16%	0.22%	0.99%	1.11%	1.22%	1.35%
RCP 4.5	-1.27%	-0.03%	1.08%	2.29%	0.70%	1.49%	2.21%	3.01%	0.04%	0.10%	0.15%	0.21%	0.98%	1.10%	1.22%	1.35%
RCP 8.5	-1.21%	0.01%	1.11%	2.31%	0.72%	1.50%	2.22%	3.02%	0.04%	0.10%	0.16%	0.21%	0.98%	1.10%	1.22%	1.35%
	Chihuahua				Michoacán				San Luis Potosí				Zacatecas			
Base	-2.52%	-0.68%	0.97%	2.76%	0.98%	2.30%	3.51%	4.84%	-0.85%	-0.19%	0.40%	1.05%	-2.98%	-1.74%	-0.62%	0.57%
RCP 4.5	-2.48%	-0.65%	1.00%	2.78%	0.95%	2.29%	3.50%	4.83%	-0.80%	-0.16%	0.43%	1.06%	-2.82%	-1.62%	-0.55%	0.60%
RCP 8.5	-2.68%	-0.80%	0.90%	2.73%	0.98%	2.31%	3.51%	4.84%	-0.80%	-0.15%	0.43%	1.06%	-2.83%	-1.62%	-0.55%	0.60%

Fuente: Elaboración propia.

Hidalgo y Nayarit esperan ganancias 0.09% y 0.36%, respectivamente con una tasa de descuento de 0.5%, sin embargo, estas se ven afectadas de forma negativa al incluir las variaciones climáticas hasta 0.055% y 0.30%, entre trayectorias no hay una variación práctica, de forma inversa los costos se ven aumentados por CC respecto al Escenario Base siendo indiferente entre su intensidad. El mismo fenómeno se ubica en San Luis Potosí aun incluyendo una tasa de descuento de 2% con 0.80% para el menor descuento y 0.15% para este último descuento.

Las entidades de Puebla, Oaxaca, Veracruz y Chiapas presentan disminuciones, en las ganancias esperadas al 0.5% de descuento, sistemáticamente al aumentar la variación climática respecto al Escenario Base siendo que en RCP 8.5 se esperan las menores ganancias para este grupo con 0.93%, 0.44%, 1.46% y 1.21%, respectivamente. Esto se soporta en el mayor impacto en los costos asociados para dichos estados al aumentar el descuento aplicado y considerando un mayor concentración de GEI en la atmósfera.

El último estado mencionado amplía el análisis al usar un descuento de 2% donde se espera una ganancia en el Escenario Base y RCP 4.5 de 0.17% y 0.03%, respectivamente, misma que se revierte en RCP 8.5 con un costo de 0.01%.

Guanajuato y Tlaxcala presentan comportamientos particulares, el primero espera ganancias con la menor tasa de descuento, mismas que son mayores en RCP 8.5 al comparar con RCP alternativo, al mismo tiempo en ambas trayectorias son menores al Escenario Base de 1.10%, mientras los costos son disminuidos al incluir una mayor variación climática pero aumentados al aplicar un mayor descuento. Por su parte Tlaxcala sólo espera ganancias con un 0.5% de descuento y al igual que los costos, no varía entre el Escenario Base y ambas trayectorias, únicamente se modifica con la variación de la tasa de descuento.

Tamaulipas con un descuento de 0.5% espera un costo de 0.01% para RCP 4.5 y una ganancia en el Escenario Base, sin embargo, en la mismo descuento pero en RCP 8.5 se encuentra un efecto neutro. De manera particular, con un descuento de 2% los costos en RCP 4.5 son marginalmente mayores que en la trayectoria alterna y el Escenario Base, al subir el descuento a 4% y 8% los costos se incrementan si la intensidad de la variación climática aumenta, aunque entre trayectorias no haya una variación considerable.

La ganancia promedio en este Horizonte muestra que en Escenario Base para el descuento de 4% es mayor que en las trayectorias, con un 0.62%, contrastando con un 0.55% de estas. En un descuento de 0.5% las ganancias esperadas son mayores al incluir CC en ambas trayectorias con un 0.99%, pero sin variaciones entre estas. Con un 2% como factor de descuento las mayores ganancias se esperan en RCP 8.5, siendo de 0.68%, incluso mayores que en el Escenario Base, sin embargo para dicho Escenario son mayores que para RCP 4.5 contrastando un 0.58% y 0.52%, respectivamente.

3.3.2. Costos estatales entre RCP 4.5, RCP 8.5 y el Escenario Base para el Horizonte

Lejano.

La tabla 19 muestra los costos acumulados esperados en la biodiversidad provocados por las variaciones climáticas como porcentaje del PIB total de México en 2007 para el Horizonte Lejano, correspondiente a los años 2079-2099 en las trayectorias RCP 4.5, 8.5 y el Escenario Base.

Así como en la tabla 19 referente al Horizonte Cercano, la tabla 20 contiene información que muestra efectos mixtos al comparar las Entidades del país. En el Escenario Base el promedio de costo esperado a una tasa de descuento de 0.50% es de 0.88%, superior que en Horizonte Cercano para el mismo descuento, al aumentar dicho descuento los costos promedios se vuelven crecientes para el mismo Escenario, ya que en una tasa de 8% de descuento, el costo promedio aumenta a 2.28%, porcentaje mayor al compararse con 2.04% del Horizonte Cercano.

En el citado Escenario los mayores porcentajes de costos se presentan en los estados de Jalisco, Sinaloa, Sonora, Guerrero y Michoacán con un costo esperado superior al 2% en todos los casos, llegando a 3.95% como máximo para el primer estado, a una tasa de descuento de 0.5%, mientras que al aumentar el descuento a 8% los costos incrementan y los estados más afectados son Chiapas, Chihuahua, Durango, Guanajuato, Guerrero, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Puebla, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas y Veracruz con cifras de entre 2.56% a 7.81%, es decir 40.62% de las Entidades del país se agravan los costos para el final del siglo.

Al compararse con el Horizonte Cercano del mismo Escenario se observa que los costos son mayores, en ambos descuentos, lo que indica que el impacto en la biodiversidad derivado del CUS tiene efectos negativos incrementales en el largo plazo para estos estados, además de una mayor sensibilidad al incremento del factor de descuento.

Los estados cuyos costos esperados en el Escenario Base son los menores del total son Nayarit, Ciudad de México y Quintana Roo cuya magnitud es de 0.01% y 0.10% con un descuento de 0.5%, sin embargo, si se aumenta la tasa de descuento al 8%, el costo esperado es de 1.13%, 0.19% y 0.23%, respectivamente; el primer porcentaje es mayor que el costo de Nayarit, haciéndolo más sensible a cambios en las tasas de descuento en el largo plazo a diferencia de los otros dos estados.

Considerando la trayectoria RCP 4.5 las pérdidas más intensas se esperan en Jalisco, Sinaloa, Sonora y Guerrero, con al menos un costo de 2.33% a una tasa de 0.5%, el aumento de tasa de descuento incrementa el costo esperado pasando a un mínimo de 3.24% con un 8% de descuento implicando que el CC tiene un efecto agravante.

Los menores costos de esta trayectoria al 0.5% se esperan en los estados de Quintana Roo y Nayarit de 0.09% y 0.06%, respectivamente. Al aumentar la tasa de descuento dicha cifra aumenta para los 2 estados, repitiéndose el comportamiento del Escenario Base para este Horizonte; Ciudad de México presenta costos menores, a una tasa de descuento de 8%, que

Quintana Roo y Nayarit. El costo promedio de esta trayectoria se ubica en 0.90% y 2.28%, al 5% y 8% de descuento, respectivamente, ambas cifras superiores a la presentadas en el Horizonte Cercano.

Al analizar la trayectoria 8.5 se observa que las Entidades de Jalisco, Sinaloa, Veracruz esperan los costos más altos, siendo de 7.81%, 5.95% y 5.45%, respectivamente, al considerar un descuento de 8%. En el caso de Jalisco este porcentaje es equivalente al presentado para la trayectoria 4.5, de igual forma que en Sinaloa y Veracruz.

Ciudad de México y Quintana Roo de nueva cuenta esperan los costos asociados menos abruptos con 0.19% y 0.23%, respectivamente, cifras similares a la trayectoria alternativa. De hecho, los costos esperados de estas Entidades son menos susceptibles a los efectos de una mayor variación climática representada en las trayectorias, sin embargo, contemplando un descuento de 0.5% el segundo estado tiene un menor costo en las trayectorias a comparación del Escenario Base.

El costo promedio para esta trayectoria se ubica en 0.86% y 2.28%, prácticamente sin variación respecto a la trayectoria 4.5 del mismo Horizonte en una tasa de 8% de descuento, ligeramente menor al Escenario Base en el descuento de 0.5% pero considerablemente mayor a su contrapartida del Horizonte Cercano al aumentar la tasa de descuento.

Considerando en este momento las entidades que esperan costos para el largo plazo, se pueden agrupar conforme patrones característicos. Un primer grupo está conformado por Aguascalientes, Coahuila, Hidalgo, Estado de México, Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Tamaulipas y Tlaxcala donde prácticamente los costos aumentan en RCP 4.5 respecto al Escenario Base y con las tasas de descuento de 0.5% y 2%, mientras que los mismos no tienen un variación al comparar entre Trayectorias, si bien se mantiene el efecto incremental de la tasa de descuento.

Baja California, Tabasco, Guanajuato, Quintana Roo tienen un comportamiento inverso al grupo anterior; en la tasa de descuento de 0.5% se espera una disminución marginal de los costos entre el Escenario Base y las Trayectorias, sin embargo entre están no se esperan variaciones. Adicionalmente la tasa la magnitud de la tasa de descuento en niveles medios y altos no impacta de manera intensa en los costos de dichas Entidades, ya que en el Escenario Base al 2% de descuento se ubican en 1.57%, 0.94% y 0.82%, respectivamente, para llegar a 1.74%, 1.09% 0.23% con una tasa de 8% de descuento.

