



Environment  
Canada

Environnement  
Canada

**SEMARNAT**  
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



**INECC**  
INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA  
Y CAMBIO CLIMÁTICO



Al servicio  
de las personas  
y las naciones

# Evaluación de los efectos económicos del cambio climático en el sector salud en México

INFORME FINAL

2018

Documento generado a  
partir de los resultados  
de la consultoría  
realizada por:

Luis Enrique Nieto  
Barajas

Serie

**2**

Evaluación y mapeo de la vulnerabilidad  
y los riesgos climáticos

Derechos Reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Colonia Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CP.11000, Ciudad de México.

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CP. 14210, Ciudad de México.

Todos los derechos están reservados. Ni esta publicación ni partes de ella pueden ser reproducidas, almacenadas mediante cualquier sistema o transmitidas, en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, de fotocopiado, de grabado o de otro tipo, sin el permiso previo del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

El análisis y las conclusiones aquí expresadas no reflejan necesariamente las opiniones del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, de su Junta Ejecutiva, de sus Estados Miembros, o del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.

Documento generado a partir de los resultados de la consultoría realizada por: Luis Enrique Nieto Barajas.

Citar como:

PNUD México-INECC. 2018. *Evaluación de los efectos económicos del cambio climático en el sector salud en México*. Proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México”. 151 pp. Luis Enrique Nieto Barajas. México.

Esta publicación fue desarrollada en el marco del proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México” del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Agradecimiento:

Al gobierno de Canadá a través de Environment Canada por el apoyo financiero recibido para el desarrollo del proyecto 86487 “Plataforma de Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y México”, durante 2014-2018. Al Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático por el apoyo prestado para el buen desarrollo de la Plataforma.

# Contenido

<b>1. Introducción .....</b>	<b>12</b>
1.1. Cambio climático .....	12
1.2. Reacción del mundo ante el problema .....	13
1.3. El cambio climático en México.....	14
1.4. Efectos del cambio climático en la salud.....	15
1.5. Objetivos del estudio.....	16
<b>2. Información disponible en salud y clima.....</b>	<b>18</b>
2.1 Fuentes de información .....	18
2.2. Bases de datos históricos .....	20
Bases de datos nacionales .....	23
Bases de datos estatales .....	25
Bases de datos auxiliares .....	26
<b>3. Análisis exploratorio de la información.....</b>	<b>28</b>
3.1 Enfermedades por calor y luz .....	28
3.2 Enfermedades gastrointestinales .....	32
3.3 Enfermedades respiratorias.....	38
3.4 Enfermedades transmitidas por vector.....	44
3.5 Enfermedades cardiovasculares.....	50
<b>4. Análisis inferencial de la información .....</b>	<b>57</b>
4.1 Modelos nacionales por enfermedad .....	57
Modelo de regresión <i>Poisson</i> nacional.....	58
Modelo de regresión <i>Normal</i> nacional.....	58
4.2 Modelos estatales por enfermedad.....	59

Modelo de regresión <i>Poisson</i> estatal .....	60
Modelo de regresión <i>Normal</i> estatal .....	60
4.3 Inferencias para las enfermedades por calor y luz .....	61
4.4 Inferencias para las enfermedades gastrointestinales.....	68
4.5 Inferencias para las enfermedades respiratorias .....	75
4.6 Inferencias para las enfermedades transmitidas por vector.....	82
<b>5. Pronósticos de morbilidad.....</b>	<b>94</b>
5.1 Escenarios de clima futuros .....	94
5.2 Análisis comparativo de las simulaciones de los cuatro institutos.....	95
5.3 Escenarios futuros de población .....	105
5.4 Pronósticos bayesianos .....	107
5.5 Pronósticos mensuales para los cuatro grupos de enfermedades.....	108
Enfermedades por calor y luz.....	<b>108</b>
5.6 Pronósticos agregados futuros por enfermedad .....	127
<b>6. Cuantificación de las pérdidas monetarias futuras.....</b>	<b>134</b>
<b>7. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>143</b>
<b>8. Anexos .....</b>	<b>146</b>
<b>9. Referencias .....</b>	<b>148</b>

## Lista de Figuras

Figura 3-1 Series de tiempo nacionales mensuales de 2014 a 2015 para los casos totales por calor (calor), precipitación pluvial (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).....	29
Figura 3-2. Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales por calor (calor), precipitación pluvial (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm)..	30
Figura 3-3 Series de tiempo estatales mensuales de 2014 a 2015 para los casos por calor (calor), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).....	31
Figura 3-4. Porcentaje de casos totales (calor) de 2014 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.....	32
Figura 3-5. Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables amebiasis, cólera, tifoidea, infección, intoxicación, salmonelosis y shigelosis.....	34
Figura 3-6. Series de tiempo nacionales mensuales de 1991 a 2015 para los casos totales (gastro), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	35
Figura 3-7. Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (gastro), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).....	36
Figura 3-8. Series de tiempo estatales mensuales de 1991 a 2015 para los casos totales (gastro), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	37
Figura 3-9. Porcentaje de casos totales (gastro) de 1991 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.....	38
Figura 3-10 Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables asma, faringitis, infresp, influenza y neumonía.....	40
Figura 3-11 Series de tiempo nacionales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (resp), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	41
Figura 3-12 Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (resp), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).....	42
Figura 3-13 Series de tiempo estatales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (resp), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	43
Figura 3-14 Porcentaje de casos totales (resp) de 1995 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.....	44
Figura 3-15. Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables chikungunya, dengue, leishmaniasis, paludismo y zika.....	46

Figura 3-16. Series de tiempo nacionales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	47
Figura 3-17. Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	48
Figura 3-18. Series de tiempo estatales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	49
Figura 3-19. Porcentaje de casos totales (vector) de 1995 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.....	50
Figura 3-20 Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables isquemia e hipertensión.....	52
Figura 3-21. Series de tiempo nacionales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	53
Figura 3-22 Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (cardio), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	54
Figura 3-23 Series de tiempo estatales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (cardio), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). .....	55
Figura 3-24. Porcentaje de casos totales (cardio) de 1995 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.....	56
Figura 4-1. Ajuste del modelo <i>Poisson</i> para los casos totales nacionales (calor). Tasa observada $YtPobt$ (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).....	64
Figura 4-2. Ajuste del modelo <i>Poisson</i> para los casos totales nacionales (calor). Arriba: Tasas vs. $ppi$ . Abajo: tasas vs. $tpi$ . Tasas observadas (puntos) y tasas predichas (puntos y líneas). .	65
Figura 4-3 Estimaciones de $\beta 1i$ (efecto de la variable $ppit$ ) en el modelo <i>Poisson</i> para los casos totales estatales (calor). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	66
Figura 4-4. Estimaciones de $\beta 2i$ (efecto de la variable $tpit$ ) en el modelo <i>Poisson</i> para los casos totales estatales (calor). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	67
Figura 4-5. Estimaciones de $\beta 3i$ (efecto de la variable $imit$ ) en el modelo <i>Poisson</i> para los casos totales estatales (calor). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	68

Figura 4-6. Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (gastro). Tasa obs. <b>YtPobt</b> (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).....	71
Figura 4-7 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (gastro). Tasas vs. <b>tpi</b> . Tasas observadas (puntos) y tasas predichas (puntos gruesos y líneas).....	72
Figura 4-8. Estimaciones de <b><math>\beta 1i</math></b> (efecto de la variable <b>ppit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (gastro). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	73
Figura 4-9. Estimaciones de <b><math>\beta 2i</math></b> (efecto de la variable <b>tpit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (gastro). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	74
Figura 4-10. Estimaciones de <b><math>\beta 3i</math></b> (efecto de la variable <b>imit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (gastro). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	75
Figura 4-11 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (resp). Tasa observada <b>YtPobt</b> (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).....	78
Figura 4-12 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (resp). Tasas vs. <b>tpi</b> . Tasas observadas (puntos) y tasas predichas (puntos gruesos y líneas).....	79
Figura 4-13. Estimaciones de <b><math>\beta 1i</math></b> (efecto de la variable <b>ppit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (resp). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	80
Figura 4-14 Estimaciones de <b><math>\beta 2i</math></b> (efecto de la variable <b>tpit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (resp). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	81
Figura 4-15 Estimaciones de <b><math>\beta 3i</math></b> (efecto de la variable <b>imit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (resp). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	82
Figura 4-16 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (vector). Tasa observada <b>YtPobt</b> (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).....	86
Figura 4-17. Estimaciones de <b><math>\beta 1i</math></b> (efecto de la variable <b>ppit</b> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). ....	87

Figura 4-18. Estimaciones de $\beta 2i$ (efecto de la variable <i>tpit</i> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	88
Figura 4-19. Estimaciones de $\beta 1i$ (efecto de la variable <i>ppit</i> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	89
Figura 4-20. Estimaciones de $\beta 2i$ (efecto de la variable <i>tpit</i> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	90
Figura 4-21 Estimaciones de $\beta 1i$ (efecto de la variable <i>ppit</i> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	91
Figura 4-22. Estimaciones de $\beta 2i$ (efecto de la variable <i>tpit</i> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	92
Figura 4-23. Estimaciones de $\beta 3i$ (efecto de la variable <i>imit</i> ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea). .....	93
Figura 5-1. Escenarios futuros GFDL para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	97
Figura 5-2. Escenarios futuros ENESM – HadGEM2 para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).. ..	98
Figura 5-3. Escenarios futuros IPSL para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	99
Figura 5-4. Escenarios futuros MPI para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	100
Figura 5-5. Escenarios futuros GFDL para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	101
Figura 5-6. Escenarios futuros ENESM – HadGEM2 para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	102
Figura 5-7. Escenarios futuros IPSL para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	103