Guanajuato es único estado de esta agrupación que tiene beneficios esperados pero únicamente en el Escenario Base a una tasa de descuento de 0.5%, para después quedar en términos neutros al incluir las Trayectorias, incluyendo la no variación entre las mismas.

Baja California Sur, Ciudad de México, Morelos, Sonora y Yucatán se caracterizan porque se estima que no exista una variación significativa entre las Trayectorias y el Escenario Base, a excepción de Sonora, estos estados se encuentran en la porción de la serie con menores costos al considerar un descuento del 8%, con entre 0.10% y 1.29%, mismos que están por debajo de la media para dicha tasa en el Horizonte Lejano.

Tabla 20. Impactos estatales en Horizonte Lejano para RCP 4.5, RCP 8.5, Escenario Base y tasas de descuento.

	0.50%	2%	4%	8%	0.50%	2%	4%	8%	0.50%	2%	4%	8%	0.50%	2%	4%	8%
	Aguascalientes				Ciudad de México				Morelos				Sinaloa			
Base	0.48%	0.77%	0.86%	0.89%	0.10%	0.16%	0.18%	0.19%	0.31%	0.71%	0.85%	0.88%	2.79%	5.01%	5.76%	5.95%
RCP 4.5	0.50%	0.77%	0.87%	0.89%	0.10%	0.16%	0.18%	0.19%	0.31%	0.71%	0.85%	0.88%	2.77%	5.00%	5.76%	5.95%
RCP 8.5	0.50%	0.77%	0.87%	0.89%	0.10%	0.16%	0.18%	0.19%	0.31%	0.71%	0.85%	0.88%	2.81%	5.02%	5.76%	5.95%
	Baja California				Durango				Nayarit				Sonora			
Base	1.16%	1.57%	1.71%	1.74%	0.18%	1.86%	2.42%	2.56%	0.01%	0.80%	1.06%	1.13%	2.34%	3.49%	3.88%	3.98%
RCP 4.5	1.11%	1.56%	1.71%	1.74%	-0.01%	1.80%	2.41%	2.56%	0.06%	0.81%	1.07%	1.13%	2.34%	3.49%	3.88%	3.98%
RCP 8.5	1.11%	1.56%	1.71%	1.74%	-0.01%	1.80%	2.41%	2.56%	0.05%	0.81%	1.07%	1.13%	2.35%	3.50%	3.88%	3.98%
	Baja California Sur				Guanajuato				Nuevo León				Tabasco			
Base	0.32%	0.44%	0.48%	0.49%	-0.03%	2.26%	3.04%	3.23%	0.55%	0.94%	1.07%	1.11%	0.59%	0.94%	1.06%	1.09%
RCP 4.5	0.32%	0.44%	0.48%	0.49%	0.00%	2.27%	3.04%	3.23%	0.58%	0.95%	1.08%	1.11%	0.58%	0.94%	1.06%	1.09%
RCP 8.5	0.32%	0.44%	0.48%	0.49%	0.00%	2.27%	3.04%	3.23%	0.58%	0.95%	1.08%	1.11%	0.58%	0.94%	1.06%	1.09%
	Campeche				Guerrero				Oaxaca				Tamaulipas			
Base	-0.16%	0.26%	0.40%	0.43%	2.26%	2.95%	3.18%	3.24%	0.09%	1.34%	1.76%	1.87%	0.58%	1.89%	2.33%	2.44%
RCP 4.5	-0.18%	0.25%	0.39%	0.43%	2.33%	2.97%	3.18%	3.24%	0.14%	1.35%	1.77%	1.87%	0.59%	1.89%	2.33%	2.44%
RCP 8.5	-0.18%	0.25%	0.39%	0.43%	2.31%	2.96%	3.18%	3.24%	0.14%	1.35%	1.77%	1.87%	0.59%	1.89%	2.34%	2.44%
	Coahuila				Hidalgo				Puebla				Tlaxcala			
Base	1.26%	1.71%	1.86%	1.90%	0.32%	1.20%	1.49%	1.57%	0.06%	2.22%	2.95%	3.13%	0.05%	0.33%	0.42%	0.44%
RCP 4.5	1.27%	1.71%	1.86%	1.90%	0.35%	1.21%	1.50%	1.57%	0.05%	2.22%	2.95%	3.13%	0.06%	0.33%	0.42%	0.44%
RCP 8.5	1.27%	1.71%	1.86%	1.90%	0.35%	1.21%	1.50%	1.57%	0.06%	2.22%	2.95%	3.13%	0.06%	0.33%	0.42%	0.44%
	Colima				Jalisco				Querétaro				Veracruz			
Base	0.42%	0.63%	0.70%	0.72%	3.95%	6.66%	7.58%	7.81%	0.65%	0.89%	0.97%	0.99%	0.59%	4.01%	5.16%	5.45%
RCP 4.5	0.42%	0.63%	0.70%	0.72%	4.10%	6.71%	7.59%	7.81%	0.66%	0.89%	0.97%	0.99%	0.12%	3.87%	5.13%	5.45%
RCP 8.5	0.41%	0.63%	0.70%	0.72%	4.08%	6.70%	7.59%	7.81%	0.66%	0.89%	0.97%	0.99%	0.14%	3.87%	5.13%	5.45%
	Chiapas				México, Estado de				Quintana Roo				Yucatán			
Base	-0.36%	1.99%	2.78%	2.98%	1.35%	2.71%	3.16%	3.28%	0.10%	0.19%	0.23%	0.23%	1.08%	1.23%	1.28%	1.29%
RCP 4.5	-0.21%	2.04%	2.79%	2.98%	1.38%	2.72%	3.17%	3.28%	0.09%	0.19%	0.23%	0.23%	1.08%	1.23%	1.28%	1.29%
RCP 8.5	-0.23%	2.03%	2.79%	2.98%	1.38%	2.72%	3.17%	3.28%	0.09%	0.19%	0.23%	0.23%	1.08%	1.23%	1.28%	1.29%
	Chihuahua				Michoacán				San Luis Potosí				Zacatecas			
Base	-0.85%	2.47%	3.59%	3.87%	2.08%	4.35%	5.11%	5.30%	-0.30%	0.92%	1.33%	1.44%	-1.92%	0.46%	1.26%	1.46%
RCP 4.5	-1.05%	2.41%	3.58%	3.87%	2.02%	4.33%	5.11%	5.30%	-0.27%	0.93%	1.34%	1.44%	-1.83%	0.48%	1.26%	1.46%
RCP 8.5	-1.03%	2.41%	3.58%	3.87%	2.00%	4.32%	5.11%	5.30%	-0.27%	0.93%	1.33%	1.44%	-1.84%	0.48%	1.26%	1.46%

Fuente: Elaboración propia.

Michoacán espera menores costos al compararse la Trayectoria RCP 8.5 respecto al Escenario Base y la Trayectoria 4.5 sólo en la tasa de descuento más baja, ya que disminuye al pasar de un costo esperado de 2.08% a 2.00%, sin embargo, no existe variación significativamente entre el Escenario Base y las Trayectorias para el resto de los descuentos utilizados.

Las Entidades de Nayarit y Guerrero tienen un comportamiento similar considerando una tasa de descuento de 0.5%, ya que los costos estimados para RCP 4.5 son los mayores al compararse con la Trayectoria alterna y el Escenario Base, con un mínimo de 0.01% y 2.26%, respectivamente, en el Escenario Base, mientras que se esperan 0.06% y 2.33% para la Trayectoria RCP 4.5. De igual forma no se esperan diferencias entre el Escenario Base y las Trayectorias para la primera entidad más que al aumentar la tasa de descuento. Por otro lado Nayarit espera costos marginalmente menores en el Escenario Base con las tasas de descuento intermedias.

Sonora no espera variaciones en los costos al incluir CC representado por la Trayectoria RCP 4.5 y el Escenario Base en una tasa de descuento de 0.5%, la Trayectoria RCP 8.5 incorpora variaciones climáticas que se verán reflejadas marginalmente en dicho descuento y al aumentarlo a 2%. En descuentos más altos y entre la Trayectorias no se esperan variaciones.

Un comportamiento similarmente inverso en el descuento 0.5% se espera para Colima, donde la diferencia radica al pasar de la Trayectoria RCP 4.5 y el Escenario Base a RCP 8.5, al pasar de 0.42% como costo a 0.41%, respectivamente, posteriormente con aumentos en el descuento no se estiman variaciones entre las circunstancias futuras.

Veracruz, Puebla y Sinaloa se identifican por tener un patrón de costos para este Horizonte donde, al considerar una tasa de descuento de 0.5%, estos son menores en RCP 4.5 respecto de la Trayectoria alternativa y el Escenario Base, con 0.12%, 0.05% y 2.77%, respectivamente, este comportamiento se extiende al último estado mencionado al aumentar el descuento a 2%, con un costo de 5.00%; al trasladar el descuento a 4% y 8% no se esperan variaciones en Escenario Base y los RCP considerados.

Destaca que en el primero de los estados de este conjunto el Escenario Base estime las mayores pérdidas con 0.59% mientras un 0.14% para RCP 8.5 con un descuento 0.5%, se añade que los costos esperados se reduzcan al incluir el CC de ambos RCP al aumentar la tasa de descuento a 2% y 4%, con 8% no hay variaciones entre Escenario Base y RCP.