Figura 5-8. Escenarios futuros MPI para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	104
Figura 5-9. Población de México. Observada de 1985 a 2015 (primer bloque), predicha por CONAPO de 2016 a 2051 (segundo bloque) y predicha por nosotros de 1952 a 2100 (tercer bloque).....	106
Figura 5-10. Población predicha por OECD. De 1950 a 2015 observada y de 2020 a 2100 predicha.....	107
Figura 5-11. Pronóstico total nacional (calor) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	111
Figura 5-12. Pronóstico total nacional (calor) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	112
Figura 5-13. Pronóstico total nacional (calor) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	113
Figura 5-14. Pronóstico total nacional (calor) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	114
Figura 5-15. Pronóstico total nacional (gastro) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	115
Figura 5-16. Pronóstico total nacional (gastro) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	116
Figura 5-17. Pronóstico total nacional (gastro) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	117
Figura 5-18. Pronóstico total nacional (gastro) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	118
Figura 5-19. Pronóstico total nacional (resp) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	119
Figura 5-20. Pronóstico total nacional (resp) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). .....	120
Figura 5-21. Pronóstico total nacional (resp) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	121
Figura 5-22. Pronóstico total nacional (resp) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	122
Figura 5-23. Pronóstico total nacional (vector) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).....	123

- Figura 5-24. Pronóstico total nacional (vector) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro). ..... 124
- Figura 5-25. Pronóstico total nacional (vector) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro)..... 125
- Figura 5-26. Pronóstico total nacional (vector) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro)..... 126
- Figura 5-27. Distribución predictiva del número de casos totales futuros **WTOTF** por calor basado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde)..... 129
- Figura 5-28. Distribución predictiva del número de casos totales futuros **WTOTF** (gastro) basado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde)..... 130
- Figura 5-29. Distribución predictiva del número de casos totales futuros **WTOTF** (resp) basado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde)..... 131
- Figura 5-30. Distribución predictiva del número de casos totales futuros **WTOTF** (vector) asado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde)..... 132

## Lista de Tablas

Tabla 4-1. Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (calor). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.....	63
Tabla 4-2 Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (gastro). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.....	70
Tabla 4-3 Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (resp). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.....	77
Tabla 4-4. Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (vector). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.....	85
Tabla 5-1. Resúmenes numéricos del número casos totales futuros <b>WTOTF</b> para los escenarios base, RCP2.6 y RCP8.5 y para los cuatro institutos internacionales.....	133
Tabla 6-1. Lista de costos para las enfermedades individuales de los cuatro grupos.....	135
Tabla 6-2 Valores de inflación (base 2010).....	136
Tabla 6-3 Tipos de cambio promedio peso-dólar. ....	136
Tabla 6-4 Costos promedio ponderados por grupo de enfermedad. Unidades en precios del 2015.....	137
Tabla 6-5 Valor presente de los costos, base y excedentes, (en millones de pesos) por cambio climático hasta el 2100 en los cuatro grupos de enfermedades. ....	139
Tabla 6-6 Valor presente de los costos, base y excedentes, (en millones de pesos) por cambio climático hasta el 2050 en los cuatro grupos de enfermedades. ....	140
Tabla 6-7. Valor presente de los costos, base y excedentes, (en millones de pesos) por cambio climático hasta el 2030 en los cuatro grupos de enfermedades. ....	141
Tabla 6-8 Porcentajes de casos para cada uno de los 32 estados del país por enfermedad....	142

# 1. Introducción

## 1.1. Cambio climático

De acuerdo con SEMARNAT, el cambio climático se define como todo cambio de largo plazo que ocurre en el clima debido a la variabilidad natural o de las actividades humanas. El calentamiento global, por otra parte, es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales (SEMARNAT, 2009). Así, es importante dejar claro que el cambio climático no significa únicamente calentamiento global, ya que involucra a este último y a otros cambios en el sistema climático. En general el clima varía de una región a otra y de un momento a otro, debido a las condiciones atmosféricas de temperatura, precipitación, presión y humedad que caracterizan a cada región a través del tiempo. Sin embargo, son aquellas variaciones producidas por las actividades humanas (i.e., antropogénicas), las que merecen un análisis económico a detalle.

En la teoría económica, es común plantear que mayor actividad industrial se traduce en mayor bienestar general para la población. No obstante, el incremento de la producción resulta en un aumento de la contaminación, en particular en las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Las actividades industriales han tenido un impacto severo en términos del deterioro del suelo, el aire y el agua del planeta, de modo que sería impreciso excluir dicho efecto en la calidad del medio ambiente cuando se cuantifica el efecto final de un aumento en la actividad económica sobre el bienestar de la población (Pérez, 2017).

La vida en el planeta depende fundamentalmente de la atmósfera, una delgada capa gaseosa cuya composición principal es nitrógeno (78.1 por ciento), oxígeno (20.9 por ciento), argón (0.93 por ciento) y ozono, bióxido de carbono, hidrógeno, neón, helio y kriptón (0.07 por ciento). Las funciones principales de la atmósfera son filtrar la radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre, proteger la superficie al desintegrar los meteoritos y regular la temperatura por medio del llamado **efecto invernadero**.

El efecto invernadero es el resultado de la interacción de la radiación solar con los llamados GEI: bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), ozono ( $\text{O}_3$ ) y vapor de agua, entre otros. Dichos gases dejan pasar la luz solar, que al llegar a la superficie terrestre y marina se transforma en calor, es decir, radiación infrarroja. Una parte de esta radiación se absorbe por los mares y el suelo mientras que otra es reflejada hacia la atmósfera, la cual detiene y absorbe parte de la radiación, en particular, gracias a las características de estos gases. Sin este fenómeno de retención del calor, el planeta sería, en promedio, 3 grados centígrados más frío y, probablemente, la vida no se habría desarrollado como la conocemos hoy en día. Así, es sencillo entender que los GEI resultan clave para el flujo natural de la energía. También es claro que a mayor cantidad de estos gases, es mayor la cantidad de calor que se absorbe y

más alta la temperatura de la superficie del planeta, es decir, la energía reemitida hacia el espacio se reduce y esto se ve reflejado, tarde o temprano, en cambios en el clima.

Además de la explicación físico-química del papel que juegan los GEI en la atmósfera, existe evidencia histórica basada en datos de paleoclima que muestra una asociación estadística fuerte entre variables responsables del efecto invernadero, en particular CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>, con la temperatura de miles y millones de años atrás, e.g., (Nieto-Barajas & Sinha, 2015).

Así, se dice que el aumento de la temperatura se debe esencialmente a una mayor concentración de los GEI en la atmósfera, y esta concentración es resultado, a su vez, de la quema de combustibles fósiles, la cual ha aumentado la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico en un 40 por ciento desde la era preindustrial hasta nuestros días (SEMARNAT, 2009).

Los combustibles fósiles son sustancias que, al reaccionar con oxígeno, generan calor útil. Por ello son utilizados para producir alrededor del 82 por ciento de la energía total que la humanidad consume para sus actividades cotidianas. Cuando ocurre tal reacción, liberan GEI a la atmósfera, principalmente bióxido de carbono. Por ese motivo, se establece que el CO<sub>2</sub> ha sido el gas con mayor impacto sobre el calentamiento global (SEMARNAT, 2009).

El planeta ha experimentado varios cambios notorios en el sistema climático, por ejemplo: la temperatura superficial global ha subido 0.85 grados Celsius entre 1880 y 2012; en el ártico se ha reducido la extensión del hielo marino entre 1970 y 2012 hasta un 40 por ciento y, por ende, el nivel medio del mar subió entre 17 y 20 cm. Otras consecuencias del cambio climático son las modificaciones en los patrones de precipitación, que ocasionan sequías e inundaciones donde, usualmente, no se presentaban, así como mayor acidez en los océanos, que resulta en una agresiva destrucción de los ecosistemas marinos. (Martínez & Fernández, 2004).

## 1.2. Reacción del mundo ante el problema

En 1988 se creó el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), gracias al impulso de la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP). Su función principal es analizar la información científica relevante para entender el cambio climático. Los equipos que lo conforman se distinguen por el enfoque de sus investigaciones: el estudio de los impactos; el estudio de medidas de adaptación y vulnerabilidad; y el estudio de las posibilidades de mitigación o reducción de las emisiones. Las actividades principales del IPCC han sido la evaluación periódica, a través de sus “Informes Especiales”, así como el respaldo a la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, por medio de un equipo especial que apoya a los países en la elaboración de sus inventarios de emisiones.

La evidencia científica presentada en el primer reporte del IPCC, en 1990, subrayó la importancia del cambio climático como un reto, que requiere de la cooperación internacional para contrarrestar sus consecuencias. Ese primer reporte, desempeñó un papel decisivo en la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés) que constituía el tratado clave para reducir el calentamiento global y lidiar con las consecuencias del cambio climático. El segundo reporte, en 1995, proveyó de material importante en términos de negociaciones con vistas a la adopción del Protocolo de Kioto en 1997.