De otra forma, Puebla conserva sin modificaciones los costos esperados entre ambos RCP y el Escenario Base mas que al aumentar el descuento utilizado, teniendo un intervalo de entre 2.22% y 3.13% para 2% y 8% de descuento, respectivamente.

En este Horizonte las ganancias se restringen al descuento considerado únicamente de 0.5% en los estados de Campeche, Chiapas, Chihuahua, Durango, Guanajuato, San Luis Potosí, y Zacatecas, la ganancia promedio se ubica en 0.60%. Refiriéndonos en los mismos términos,

las más altas del Escenario Base se ubican en Zacatecas y Chihuahua con 1.92% y 0.85%, respectivamente, mientras que las más bajas en Guanajuato y Campeche.

El primer estado ha sido analizado anteriormente. Campeche espera mayores ganancias al incorporar CC al Escenario Base, aumentan de 0.16% en este a 0.18% para ambas Trayectorias, si se aumenta la tasa de descuento se esperan costos los cuales concuerdan con el comportamiento del descuento de 0.5%, ya que al incluir CC se espera una ligera disminución de los mismos, de igual forma entre Trayectorias no hay variaciones considerables.

Para el estado de Chiapas se esperan ganancias en el Escenario Base como en las Trayectorias, si bien la mayor de ellas se ubica en referido Escenario con 0.36%, seguida de RCP 8.5 y menor en RCP 4.5 con 0.23% y 0.21%, respectivamente. Un comportamiento similar pero con los costos esperados para la tasa de descuento de 2%, siendo de 2.04% en RCP 4.5, al aumentar el descuento los costos no esperan variaciones entre los RCP y el Escenario Base, si bien para un descuento de 4% estos son menores que en ambas Trayectorias. En 8% de descuento no se esperan variaciones considerables entre los escenarios futuros.

La mayor ganancias se espera en RCP 4.5 para el estado de Chihuahua con 1.05%, seguida de RCP 4.5 y el Escenario Base con 1.03% y 0.85%, respectivamente. Los costos esperados en los descuentos de 2% son menores en Escenario Base respecto a ambos RCP, además entre estas Trayectorias no se esperan variaciones. Al aumentar el descuento a 4% el efecto esperado es similar, pero con la disminución de costos de menor magnitud, con una tasa de 8% de descuento de 8% tanto para Escenario Base como RCP 4.5 y 8.5 los costos son iguales.

Durango es una Entidad que de esperar costos en el Escenario Base pasa a una ganancia apenas por encima del neutro, esto supone que el CC involucrado tiene un efecto marginalmente positivo. Sin embargo, dicho beneficio se torna adverso al aumentar la tasa de descuento considerada al 2% y 8%, con costos de entre 1.80% y 2.56%, respectivamente. En un comportamiento acorde a las ganancias, las Trayectorias indican un menor costo al compararse al Escenario Base para el descuento de 2% y 4%.

San Luis Potosí es un estado donde las ganancias esperadas son menores al incluir ambas Trayectorias de RCP respecto al Escenario Base, es decir pasan de un 0.30% a 0.27% sin cambios entre las mismas, dicho comportamiento es congruente con los costos, ya que en una tasa de 2% de descuento estos aumentan sin distinción entre RCP, un comportamiento sostenido al alza se espera para la tasa 4% de descuento al incorporar las Trayectorias, mientras que con el descuento más alto no se espera una variación apreciable entre Escenario y la inclusión del CC.

El último estado analizado en este Horizonte es Zacatecas, el cual espera ganancias en el Escenario Base de 1.92%, las mayores para la consideración de una tasa de 0.5% de descuento. El menor porcentaje de costo se espera en una Trayectoria de RCP 4.5 con 1.83%, mientras un 1.84% se ubica en RCP 8.5, ambas cifras para la misma tasa de descuento. Los costos varían entre el Escenario Base y RCP en una tasa de 2%, al pasar de 0.46% a 0.48%

sin cambios entre Trayectorias. Con tasas de 4% y 8% de descuento no se esperan variaciones entre ambos RCP y el Escenario Base.

3.3.3. Impactos estatales entre Horizonte Cercano, Horizonte Lejano para RCP 4.5, RCP 8.5 y Escenario Base.

Una vez detallada cada una de las tablas es necesario analizar los estados y costos con su respectiva variación entre un Horizonte y otro. Los porcentajes correspondientes a los efectos esperados por el CC en la biodiversidad no deben tomarse como un pronóstico puntual, sino más como tendencias y proyecciones basadas en una modelación econométrica y matemática. Si bien dichos porcentajes pueden variar al compararse con una base distinta a la utilizada, también debe considerarse la evolución de las variables económicas asequibles de utilizarse para tal fin.

De manera nacional entre el Horizonte Cercano y el Lejano se espera que el rango de los costos promedio acumulados se amplíe al considerar todas las tasas de descuento, lo anterior da como resultado que en una primera instancia en el Escenario Base se tenga un rango de 1.2 puntos porcentuales, el cual posteriormente aumenta a 1.4 para el final del siglo en el mismo Escenario. Un efecto similar se espera al incluir las Trayectorias de RCP, dando como consecuencia que en RCP 4.5 el rango de costos es de 0.80% a 2.04% para el mediano plazo, ubicándose al final del periodo considerado en entre 0.90%-2.28%. En el Horizonte Cercano de RCP 8.5 el rango es igual que en RCP 4.5, sin embargo, en Horizonte Lejano este se espera en 0.86%-2.28%.

Esto implica que en el largo plazo los efectos negativos del CC se acentúan al incrementarse el límite máximo e inferior del rango de costos promedio, aunque no existe una clara distinción de que los representados en RCP 8.5 sean definitivamente más intensos en el mediano plazo con tasas de descuento desde 4% hasta 8% que los de RCP 4.5; dicha situación llega a un punto de estabilización hacia final de siglo, donde ambos RCP llegan a un punto en común, habiendo ligeras distinciones en la tasa de descuento más baja.

No sólo los costos esperados aumentan con el CC, el efecto del Cambio de Uso de suelo sobre la valoración indirecta de la Biodiversidad demuestra tener un papel preponderante en el cálculo de costos, ya que los costos promedio nacionales aumentan para cada una de las tasas, dichas variaciones son más perceptibles en las tasas de descuento intermedias (2% y 4%), dando lugar a que en el Horizonte Cercano se ubiquen en 1.00% y 1.35%, respectivamente y que al final del siglo aumenten a 1.74% y 2.14%, respectivamente.

Los beneficios esperados promedio se ven reducidos para el Horizonte Lejano en comparación con el Cercano, siendo que en la tasa de descuento de 0.5% estos superan marginalmente a los costos medios, sin embargo, al aumentar la tasa sólo cubre entre la mitad y una tercera porción de sus contrapartes. Para el Horizonte Lejano estos beneficios se reducen hasta un rango de entre 0.59% y 0.60% para RCP 4.5, RCP 8.5 y Escenario Base, respectivamente.

Conforme a lo anterior se pone en duda que los posibles beneficios del CC puedan compensar los costos esperados en el largo plazo, aun con una tasa de descuento reducida y no se espera una diferencia considerable entre los beneficios de una combinación entre el CUS y las variaciones climáticas.

A continuación se exponen los patrones encontrados por Entidad agrupándolos en la medida de lo posible de acuerdo a los efectos esperados más sobresalientes, se resalta que la totalidad de los estados sufren un aumento de los costos entre un Horizonte y otro, además, los estados que en un comienzo esperan beneficios tienen cifras menores en el Horizonte Lejano.

Para un primer grupo es posible identificar a los estados cuya variación entre Horizontes es la menor en el conjunto de las tasas de descuento, es decir, que los costos sí aumentan pero su variación es menor con los descuentos de 4% y 8%, haciendo que los porcentajes sean similares entre una circunstancia y otra. Entre ellos se encuentran: Coahuila, Colima, Ciudad de México, Querétaro, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán. De manera paralela en estos lugares no hay una clara distinción entre los impactos del CC representado en ambas Trayectorias RCP.

Junto con Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Morelos presentan un patrón incremental de costes entre Horizontes que es más sensible a la magnitud de la tasa de descuento; con un 5% de descuento las variaciones son mayores que en la tasa de descuento del 8%, esto se aprecia al comparar las similitudes para un mismo estado en ambos Horizontes en dicha tasa. Sin embargo, no se distingue un claro comportamiento respecto de los RCP para estos estados, aunado a lo anterior, se encuentran en la cota inferior de precipitación e IBP estatales esperados para los Horizontes.

Para Aguascalientes el Escenario Base representa menores costos que en RCP 4.5 y 8.5 para los 2 Horizontes, caso contrario para Baja California en las tasa de descuento 0.5%, 2% y 4%, para de nuevo estabilizarse entorno a 1.74% en ambos Horizontes y RCP con un descuento de 8%. Baja California Sur y Morelos solamente tienen incrementos de costes entre Horizontes y marginalmente entre ambos RCP.

Las Entidades que poseen en el Horizonte Cercano los porcentajes de costos más altos conservan esa categoría en el largo plazo, entre ellas podemos encontrar a Jalisco, Guerrero, Sinaloa, Sonora, así como Michoacán y Estado de México.

El primero de ellos espera las mayores afectaciones respecto a la dimensión temporal y climática entre todas las Entidades del país. Para el descuento más conservador sus costos oscilan entre 2.63% y 2.77% en el Horizonte más próximo, para luego pasar a un intervalo de 3.95%-4.08% en largo plazo, esto implica que es considerablemente más sensible un CC más intenso al paso del tiempo especialmente a la diferencia de temperatura asociada.

Aunque Guerrero y Estado de México compartan un patrón similar en el Horizonte Cercano, donde el CC de la Trayectoria 4.5 representa un menor costo para ambos, esto se desvincula en el Horizonte Lejano, se vuelve inverso para Guerrero; se traslada de un costo de 1.91% en RCP 4.5 con un 0.5% de descuento a 2.33% en el largo plazo. Mientras que en Estado de

México, considerando la misma tasa de descuento, llega a 1.38% desde 0.70% del Horizonte Cercano, adicionalmente, para el largo plazo no hay diferencia significativa entre ambos RCP y el Escenario Base. Este cambio de tendencia puede atribuirse a la distinta disminución de precipitación e IBP que sufren ambas Entidades.

Sonora espera costos descendientes respecto del Escenario Base al aumentar la intensidad del CC involucrado en el Horizonte Cercano en todos los descuentos, en el largo plazo ya no se espera una diferencia entre ambos RCP y el Escenario Base, esto es un resultado de efectos mixtos entre los RCP en la biodiversidad por efectos del incremento de las temperaturas y variaciones menos volátiles en la precipitación.

Con cada uno de los descuentos aplicados, Sinaloa espera efectos paliativos en el costo de la pérdida de biodiversidad al incluir el CC en el Horizonte Cercano al comparar con el Escenario Base, dicha situación no se mantiene en el largo plazo, donde RCP 8.5 estima los costos más elevados para un descuento de entre 0.5% y 2%, al comparar con el Escenario Base y el RCP alternativo, se espera que en este último los costos sean menores con 2.77% y 5.00% para los descuentos mencionados, respectivamente. Esto resulta principalmente de una menor disminución en la precipitación para RCP 4.5 que en RCP 8.5 para el largo plazo.

Para Nuevo León se espera que, adicionalmente al efecto incremental al pasar de un Horizonte a otro, esta Entidad sea más sensible en las tasas de descuento intermedias, la diferencia entre un Horizonte y otro se aproxima a los 0.34 puntos porcentuales para los descuentos de 2% y 4%, yendo desde 0.60% en un Escenario Base en el Horizonte más cercano hasta 0.94% para el final del periodo, así mismo entre ambos Horizontes los costos asociados incrementan al incluir el CC en la estimación. Esto se explica por el aumento marginal esperado en el IBP para el Escenario Base y RCP 4.5, en contraste con la disminución del mismo en RCP 8.5.

El estado de Yucatán es la única Entidad que aunque en ambos Horizontes y RCP espera costos, en la tasa de descuento más alta estima una disminución a final de siglo a comparación del Horizonte Cercano, ya que en este se ubica en 1.35%, mientras que al final del periodo disminuye a 1.29%, sin embargo, con el resto de tasas de descuento se espera un incremento de costes. Similarmente al primer grupo, los resultados arrojan una difusa distinción las consecuencias en Escenario Base y entre RCP 4.5 y 8.5.

Los estados que entre el Horizonte Cercano y Lejano se cambian el sentido de las cifras provocando que las ganancias se trasladen al terreno de los costos para todas las tasas de descuento empleadas son Nayarit, Hidalgo, Puebla, Oaxaca, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, este efecto se encuentra al analizar los resultados en el descuento de 0.5%.

Nayarit, Hidalgo y Tlaxcala sufren de una ganancia marginal esperada a un ligero costo. Los primeros dos son sensibles al CC, ya que en ambos Horizontes los costos son menores en el Escenario Base, pero conservan el patrón de no haber una distinción considerable entre ambos RCP. Mientras que Tlaxcala no espera una diferencia significativa entre el Escenario Base y los RCP mas que en el Horizonte menos cercano con una tasa de 0.5% de descuento. Para Nayarit se espera una consistente disminución de la precipitación y aumento de la

temperatura promedio entre Horizontes. Un efecto mixto entre las variables climáticas explica el comportamiento estimado para Tlaxcala.

En el Horizonte Lejano de Oaxaca y Tamaulipas no hay una diferencia apreciable de comportamientos; la inclusión del CC los afecta pero de manera indistinta entre la intensidad representada por los RCP alternativos, este mismo efecto se estima en el Horizonte Cercano para ambas Entidades, siendo Oaxaca la que destaca por un aumento consistente de costos al aumentar la Trayectoria de emisiones en RCP 8.5. Similarmente, ambos tienen una sensibilidad a los costos más elevada al usar tasas de descuento intermedias. La situación esperada en Oaxaca es explicada por un mayor aumento de la temperatura por RCP 8.5 que en la trayectoria alterna. Tamaulipas espera una disminución menos drástica de la precipitación para ambos RCP, con efectos compensados en los costos.

En el estado de Veracruz la inclusión del CC ya sea en uno u otro RCP ayuda a disminuir los costos en las tasas de descuento de entre 0.5% y 4% en el Horizonte Lejano, sin embargo, no se detecta lo mismo en el Horizonte Cercano, donde la ganancia más alta se espera en RCP 4.5 y mayores costos en RCP 8.5 para descuentos del 2% al 8%, esta diferencia radica principalmente entre los distintos patrones de aumento de temperaturas entre ambas Trayectorias.

Dentro de los estados que esperan ganancias en ambos Horizontes se encuentran Guanajuato y Zacatecas, al contemplar el CC de ambas trayectorias se espera una disminución de las ganancias para la tasa de descuento de 0.5%, con 1.03%-1.04% y 2.82%-2.83% para RCP 4.5 y 8.5 del Horizonte Cercano, respectivamente, al contrastar con el Escenario Base, esta situación difiere en el largo plazo, donde Guanajuato tiene un efecto neutro para ambos RCP en un descuento de 0.5%, sin embargo, para el Escenario Base de dicha tasa la ganancia esperada es marginalmente mayor a cero con 0.03%. Zacatecas conserva una ganancia mayor en el Escenario Base seguido por RCP 8.5, en el terreno de los costos, estos no se diferencian entre un RCP y otro.

El cambio positivo que se espera en el IBP para Zacatecas es acotado por los efectos adversos esperados en ambos RCP en términos de temperatura y precipitación, propiciando una mayor ganancia esperada, mientras que el CUS tiene efectos marginales en largo plazo que se ven reflejados en los costos menores. Guanajuato espera mayores variaciones climáticas en RCP 4.5 a comparación de RCP 8.5 en el Horizonte Cercano, lo que repercute en el IBP del periodo.

Durango tiene ganancias esperadas en la tasa de descuento del 0.5% de entre 0.68% y 0.75% del Horizonte Cercano, en el resto de tasas se espera una reducción de costos al incluir ambos RCP con los mínimos en la Trayectoria 8.5, esto se mantiene en el largo plazo, donde incluyendo CC se esperan ganancias mínimas en la tasa de descuento más baja. Resaltando que no hay una diferencia clara entre ambos RCP para este Horizonte. Las altas diferencias positivas entre el Escenario Base y los RCP en la biodiversidad causan este efecto.

Las Entidades de San Luis Potosí y Chihuahua esperan ganancias para el Horizonte Cercano en las tasas de 0.5% y 2%, siendo en el Escenario Base las más altas para el primer estado,

mientras que en RCP 8.5 se estiman las mayores para Chihuahua, esto se vuelve consistente en los costos de las tasas de descuento de 4% y 8%. Para el Horizonte Lejano las ganancias se acotan a la tasa más baja, de manera que San Luis Potosí mantiene los efectos menos adversos en el Escenario Base, y Chihuahua cambia su patrón ahora hacia RCP 4.5 con los menores costos esperados.

Chihuahua espera un aumento del IBP en el largo plazo para la trayectoria RCP, lo que explica su traspaso a los costos, mientras que en RCP las disminuciones marginales provocan una ganancia mayor que en el Escenario Base, las variaciones climáticas refuerzan este comportamiento diferenciado entre ambas trayectorias. San Luis Potosí espera efectos mixtos entre el IBP y los costos, sin embargo, la magnitud de estos refleja que las variaciones climáticas incluidas son tienen mayor intensidad en la producción.

Las variaciones climáticas del Horizonte Cercano tienen un mayor impacto sobre las modificaciones de la biodiversidad de Chiapas, al pasar de una ganancia esperada de 0.17% en el Escenario Base a un 0.01% como costo para RCP 8.5, en la tasa de descuento de 2% y al aumentar la intensidad del CC en el resto de las tasas. Para el fin de siglo entre el Escenario Base y ambas Trayectorias no se observa un cambio apreciable en los resultados de utilizar las tasa de descuento de 4% y 8%. Los costos aun en el Escenario ausente de CC reflejan una tendencia creciente entre ambos Horizontes analizados así como una disminución de las posibles ganancias. Lo anterior implica que el CUS tiene un papel preponderante en el Horizonte Cercano para este estado y que amplía los efectos del CC sobre la biodiversidad.

Conclusiones y Consideraciones finales

1. El CC es un fenómeno cuyas consecuencias y responsabilidades no pueden ser ignoradas o eludidas de manera prolongada.

La tendencia en la frecuencia de eventos extremos indica un aumento, así como en la temperatura promedio de la superficie, sin embargo, las consecuencias estimadas en la precipitación a nivel global aun conllevan una gran incertidumbre. El derretimiento de las capas de hielo, glaciares y hielo marino a velocidades que superan los registros históricos, aunado a la modificación de patrones y tiempo de formación contribuye al mismo tiempo a aumentar las concentraciones de GEI atmosférico y al aumento del nivel del mar que coincide con las mediciones a partir de la década de 1990, de manera retroactiva esto repercute en la frecuencia e intensidad de eventos extremos.

La tendencia en los patrones de consumo total de combustibles fósiles a nivel mundial tiene una clara tendencia al alza, en el corto plazo no se avizora un punto de inflexión o una disminución importante. La región Asia-Pacífico presenta un consumo creciente, de igual manera que Sudamérica, África y Arabia (Ritchie y Roser, 2019). Junto con la mayor proporción de suelo dedicado a actividades agrícolas y la pérdida de carbono almacenado por bosques, el consumo de combustibles fósiles explica en gran medida los aumentos en la atmósfera de GEI y el forzamiento radiativo global creciente desde la década de los setenta.