Los reportes tres y cuatro, se enfocaron en la investigación de políticas integrales de desarrollo sustentable, lo que permitió que en 2007 el IPCC ganara el Premio Nobel de la Paz. El quinto reporte, que fue producido a finales de 2014, presenta una actualización y punto de vista claros del conocimiento científico relevante para el cambio climático, de modo que éste sirva como fuente de información accionable para los tomadores de decisiones. Luego del acuerdo de París, se espera que el sexto reporte esté terminado para el año 2022, año en el que se realizaría una evaluación de los progresos de cada nación (IPCC, 2013).

### **1.3. El cambio climático en México**

El Instituto Nacional de Ecología (ahora Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático) como parte de su misión de generar y difundir información científica y técnica sobre problemas ambientales prioritarios, solicitó a un grupo de especialistas de diversas disciplinas la creación de un libro para que compartieran sus conocimientos y experiencias sobre los aspectos científicos, sociales, económicos e institucionales sobre tal temática. Esta compilación fue coordinada por (Martínez & Fernández, 2004).

El resultado es un documento que aborda desde la teoría del cambio climático hasta la ratificación del Protocolo de Kioto, e incluye estudios realizados en México. Los autores sitúan a nuestro país como emisor de GEI en el contexto mundial, analizan la vulnerabilidad de diferentes sectores, evalúan acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, describen negociaciones internacionales, y abordan los aspectos educacionales y de difusión sobre el tema.

En el año 2007, el mismo Instituto, junto con la Universidad Iberoamericana en Puebla, hicieron un segundo esfuerzo al respecto con la creación del “Estudio sobre Economía del Cambio Climático en México” (Ibarrarán & Rodríguez, 2007). Este estudio es una primera aproximación de cómo se puede abordar el análisis del contexto socioeconómico de México, ante la tendencia actual de crecimiento demográfico, económico, y de uso de recursos naturales y generación de contaminantes. Se sugiere una forma de calcular la vulnerabilidad agregada en México, a partir de indicadores socioeconómicos, medioambientales y riesgos

ocasionados por desastres naturales, dados los impactos esperados del cambio climático. Adicionalmente, se muestra la aplicación de distintos métodos de valoración económica para determinar el impacto del cambio climático sobre algunos sectores, los beneficios de la reducción en la demanda de energía, y los costos y beneficios de algunas medidas de adaptación en el sector agrícola.

En el 2009, a petición de las Secretarías de Hacienda y Crédito Público (SHCP), y de la de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se desarrolló un estudio denominado “La economía del cambio climático en México” (Galindo, 2009). En palabras del coordinador, este estudio buscó hacer una estimación seria y fundamentada de los posibles costos económicos que el cambio climático antropogénico generará para nuestro país, en especial en aquellos sectores de la población que, por su condición de pobreza, son los más vulnerables. En este estudio se abarcan 7 sectores de la economía mexicana, que son: agropecuario, recursos hídricos, cambio y cobertura del suelo, biodiversidad, eventos extremos (huracanes), turismo y desastres naturales y salud.

## **1.4. Efectos del cambio climático en la salud**

A nivel mundial existen numerosos estudios sobre los efectos del cambio climático en la salud humana. Por ejemplo, (Martens, 1998) realiza un meta-análisis en el que asocia las temperaturas promedio con las tasas de mortalidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Los resultados indican una disminución de muertes en el invierno. Por su parte, (Bosello, Roson, & Tol, 2006) estudian las implicaciones del cambio climático en relación con enfermedades cardiovasculares, respiratorias, diarrea, malaria, dengue y esquistosomiasis, a partir de un modelo de equilibrio general.

En adición, (Haines, Kovats, Campbell-Lendrum, & Corvalan, 2006) se concentraron en estudiar las acciones de salud pública con énfasis en las vulnerabilidades de la población, así como en definir estrategias de vigilancia. En otro trabajo, (Patz, Campbell-Lendrum, Holloway, & Foley, 2005) estudian los incrementos en los riesgos a la salud bajo proyecciones futuras de cambio climático, así como la tendencia de los aumentos de morbilidad y mortalidad en muchas regiones del planeta, relacionada con las afectaciones del cambio climático. (McMichael, Woodruff, & Hales, 2006), resumen la evidencia epidemiológica de cómo las variaciones del clima tienen un efecto en la salud humana. Por su parte, (Meléndez-Herrada, Ramírez Pérez, Sánchez Dorantes, & Cravioto, 2008) realizan un estudio de las consecuencias del cambio climático en las enfermedades infecciosas y elaboran una lista de las más potenciadas.