2. Se requiere una participación más activa de la sociedad para buscar soluciones a un problema global común.

Los distintos sectores de las naciones deben continuar impulsando el debate sobre los efectos del CC y su inclusión en la agenda de políticas públicas, esto propiciará una mayor cantidad de recursos disponibles destinados a investigación y el desarrollo de propuestas de tecnología y políticas encaminadas a la adaptación y mitigación del fenómeno. Se debe de iniciar aceptando que los seres humanos son principalmente razón del problema pero al mismo tiempo una gran contribución a la solución. Los acuerdos encaminados a la reducción global de emisiones no serán suficientes si los gobiernos no se comprometen plenamente con las metas más allá de discursos y si las comunidades no establecen programas y proyectos encauzados por la sociedad.

Incluir en las políticas las mejores prácticas de conservación y adaptación equivale en la actualidad a una de las mejores herramientas de enfrentar los efectos contraproducentes del CC ya que al paso del tiempo el costo de las acciones de adaptación será creciente. De esta forma una política de conservación es la base para la adaptación dados los servicios ecosistémicos que brindan, sobre todo a poblaciones locales.

Al respecto, la Estrategia Nacional de Conservación se consolida en un marco de política ambiental nacional con la publicación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático en 2013, cuyo eje de adaptación está fundamentado en la reducción de la vulnerabilidad y el aumento de la resiliencia de la infraestructura estratégica, sistemas productivos y de la sociedad así como la conservación y uso sustentable de ecosistemas y servicios que proveen.

Sin embargo, la mayor parte de la investigación se mantiene dedicada a los efectos del CC y menos en la evaluación de la adaptación (Zamora, 2015: 5)

Las Áreas Naturales Protegidas continúan siendo uno de los instrumentos predilectos para la conservación ya que ha sido consolidado por poseer las ventajas de propiciar la captura de carbono, la conservación del hábitat de especies, de los Servicios Ecosistémicos y facilitar el manejo administrativo y legal a través de facultades legales reconocidas, reguladas y de largo plazo.

3. Las condiciones climáticas y la biodiversidad tienen una estrecha relación de interdependencia.

Los cambios latitudinales y altitudinales de los biomas han sido conducidos por la búsqueda de condiciones óptimas para su evolución, tales condiciones se han visto modificadas por las variaciones de temperatura y precipitación. De tal forma que las especies también sufren una redistribución en los rangos geográficos que usualmente ocupaban, dichas modificaciones han propiciado variaciones en la abundancia de especies y provocado extirpaciones en algunos casos.

El cambio en la fenología de verano de organismos ha sufrido un adelanto, producto de las variaciones de temperatura, lo anterior incide en el emparejamiento de especies cuyas relaciones forman procesos más complejos. Además, las concentraciones de carbono en la atmósfera han modificado la productividad de plantas y sumideros de carbono, por último se ha incrementado la frecuencia de incendios forestales.

4. La situación de la biodiversidad en México lo ubica en condiciones de vulnerabilidad dado el grado de endemismo.

Se esperan incrementos de temperatura de entre 2.50°C y 5.04°C, para ambas trayectorias RCP consideradas, en el final de siglo a nivel nacional, así como una disminución promedio de precipitación de 9.98 a 13.75 mm. No existe certeza sobre el número de especies que verán sus entornos modificados ante dichas anomalías climáticas, para lo cual es necesario incrementar el acervo de conocimiento respecto a la riqueza y distribución de las especies.

México tiene una posición geográfica privilegiada para el desarrollo de especies nativas, esto se confirma con la cantidad de especies endémicas registradas. Esto representa también una mayor vulnerabilidad ante modificaciones de las condiciones climáticas por el CC, ya que son las especies con un nicho más acotado las que tienen una menor capacidad de adaptación o desplazamiento. De acuerdo con INECC (2018) en el universo de especies estudiadas no existe ninguna que no espere modificaciones a condiciones diferentes.

5. Los efectos del CC sobre la biodiversidad a nivel nacional y estatal refuerzan la premisa de una acelerada tasa de cambios que modifica los procesos de los ecosistemas naturales del país.

El Índice de Biodiversidad Potencial, IBP, se sostiene como un instrumento capaz de abstraer información ambiental relevante y modelar regiones con factores que aumenten la probabilidad de encontrar mayor riqueza específica. Los resultados encontrados indican que las regiones con mayor resiliencia, en términos de ligeros aumentos o disminuciones de IBP,

son Chiapas, Golfo de México, Península de Yucatán y Noroeste del País. Las regiones donde se estiman las mayores variaciones negativas comprenden principalmente el Bajío, Centro-Norte, Centro y el Pacífico para final del siglo en RCP 4.5 y 8.5.

Estos efectos subyacen a los resultados mixtos encontrados a nivel nacional, sin embargo, a final de siglo las trayectorias de emisiones claramente repercutirán como una disminución del IBP promedio del país en el Horizonte Lejano en 0.87% del calculado para 2002-2010, si bien en el Horizonte Cercano se esperan efectos benéficos de entre 1.68% y 3.36%. Respecto al Escenario Base se esperan disminuciones de entre 0.41% y 1.70% tanto para ambos Horizontes al incluir CC. Lo anterior implica que a nivel nacional y estatal los posibles costos son incrementales en el tiempo, por lo tanto, en el largo plazo pueden ser mayores a los beneficios esperados en algunas Entidades. Pronósticos empleados en esta investigación deben lidiar con un alto grado de incertidumbre inherente al tiempo utilizado, la calidad de la información y la metodología empleada, de manera que su interpretación debe ser considerada más como una tendencia que como un valor puntual.

6. El efecto económico neto del CC sobre la biodiversidad medido de forma indirecta para el final del siglo será del equivalente a 3.49% anual considerando una tasa de descuento del 4%, en RCP 4.5 y 8.5, respectivamente.

Cabe aclarar que está estimación no incluye los Servicios Ecosistémicos aportados por la biodiversidad medidos de forma directa, por lo que sólo se muestra una parte de las tendencias que puede causar el fenómeno de las variaciones climáticas. Para el conjunto de las cinco Entidades Federativas que presentan los mayores costos esperados, la estimación de una pérdida de un 19.41% del total de costos, en RCP 4.5 y RCP 8.5, de producción en dicha tasa de descuento para el periodo 2015-2029 por la inacción ante consecuencias de un fenómeno como el CC es una señal de alarma crítica.

Los resultados muestran las Entidades donde se estiman los mayores costos esperados; siendo las regiones del Bajío, Centro-Norte, Centro, Tabasco, Chiapas, Zacatecas y las Penínsulas de Yucatán Baja y California las menos afectadas. Mientras que Michoacán, Jalisco, Sinaloa y Veracruz se esperan los mayores afectados a 2079-2099 en RCP 4.5 y 8.5 con pérdidas mínimas de más de 2% del PIB de 2007 en el descuento más conservador considerado en el estudio.

Una vulnerabilidad especial se espera en estados con mayor producción agrícola; en el lapso 2005 a 2012 los principales productores de maíz blanco fueron Sinaloa y Jalisco (Ahumada et al, 2014: 51), mismos que en conjunto representan el 13.35% de los costos totales en el Horizonte Lejano en RCP 4.5 y RCP 8.5, respectivamente. Esto es sólo una muestra de la importancia de la aportación de la biodiversidad a la productividad y de la vulnerabilidad regional al CC.

Más allá de los efectos en la producción agropecuaria, también deben considerarse los efectos sobre el empleo, el ingreso y el consumo de la población de más de la mitad del total de estados del país, sin embargo, dicho análisis, aunque necesario, es uno de los límites más notorios dentro de la presente investigación.

7. El análisis de los impactos económicos a nivel estatal reafirma la premisa de efectos diferenciados a través del territorio obligando a la implementación de estrategias de conservación diferenciadas.

Un área de oportunidad en este tópico particular partiría de reestructurar el diseño y análisis a escala regional considerando además factores biofísicos y económicos de los ecosistemas involucrados, así como priorizar el estudio a nivel municipal en busca de maximizar las capacidades de adaptación de las comunidades más vulnerables al CC profundizando los resultados del Atlas de Vulnerabilidad y Adaptación a los Efectos del Cambio Climático en México y el Programa Especial de Cambio Climático 2014-2018.

De manera que las políticas públicas partan de información científica oportuna, como el enfoque de Conservación Basada en Comunidades analizado por Caballero et al (2016, 345); donde la toma de decisiones se vuelve policéntrica con capacidad de respuesta flexible a los cambios en el sistema complejo y el reconocimiento de diversos intereses de los agentes involucrados, llevando implícitamente una participación colectiva en la gobernanza.

Considerando especial énfasis en las distintas capacidades y circunstancias de cada región o comunidad, es decir, aprovechando los recursos propios de los ecosistemas en aras de incentivar su mantenimiento e innovación en la inclusión de procesos productivos tradicionales, conocido como Adaptación Basada en Ecosistemas, como la explotación de especies arbóreas y arbustivas nativas para forraje de en vez de fomentar el cambio de uso de suelo o la degradación por pastoreo extensivo (Alayon, 2016: 14).

Este enfoque puede ser potenciado con sistemas de gestión de la producción agrícola con un componente de conservación apoyado de manera institucional, como puede ser un esquema complementario de pago por servicios ambientales de las actividades de conservación del suelo o de la biodiversidad para pequeños productores y la eliminación de subsidios perversos al uso de fertilizantes y pesticidas (FAO, 2015: 24). Casos de estudio de estrategias de conservación integrada han sido analizados por Campo et al (2013: 336) para la zona de la Huacana en Michoacán y el departamento de Cabañas en El Salvador, sin embargo, la implementación y la coordinación de los instrumentos y política en los 3 niveles de gobierno sigue siendo una debilidad que puede conllevar a mayor vulnerabilidad.

Referencias bibliográficas

- Aguado-Bautista, O. y Escalante, T. (2015). Cambios en los patrones de endemismo de los mamíferos terrestres de México por el calentamiento global. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 86, 99-110.
- Ahumada, R., Velázquez, G., Flores, E. y González. (2014). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*. 22, 48-53.
- Ahumada, R., Velázquez, G., Flores, E. y Romero, J. (2014). Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz. *Investigación y Ciencia*. 22, 48-53.
- Alayon, J., Jiménez, G., Nahed, T. y Villanueva, G. (2016). Estrategia silvopastoriles para mitigar efectos del cambio climático en sistemas ganaderos del sur de México. *Agro Productividad*. 9, 8-15.
- Anderson, E., Cherrington, E., Flores, A., Pérez J., Carrillo, R., y Sempris, E. (2008). *Potential Impacts of Climate Change on Biodiversity in Central America, Mexico, and the Dominican Republic*. Panama City, Panama. CATHALAC/USAID.
- Balcázar, R. (2017). *Diseño de un Sistema de gestión integral para el hexafluoruro de azufre en la empresa eléctrica regional centro sur C.A.* Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Barradas, V., Landa, J. y Cervanes, J. (2011). *Implicaciones del cambio climático en la fisiología ecológica de las plantas*. En Sánchez, G., Ballesteros, C. y Numa, P, eds. Cambio Climático Aproximaciones para el estudio de su efecto sobre la biodiversidad. (p 71-78). México, Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Barve, N., Bonilla, A., Brandes, J., Brown, C., Brunsell, N., Cochran, F., Crostwait, R., Gentry, J., Gerhart, L., Jackson, T., Kern, A., Oberhauser, K., Owens, H., Townsend, A., Reed, A., Soberón, J., Sundberg, A. y Williams, L. (2012). Eventos de mortandad masiva y cambio climático en poblaciones invernales de la mariposa monarca. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 83, 817-824.
- Becker, A., Finger, P., Meyer-Christoffer, A., Rudolf, B., Schamm, K., Schneider, U., and Ziese, M. (2013). A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901–present. *Earth System. Science. Data*. 5, 71–99,
- Caballero, P., Herrea, G., Barriozabal, C. y Pulido, M. (2015). Conservación basada en comunidad: importancia y perspectivas para Latinoamérica. *Estudios Sociales*. 48, 335-352.
- Campos, M., Herrador, D., Manuel, C. y McCall, M. (2013). Estrategias de adaptación al cambio climático en dos comunidades rurales de México y El Salvador. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. 61, 329-349.
- Castro, A. (2019, 6 de julio). Península de Yucatán, en riesgo de hundirse por el calentamiento global. *Novedades Quintana Roo*. Recuperado el 07/06/19 de: <https://sipse.com/novedades/cancun-calentamiento-global-cientificos-zona-hoteleria-yucatan-campeche-destruccion-mundo-337839.html>
- Cavalieri, D.J. y Parkinson, C.L. (2012). Arctic sea ice variability and trends, 1979-2010. *The Cryosphere*. 6, 881-889
- CEPAL (2011). *La economía del cambio climático en Centroamérica. Reporte técnico 2011*. México. CEPAL, DFID, DANIDA, USAID, CCAD.
- Chapra, S. y Canale, R. (2007). *Métodos numéricos para ingenieros*. (5ª ed.). México. McGraw Hill Interamericana.
- Comiso, J. C. (2011). Large Decadal Decline of the Arctic Multiyear Ice Cover. *Journal of Climate*. 25, 1176-1193
- Comiso, J. C. y Nishio, F. (2008). Trends in the sea ice cover using enhanced and compatible AMSR-E, SSM/I, and SMMR data. *Journal of Geophysical Research*. 113, 1-22

Comiso, J. C., Kwok, R., Martin, S. y Gordon, A. L. (2011). Variability and trends in sea ice extent and ice production in the Ross Sea. *Journal of Geophysical Research*. 116, 1-19

CONABIO (2009). ¿Qué es la Biodiversidad? Biodiversidad Mexicana. Recuperado el 07/05/19 de: https://www.biodiversidad.gob.mx/biodiversidad/pdf/Que_es.pdf

Costanza, R., De Groot, R., Sutton, P., Van der Ploeg, S., Anderson, S., Kuszewski, I., Farber, S. y Turner, R. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*. 26, 152-158.

Cuatecoctzi, D. y Gasca, J. (2004). *Los gases regulados por la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. En Martínez, J. y Fernández, A (coords). Cambio climático: una visión desde México (pp. 88- 98). México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.

Donat, M., Alexander, L., Yang, H., Durre, I., Vose, R., y Caesar, J. (2013a). Global land-based datasets for monitoring climatic extremes. *Bulletin American Meteorological Society*. 94, 997-1006.

Donat, M., Alexander, L., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R., Willet, K., Aguilar, E., Brunet, M., Caesar, J., Hewitson, B., Jack, C., Klein Tank, A., Kruger, A., Marengo, J., Peterson, T., Renom, M., Oria Rojas, C., Rusticucci, M., Salinger, J., Elayah, A., Sekele, S., Srivastava, A., Trewin, B., Villarroya, C., Vincent, L., Zhai, P., Zhang, X., y Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118, 1-16.

Dufour, J., Khalaf, L., Bernard y Genest I. (2004). Simulation-based finite-sample test for heteroskedasticity and ARCH effect. *JOURNAL OF Econometrics*. 122, 317-347.

EPA (2017). Causes of Climate Change. Recuperado el 20/02/2019 de: https://19january2017snapshot.epa.gov/climate-change-science/causes-climate-change_.html

Evolution, and Systematics, vol. 37.

FAO (2019a). Land Use Total. Recuperado el 15/05/2019 de: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/GL>

FAO (2019b). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. FAO. Recuperado el 20/07/19 de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/provisioningservices/es/>

FAO. (2015). *Construyendo una visión común para la agricultura y alimentación sostenibles. Principios y enfoques*. Italia. FAO.

Feria, T., Sánchez-Rojas, G., Ortiz-Pulido, R., Bravo-Cadena, J., Calixto, E., Dale, J., Duberstein, J., Illoldi-Rangel, Lara, C. y Valencia-Herverth, J. (2013). Estudio del cambio climático y su efecto en las aves en México: enfoques actuales y perspectivas futuras. *HUITZIL*. 14, 47-55.

Fernández, A., Zavala, J., Romero, R., Conde, A. y Trejo, R. (2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica*. México, INECC, UNAM, UNIATMOS.

Forbes (2019, 12 de julio). Hemisferio norte, especialmente afectado por el cambio climático. *Forbes*. Recuperado el 12/06/19 de: <https://www.forbes.com.mx/hemisferio-norte-especialmente-afectado-por-el-cambio-climatico/>

Gardner, A., Moholdt, G., Graham, J., Wouters, B., Arendt, A., Wahr, J., Berthier, E., Hock, R., Tad Pfeffer, W., Kaser, G., Ligtenberg, S., Bolch, T., Sharp, M., Ove Hagen, J., Van den Broeke, M. y Paul, F. (2013). A Reconciled Estimate of Glacier Contributions to Sea Level Rise: 2003 to 2009. *Science*. 340, 852

Gerten, D., Lucht, W., Ostberg, S., Heinke, J., Kowarsch, M., Kreft, H., Kundzewicz, Z., Rastgooy, J., Warren, R. and Schellnhuber, H. (2013). Asynchronous exposure to global warming: freshwater resources and terrestrial ecosystems. *Environmental Research Letters*. 8, 1-10

Gollier, C. (2013). *Pricing the planet's future*. (1ª e.). Estados Unidos. Princeton University Press.

Goodchild, M. (1986). *SPATIAL AUTOCORRELATION*. CATMOG 47. Ontario, Canadá. Geo Books.

Granados, R., Medina, Ma. Y Peña, V. (2014). Variación y cambio climático en la vertiente del Golfo de México. Impactos en la cafecultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3, 473-485.

Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *Econometría*. (5ª ed.) México. McGraw Hill Educación.

Gutiérrez, E. y Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85, 179-188.

Haas, C., Hendricks, S., Eicken, H., y Herber, A. (2010). Synoptic airborne thickness surveys reveal state of Arctic sea ice cover. *Geophysical Research Letters*. 37, 1-5.

Hermelingmeier, V. y Nicholas, K. (2017). Identifying Five Different Perspectives on the Ecosystem Services Concept Using Q Methodology. *Ecological Economics- ELSEVIER*. 136, 255-265.

Holland, P., Bruneau, N., Enright, C., Losch, M., Kurtz, N., Kwok, R. (2014). Modeled Trends in Antarctic Sea Ice Thickness. *Journal of Climate*. 27, 3784-3801.

INECC (2017). *Propuesta metodológica para evaluar la vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático de la Biodiversidad en México: el caso de las especies endémicas, prioritarias y en riesgo de extinción*. México, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado el 20/06/2019 de: http://mapas.inecc.gob.mx/apps/SPCondicionesNA/grafica_nacional.html?De=ANVCC

INEGI (2000). Metadatos geoespaciales digitales Conjunto de datos vectoriales de la serie topográfica esc. 1:1 000 000. Aguascalientes, México. INEGI.