En México existen dos importantes esfuerzos para estudiar los efectos del cambio climático en la salud.

En el 2006, El Instituto Nacional de Salud Pública, a petición del Instituto Nacional de Ecología (ahora INECC), desarrolló un “Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México” (Riojas Rodríguez, Hurtado Díaz, Idrovo Velandia, & Vázquez Grameix, 2006), que dio como resultado una lista de eventos en salud relacionados con el cambio climático en diversas regiones de México, así como las que son prioritarias, en términos de salud pública para el país. En este estudio se consideraron enfermedades transmitidas por vector, enfermedades transmitidas por agua y alimentos, además de enfermedades infecciosas y golpes de calor. Los casos ocurridos de estas enfermedades se relacionaron con variables de clima, y se presentaron, principalmente, indicadores de asociación descriptivos, del tipo correlación lineal.

Como continuación del estudio anterior, se llevó a cabo un “Estudio Piloto sobre Escenarios de Riesgos en Salud asociados al Cambio Climático en Regiones Seleccionadas de México” (Riojas Rodríguez, Hurtado Díaz, Litai Moreno, Santos Luna, & Texcalac Sangrador, 2007), el cual se desarrolló en la zona sur del estado de Veracruz (región Olmeca), con datos de mortalidad provenientes de la Secretaría de Salud de 1995 al 2007, datos climatológicos proporcionados por el grupo de “Análisis Estadístico Histórico de Variabilidad Climática del Plan Estatal de Cambio Climático del Estado de Veracruz”, los cuales provienen de la Base de Datos Climatológica Nacional (Sistema CLICOM) y variables socioeconómicas de vulnerabilidad, principalmente del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI).

## 1.5. Objetivos del estudio

Los objetivos principales de este proyecto son:

- Proponer una metodología para la estimación del impacto económico del cambio climático en el sector salud a nivel nacional y estatal en México.
- Construir modelos estadísticos que relacionen la incidencia de enfermedades en México (a nivel país y estatal), con variables de clima (temperatura y precipitación), y que además tomen en cuenta los efectos de variables socioeconómicas relevantes.
- Realizar estimaciones de los costos de cambio climático para el sector salud a nivel país y estatal. Las estimaciones se harán para escenarios de cambio climático, tanto de referencia como de mitigación.
- Generar las primeras estimaciones de referencia para el país que permitan la calibración de modelos con el fin de evaluar los costos de cambio climático y la conveniencia de estrategias de mitigación para enfrentarlo.

El cambio climático es un problema que afecta de múltiples formas a la población de un país, desde el crecimiento demográfico, las migraciones o los ecosistemas, hasta los sectores

productivos como la agricultura, la industria y el turismo, entre otros. Hablar de los efectos del cambio climático en salud es un problema complicado debido a las interacciones de muchos factores asociados.

El enfoque a seguir, será intentar aislar el efecto de las alteraciones en el clima, en particular en la precipitación pluvial y temperatura, sobre el número de individuos (casos) que presentan cierta enfermedad (morbilidad). Se usarán modelos estadísticos y econométricos de regresión, para definir el comportamiento condicional de la morbilidad en función de las variables de clima.

El análisis se concentra en el estudio de cuatro grandes grupos de enfermedades:

- 1) Enfermedades por golpe de calor
- 2) Enfermedades gastrointestinales
- 3) Enfermedades respiratorias
- 4) Enfermedades transmitidas por vector

Cada uno de estos grupos se conforma por varias enfermedades que se describirán más adelante. Originalmente, se consideró también el grupo de enfermedades cardiovasculares, sin embargo, no presentó ningún tipo de asociación estadística con las variables de clima, por lo que no se tratará con detalle en este estudio.

El alcance del presente trabajo es de nivel nacional y para cada una de las 32 entidades federativas, para períodos en que la información esté disponible.

## 2. Información disponible en salud y clima

### 2.1 Fuentes de información

Existen dos fuentes de información principales en materia de salud pública:

- a) Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica (SINAVE), disponible en:

[http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/casos\\_mes.html](http://www.epidemiologia.salud.gob.mx/anuario/html/casos_mes.html), y

- b) Subsistema Automatizado de Egresos Hospitalarios (SAEH), disponible en :

[http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/std\\_egresoshospitalarios\\_gob\\_mx.html](http://www.dgis.salud.gob.mx/contenidos/basesdedatos/std_egresoshospitalarios_gob_mx.html)

El SINAVE es el conjunto de estrategias y acciones epidemiológicas que permiten la producción de información epidemiológica útil para la salud pública. El Sistema integra información proveniente de todo el país y de todas las instituciones del Sistema Nacional de Salud.

La información generada por el SINAVE fluye desde 20,005 unidades de atención a la salud, hacia la Dirección General de Epidemiología (DGE), órgano normativo federal del SINAVE. Los responsables de la vigilancia epidemiológica a nivel jurisdicción, estatal y federal verifican la información, conforme a lineamientos generales acordados por todas las instituciones del sector, en órganos colegiados coordinadores y normativos de estos tres niveles administrativos.

La información de vigilancia epidemiológica en México se integra en el Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica (SUIVE). Este sistema estadístico de salud no es completo, ni incluye toda la información sobre la situación epidemiológica nacional. Actualmente, el SUIVE se enfoca en 114 enfermedades consideradas como las más relevantes del estado de salud de la población. La información contenida en el SUIVE incluye la notificación de daños a la salud y resultados de pruebas de tamizaje y diagnóstico por laboratorio.

El SINAVE produce anuarios de morbilidad desde el año 1985 hasta el año 2015, con datos de nuevos casos consolidados a nivel estatal y nacional. Sin embargo, no todas las enfermedades están disponibles para todos los años y sólo, recientemente, es posible desagregar la información por sexo.

El SAEH, por su parte, genera información de la atención brindada durante la estancia de un paciente en el área de hospitalización de todas las unidades médicas del país de la Secretaría de Salud. Permite evaluar la situación de la salud y la demanda de atención hospitalaria, para la

administración y planeación de los servicios de salud. La información disponible por este sistema contiene los casos (egresos hospitalarios) a nivel paciente, con fecha exacta de egreso y sexo, además de estar referenciados a nivel localidad.

La información de clima será obtenida de:

- c) Las bases de datos creadas por el grupo de Clima y Sociedad del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA), de la UNAM, y del Atlas Climático Digital de México (ACDM), disponible en:

[http://atlasclimatico.unam.mx/uniatmos\\_portal/#](http://atlasclimatico.unam.mx/uniatmos_portal/#)

El CCA fue creado en febrero de 1977 por acuerdo del entonces rector de la UNAM, el Dr. Guillermo Soberón, con el objetivo de desarrollar y promover las ciencias atmosféricas y ambientales en el país, mediante la generación de conocimiento y la formación de recursos humanos especializados en las diferentes áreas que las conforman, con un enfoque integral e interdisciplinario. El ACDM, por su parte, fue creado por la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales, perteneciente al CCA de la UNAM, y produce información de clima geo-referenciada a partir de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). En específico, se cuenta con datos de temperatura (continental) promedio, temperatura máxima y mínima, así como la precipitación pluvial.

El grupo de Clima y Sociedad del CCA se dio a la tarea de mapear en los estados de la República Mexicana la información geo-referenciada de clima proveniente del ACDM. El resultado fueron bases de datos mensuales de la información de clima estatal desde el año 1901 hasta el año 2015.

Adicionalmente se considerará información socioeconómica a nivel nacional y para cada uno de los estados del país, para ello el análisis se basa en:

- d) Los estudios de marginación del Consejo Nacional de Población (CONAPO), disponibles en:

[http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices\\_de\\_Marginacion\\_Publicaciones](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indices_de_Marginacion_Publicaciones)

La misión del CONAPO es la planeación demográfica del país, a fin de incluir a la población en los programas de desarrollo económico y social que se formulen dentro del sector gubernamental y vincular sus objetivos a las necesidades que plantean los fenómenos demográficos. Desde al año 1990, y hasta el 2015, CONAPO genera un índice de marginación a partir de nueve variables de pobreza. Tal información está disponible a nivel municipal, estatal y nacional.

Como el mismo CONAPO reconoce, la creación del índice de marginación se basa en la técnica estadística de componentes principales, por lo que no es posible la comparación del

índice en el tiempo. Sin embargo, sí es posible comparar las variables que conforman el índice a través del tiempo.

## 2.2. Bases de datos históricos

Con la ayuda de técnicas de *web scraping* (búsqueda en la red) fue posible formar bases de datos en formato de texto separado por comas (csv), a partir de las cuatro fuentes de información anteriormente descritas (a) – (d).

A partir del SINAVE se obtuvo una primera base de datos (base\_sinave\_v19102017.csv) que contiene 18,048 renglones (registros) y 15 columnas (variables). Las variables que contiene son:

- *Estado*: variable categórica cuyos valores son los nombres de los 32 estados del país
- *Enero a Diciembre* (12 variables): variables numéricas con información del número de casos de morbilidad
- *Year*: variable numérica cuyos valores son los años de 1985 a 2016
- *Disease\_name*: variable categórica cuyos valores son los nombres de 28 enfermedades seleccionadas del catálogo de enfermedades

Las enfermedades consideradas en la base anterior, cuyos nombres corresponden a la clasificación estadística internacional de enfermedades y problemas relacionados con la salud en su décima revisión (CIE-10), fueron clasificadas en cuatro grandes grupos. Entre paréntesis se agregan los años en que la información de la enfermedad está disponible en el sistema SINAVE.