INEGI (2008). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie IV (Capa Unión), escala 1: 250 00. Aguascalientes, México. INEGI. Recuperado el 29/05/2019 de: <http://sig-geek.blogspot.com/2017/12/serie-vi-v-iv-iii-ii-i-del-uso-de-suelo.html>

INEGI (2010). *Compendio de información estadística municipal*. Aguascalientes, México. INEGI. Recuperado el 17/04/17 de: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/sem10/default.htm>

INEGI (2017). Conjunto de Datos Vectoriales de Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000. Serie VI (Capa Unión), escala 1: 250 00. Aguascalientes, México. INEGI. Recuperado el 29/05/2019 de: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/usv250s6gw.xml? httpcache=yes& xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc.html.xsl& indent=no>

INEGI (2019a). Banco de Información Económica, Sistema de Cuentas Nacionales de México. Recuperado el 30/06/19 de: <https://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>

INEGI (2019b). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo. Recuperado el 30/06/19 de: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/proyectos/bd/encuestas/hogares/enoe/2010_pe_ed15/po.asp?s=est&p_roy=enoe_pe_ed15_po&p=enoe_pe_ed15

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* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press 1535 pp

IPCC (2014). *Summary for Policymakers*. En *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1-30) [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. United Kingdom and New York, NY, USA. Cambridge University Press, Cambridge. 1454 pp

IPCC (2018a). *Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.

IPCC (2018b). *Sobre el IPCC*. Recuperado el 16/12/2018 de: <https://www.ipcc.ch/about/>

Iwan, A., Guerrero, E., Romanelli, A. y Bocanegra, E. (2017). Valoración económica de los servicios ecosistémicos de una Laguna del sudeste bonaerense (Argentina). *Investigaciones Geográficas*. 68, 173-189.

Jaramillo, V. (2004). *El ciclo global del carbono*. En Martínez, J. y Fernández, A (coords). Cambio climático: una visión desde México (pp. 77- 85). México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.

Jaramillo, V. (2004). *El ciclo global del carbono*. En Martínez, J. y Fernández, A (coords). Cambio climático: una visión desde México (pp. 77- 85). México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología.

Kharin, V., Zwiers, F., Zhang, X. y Wehner, M. (2013). Changes in Temperature and Precipitation Extremes in the CMIP5 Ensemble. *Climate Change*, 119, 345-357

Kmenta, J. (1986). *Elements of Econometrics*. (2a ed.). Estados Unidos. Macmillan.

Kossin, J., Knapp, K., Vimont, D., Murnane, R. y Harper, B. (2007). A globally consistent reanalysis of hurricane variability and trends. *Geophysical Research Letters*. 34, 1-6.

Kwok, R. (2009). Outflow of Arctic Ocean Sea Ice into the Greenland and Barents Seas: 1979–2007. *Journal of Climate*. 22, 2438-2457.

Laxon, S., Giles, K., Ridout, A., Wingham, D., Willatt, R., Cullen, R., Kwok, R., Schweiger, A., Zhang, J., Haas, C., Hendricks, S., Krishfield, R., Kurtz, N., Farrel, S., y Davidson, M. (2013). CryoSat-2 estimates of Arctic sea ice thickness and volume. *Geophysical Research Letters*. 40, 732-737.

Lay, D. (2012). *Linear Algebra and Its Applications*, Chapter 10 Finite- State Markov Chains (Online). Estado Unidos. PEARSON.

Le Quére, C., Andrew, R., Friedlingstein, P., Stich, S., Pongratz, J., Manning, A., Korsbakken, J., Peters, G., Canadell, J., Jackson, R., Boden, T., Tans, Pieter., Andrews, O., Arora, V., Bakker, D., Barbero, L., Becker, M., Betts, R., Bopp, L., Chevallier, F., Chini, L., Phillippe C., Cosca, C., Cross, J., Currie, K., Gasser, T., Harris, I., Hauck, J., Haverd, V., Houghton, R., Hunt, C., Hurtt, G., Ilyina, T., Jain, A., Kato, E., Kautz, M., Keeling, R., Goldewijk, K., Körtzinger, A., Landschützer, D., Lefèvre, N., Lenton, A., Lienert, S., Lima, I., Lombardozzi, D., Metzi, N., Millero, F., Monteiro, P., Munro, D., Nabel, J., Nakaoka, S., Nojiri, Y., Padín, X., Peregon, A., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, Rehder, G., Reimer, J., Rödenbeck, C., Schwinger, J., Séferian, R., Skelvan, I., Stocker, B., Tian, H., Tilbrook, B., van der Laan-Luijckx, I., van der Werf, G., van Heuven, S., Viovy, N., Vuichard, N., Walker, A., Watson, A., Wiltshire, A., Zaehle, S., y Zhu, D. (2017). Global Carbon Budget 2017. *Earth System Science Data*. 1-79

Levin, R., Rubin, D., Balderas, M., Del Valle, J. y Gómez, R. (2004). *Estadística para administración y economía*. (7ª ed). México. PEARSON Educación.

Ley General de Cambio Climático. Diario Oficial de la Federación. México. Expedida 06/06/2012. Reformada 13/07/2018 Recuperada el 26/02/2019 de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC_190118.pdf

Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación. México. Expedida 28/01/1988. Reformada 23/04/2018 Recuperada el 26/02/2019 de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/148_050618.pdf

Lovejoy, T. (2008). Climate Change and biodiversity. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. 27(2), 331-8

Lovejoy, T. y L. Hannah (2005), *Climate change and biodiversity*, Yale University Press, New Haven, Connecticut

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. (1ª edición). México, Editorial Reverté.

Martínez-Meyer, E., J. Sosa-Escalante y F. Álvarez. (2014) El estudio de la biodiversidad en México: ¿una ruta con dirección? *Revista Mexicana de Biodiversidad*. Suplemento 85: S1-S9

- Massom R., Reid P., Stammerjohn S., Raymond B., Fraser A., Ushio, S. (2013) Change and Variability in East Antarctic Sea Ice Seasonality, 1979/80–2009/10. *PLoS ONE*. 8(5)
- McNeese, B. (2019). Anderson-Darling Test for Normality. Recuperado el 22/07/19 de: <https://www.spcoforexcel.com/knowledge/basic-statistics/anderson-darling-test-for-normality>
- Meier, W. N., Stroeve, J., Barrett, A. y Fetterer, F. (2012). A simple approach to providing a more consistent Arctic sea ice extent time series from the 1950s to present. *The Cryosphere*. 6, 1359-1368
- Mitchell, T. D. y Jones, P. D. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology*. 25, 693–712.
- Monterroso-Rivas, A., Gómez, J., y Tinoco, J. (2012). BOSQUE MESÓFILO DE MONTAÑA Y ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO: UNA EVALUACION EN HIDALGO, MEXICO. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y Ambiente*. 19, 29-43
- Moreno, C. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. (1ª edición). España, Zaragoza. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América y el Caribe, UNESCO, Sociedad Entomológica Aragonesa.
- NASA (2019). Ice Sheets, GRACE satellite data. Recuperado el 31/01/2019 de: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>
- National Geographic en Español (2019, s.f.). ¿Cuál es el primer mamífero que se extinguió por el cambio climático? National Geographic en Español. Recuperado de: <https://www.ngenespanol.com/dato-dia/melomys-rubicola-primer-mamifero-extinguio-cambio-climatico/>
- National Snow & Ice Data Center (2016). Sea ice hits record lows. Recuperado el 31/01/2019 de: <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2016/12/arctic-and-antarctic-at-record-low-levels/>
- National Snow & Ice Data Center (2019). Greenland Ice Sheet Today. Recuperado el 31/01/2019 de: <http://nsidc.org/greenland-today/>
- Newey, W. y West, K. (1987). A Simple, Positive, Semi-Definite Heteroskedasticity and Autocorrelation Consistent Covariance Matrix. *Econometrica*. 55, 703-708.
- NOAA- Earth System Research Laboratory (2019). The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI). Recuperado el 11/02/2019 de: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>
- Norwegian Polar Institute (2019). Thickness of sea ice measured in the Fram Strait. Environmental monitoring of Svalbard and Jan Mayen (MOSJ). Recuperado el 31/01/2019 de: <http://www.mosj.no/en/climate/ocean/sea-ice-thickness-arctic-ocean-fram-strait.html>
- Núñez, I., González, E. y Barahona, A. (2003). La Biodiversidad: Historia y Contexto de un Concepto. *Interciencia*. 28, 387-393.
- ONU (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Recuperado el 25/02/2019 de: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>.
- Oppenheimer, M. et al. (2014). *Emergent risks and key vulnerabilities*. En *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 1039–1099.
- Pacha, M. (2014). *Valoración de los servicios ecosistémicos como herramienta para toma de decisiones: Bases conceptuales y lecciones aprendidas en la Amazonia*. Brasilia, Brasil, World Wildlife Fund.
- Parmesan, C. (2006), «Ecological and evolutionary responses to recent climate change», *Annual Review of Ecology*,

Parmesan, C. and M. Hanley (2015). Plants and climate change: complexities and surprises. *Annals of Botany*. 116, 849–864.

PEMEX Gas y Petroquímica Básica (2015). Gas natural. Recuperado el 10/03/2019 de: <http://www.gas.pemex.com.mx/PGPB/Productos+y+servicios/Gas+natural/>

Penna, J. y Cristeche, E. (2008). *La valoración de servicios ambientales: diferentes paradigmas*. Argentina, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

Planeta Tierra (2011). *Criósfera, Conoce la Tierra*. Centro de Geociencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México. Recuperado el 15/03/2018 de: http://132.248.185.241/geociencias/iype_cgeo/criosfera.html

PNUMA (1992). *Convention on Biological Diversity*. Recuperado el 25/02/2019 de: <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-en.pdf>.

Poder Ejecutivo Federal (2012). *Plan Nacional de Desarrollo 2012-2018*. México, SEGOB

Poder Ejecutivo Federal (2018). *Plan Nacional de Desarrollo 2018-2024*. México, SEGOB

Rafferty, N. (2017). Effects of global change on insect pollinators: multiple drivers lead to novel communities. *Current Opinion in Insect Science*. 23, 22–27.

Ritchie, H. y Roser, M., (2019). Fossil Fuels. Published online at OurWorldInData.org. Recuperado el 20/02/2019 de: <https://ourworldindata.org/fossil-fuels>

Roberts, A., Tansey, C., Smithers, R. and Phillimore, A. (2015). Predicting a change in the order of spring phenology in temperate forests. *Global Change Biology*. 21, 2603–2611.

Root, T. L. y otros (2003), «Fingerprints of global warming on wild animals y plants», *Nature*, vol. 421.

Ross, S. (2004). *Introduction to probability and statistics for engineers and scientists*. (3ª ed.) Estados Unidos. ELSEVIER Academic Press.

Sawada, M. (2009). Global Spatial Autocorrelation Indices - Moran's I, Geary's C and the General Cross-Product Statistic. University of Ottawa. Recuperado el 12/07/2019 de: <http://www.lpc.uottawa.ca/publications/moransi/moran.htm>

Saynes, V., Etchevers, J., Paz, F. y Alvarado, L. (2016). Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas agrícolas de México. *Terra Latinoamericana*. 34, 83-96

Schweiger, A., Lindsay, R., Zhang, J., Steele, M., Stern, H. y Kwok, R. (2011). Uncertainty in modeled Arctic sea ice volume. *Journal of Geophysical Research*. 116, 1-21

Seddon, A., Macias-Fauria, M., Long, P., Benz, D. and Willis, K. (2016) Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. *Nature*, 229–232.

Seidl, R., Thom, D., Kautz, M., Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G., Wild, J., Ascoli, D., Petr, M., Honkaniemi, J., Lexer, M., Trossiuk, V., Mairota, P., Svoboda, M., Fabrika, M., Nagel T. and Reyer, C. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*. 7, 395–402.

SEMARNAT (2010). *La Economía del Cambio Climático en México*. Ciudad de México, México. SEMARNAT, Subsecretaría de Planeación y Política Ambiental.

SEMARNAT (2012). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y Crecimiento Verde. Edición 2012*. México, SEMARNAT.

SEMARNAT (2016). México país megadiverso. Recuperado el 07/09/19 de: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-pais-megadiverso-31976>

SEMARNAT (2018). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y Crecimiento Verde. Edición 2018*. México, SEMARNAT.

Servicio Geológico Mexicano (2017). Características del petróleo. Recuperado el 10/03/2019 de: https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Caracteristicas-del-petroleo.html

Settele, J. et al., (2014). Terrestrial and Inland Water Systems. En *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 271–359.

Shepherd A., Ivins E., Geruo, A., Barletta, V., Bentley, M., Bettadpur, S., H. Briggs, K., Bromwich, D., Forsberg R., Galin N., Horwath, M., Jacobs, S., Joughin, I., King, M., Lenaerts, J., Li, J., Ligtenberg, S., Luckman, A., Luthcke, S., McMillan, M., Meister, R., Milne, G., Mouginot, J., Muir, A., Nicolas, J., Paden J., Payne, A., Pritchard, H., Rignot, E., Rott, H., Sandberg Sørensen, L., Scambos, T., Scheuchl, B., Schrama, E., Smith, B., Sundal, V., van Angelen, J., van de Berg, W., van den Broeke, R., Vaughan, D., Velicogna, I., Wahr, J., Whitehouse, P., Wingham, D., Yi, D., Young, D. y Jay Zwally, H. (2012). A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance. *Science*. 1-24

Smith, T. M., Arkin, P.A., Ren, L. y Shen, S. S. P. (2012). Improved reconstruction of global precipitation since 1900. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 29, 1505–1517.

Smith, T. y Smith, R. L. (2006). *Ecología*. (6ª edición). España, Madrid, Pearson Education.

Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 70, 65-94.

Stammerjohn, S., Massom, R., Rind, D. y Martinson, D. (2012). Regions of rapid sea ice change: An inter-hemispheric seasonal comparison. *Geophysical Research Letters*. 39, 1-8.

Stephens, P., Mason, L., Green, R., Gregory, R., Sauer, J., Alison, J., Aunins, A., Brotons, L., Butchart, s., Capedelli, T., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., Crowe, O., Elts, J., Escandell, V., Foppen, R., Heldbjerg, H., Herrando, S., Husby, M., Jiguet, F., Aleksí, L., Lindström, A., Noble, D., Paquet, J., Reif, J., Sattler, T., Szep, T., Teuferbauser, N., Trautmann, S., Van strien, A., Van Turnhout, C., Vorisek, P. and Willis, S. (2016). Consistent response of bird populations to climate change on two continents. *Science*, 352, 84–87.

Stroeve, J. C., Markus, T., Boisvert, L., Miller, J. y Barret, A. (2014). Changes in Arctic Melt Season and Implications for Sea Ice Loss. *Geophysical Research Letters*. 41, 1216-1225.

Subsecretaría de Minería (2017). *Perfil del Mercado del Carbón. Diciembre 2017*. México, Dirección General de Desarrollo Minero, Secretaría de Economía.

Tamayo, R., Caso, A., Arredondo, J., Cuevas, G., Ladrón, R. y Robelo, E. (2016). *ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO Y PROTEGER LA BIODIVERSIDAD*. México, SEMARNAT.

Tarbutck E.J, Lutgens F.K. y Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología física*. (traducción de la 8va edición) España, Madrid. Pearson Education.

TEEB (2010). *La economía de los ecosistemas y la biodiversidad para las autoridades regionales y locales*. PNUMA

Thackeray, S., Hnerys, P., Hemming, D., Bell, J., Botham, M., Burthe, S., Helaouet, P., Johns, D., Jones, I., Leech, D., Mackay, E., Massimino, E., Atkinson, S., bacon, P., Bereton, T., Carvalho, L., Clutton, T., Duck, Ca., Edwards, M., Elliot, J., Hall, S., Harrington, R., Pearce, J., Hoye, T., Kruuk, L., Pemberton, J., Sparks, T., Thompson, P., White, I., Winfield, I. and Wanless, S., (2016) Phenological sensitivity to climate across taxa and trophic levels. *Nature*. 535, 241–245.

Tinoco, J., Gómez, D. y Monterroso-Rivas, A. (2010). Efectos del cambio climático en la distribución potencial del maíz en el estado de Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*. 29, 161-168.

Uclés, D. (2006). El valor económico del medio ambiente. *Ecosistemas*. 15, 66-71.

UNAM-DGCS (2019, 25 de junio). Crisis en producción de alimentos por ausencia de polinización. *Boletín UNAM-DGCS*. Recuperado el 25/07/19 de: https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2019_452.html

- Uribe, E. (2015). *El cambio climático y sus efectos en la biodiversidad en América Latina*. Chile. CEPAL
- Varian, H. (2010). *Microeconomía intermedia: un enfoque actual*. (3ª ed.) Estados Unidos. Antoni Bosch Editores.
- Velázquez, A., Mas, J., Díaz-Gallegos, J., Mayorgas-Saucedo, R., Alcántara, P., Castro, R., Fernández, T., Bocco, G., Ezcurra, E. y, Palacio, J. (2002). Patrones y tasas de cambio de uso del suelo. INE, *Gaceta Ecológica*. 062, 21-37.
- Vilalta, C. (2005). Cómo enseñar autocorrelación espacial. *Economía, Sociedad y Territorio*. 18, 323-333.
- Vose, R. S. y Marietta, M. (1992). The Global Historical Climatology Network: Long-Term Monthly Temperature, Precipitation, Sea Level Pressure, and Station Pressure Data. Carbon Dioxide Information Analysis Center.
- Wada, Y., van Beek, L., van Kempen, C., Reckman, J., Vasak, S., y Bierkens, M. (2010). Global depletion of groundwater resources. *Geophysical Research Letters*. 37, 2-5.
- Warren, R., Price, J., Graham, E., Forstenhaeusler, N. and VanDerWal, J. (2018). The projected effect on insects, vertebrates, and plants of limiting global warming to 1.5°C rather than 2°C. *Science*. 360, 791–795,
- Warszawski, L., Friend, A., Ostberg, S., Frieler, K., Lucht, W., Schaphoff, S., Beerling, D., Cadule, P., Ciais, P., Clark, C., Kahana, R., Ito, A., Kerbin, R., Kleidon, A., Lomas, M., Nishina, K., Pavlick, R., Tito, T., Buechner, M., Piontek, F., Schewe, J., Serdeczny, O. y Schellnhuber, H. (2013) A multi-model analysis of risk of ecosystem shifts under climate change. *Environmental Research Letters*. 8, 1-10.
- White, H. (1980). A HETEROSKEDASTICITY-CONSISTENT COVARIANCE MATRIX ESTIMATOR AND A DIRECT TEST FOR HETEROSKEDASTICITY. *ECONOMETRICA*. 48, 817-838
- Wiens, J.J. (2016). Climate-Related Local Extinctions Are Already Widespread among Plant and Animal Species. *PLOS Biology*. 14, 1-18.
- Wooldridge, J. (2010). *Introducción a la econometría*. Un enfoque moderno. (4ª ed.). México, CENGAGE Learning.
- World Bank (2019). World Development Indicators. Recuperado el 18/02/2019 de: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.ATM.CO2E.KT>
- Wu, J. and Y. Shi, 2016: Attribution index for changes in migratory bird distributions: The role of climate change over the past 50 years in China. *Ecological Informatics*. 31, 147–155.
- Zamora, M. (2015). Cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*. 6, 04-07