- 1) Enfermedades por calor y luz:
  - Efectos del calor y la luz (2014-2016)
- 2) Enfermedades gastrointestinales:
  - Amebiasis intestinal (1985-2016)
  - Cólera (1991-2016)
  - Fiebre tifoidea (1985-2016)
  - Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas (1988-2016)
  - Intoxicación alimentaria bacteriana (1985-2016)
  - Otras salmonelosis (2014-2016)
  - Shigelosis (1985-2016)
- 3) Enfermedades respiratorias:

- Asma y estado asmático (1995-2016)
- Faringitis y amigdalitis estreptocócicas (1985-2016)
- Infecciones respiratorias agudas (1985-2016)
- Influenza (1985-2016)
- Influenza AH1N1 (2009-2013)
- Influenza debido a virus no identificado (2009-2013)
- Influenza virus de influenza identificado (2009-2013)
- Neumonías y bronconeumonías (1985-2016)

4) Enfermedades transmitidas por vector:

- Enfermedad por virus chikungunya (2014-2016)
- Fiebre amarilla (1996-2016)
- Fiebre del oeste del nilo (2003-2016)
- Fiebre hemorrágica por dengue (1995-2016)
- Leishmaniasis cutánea (2014-2016)
- Leishmaniasis cutánea americana (1985-2013)
- Leishmaniasis visceral (2014-2016)
- Paludismo por plasmodium falciparum (1985-2016)
- Paludismo por plasmodium vivax (1993-2016)
- Virus zika (2015-2016)

Originalmente se consideró un quinto grupo de enfermedades de tipo cardiovascular, el cual únicamente será utilizado para la primer parte del análisis exploratorio. Las enfermedades que conforman este grupo se presentan a continuación.

5) Enfermedades cardiovasculares:

- Enfermedad isquémica del corazón (1995-2016)
- Hipertensión arterial (1985-2016)

Aunque la información de la mayoría de las enfermedades a considerar en el estudio está disponible hasta el 2016, sólo se considerará información hasta el año 2015, ya que éste fue el año acordado para hacer comparable este estudio con otros similares de diversos sectores de la economía, que se realizan en este momento.

A partir del SAEH se obtuvo una segunda base de datos (base\_sae\_h\_300917.csv) que contiene 205,379 renglones (registros) y 5 columnas (variables). Las variables que contiene son:

- Entidad: variable categórica cuyos valores son los nombres de los 32 estados del país
- Sexo: variable categórica del genero del paciente, 1-hombre y 2-mujer

- Fecha: variable categórica con la fecha en el formato día/mes/año
- Conteo\_egresos: variable numérica con el número de casos registrados en el hospital de la misma entidad, mismo sexo, misma fecha y misma enfermedad
- Nombre\_enfermedad: variable categórica cuyos valores son los nombres de 20 enfermedades seleccionadas del catálogo de enfermedades

Esta base de datos del SAEH es mucho más extensa, que la base obtenida del SINAVE, debido a que la información está desagregada por caso (egreso hospitalario). Las enfermedades seleccionadas son un subconjunto de las 28 enfermedades contenidas en la base del SINAVE. Se realizó un primer análisis comparativo entre la información de estas dos fuentes y resultó que los casos agregados por mes a nivel nacional no coincidían, los números eran menores en el caso del SAEH y no reflejaban ningún patrón estacional que sí mostraban los datos provenientes del SINAVE. La explicación es que los egresos hospitalarios son un subconjunto de todos los casos registrados por una enfermedad. Aquellos casos de pacientes no hospitalizados no son considerados por el SAEH. Por esta razón se decidió no utilizar la base proveniente del SAEH para el análisis del presente estudio.

El grupo de Clima y Sociedad del CCA de la UNAM, a través del Dr. Francisco Estrada Porrúa, nos proporcionó una serie de bases de datos con información histórica de clima mensual para cada una de las 32 entidades federativas de la República Mexicana. Las variables proporcionadas fueron: Precipitación pluvial promedio (PCP\_AVERAGE\_CRU) medida en milímetros por mes; temperatura promedio (TMEAN\_CRU) medida en grados centígrados; y temperatura máxima (TMAX\_CRU) medida, también, en grados centígrados. Esta información está disponible desde el año 1901 hasta el año 2015.

De los estudios de marginación realizados por el CONAPO se obtuvo una base de datos (*Base\_Indice\_de\_marginacion\_estatal\_90-15.csv*) la cual contiene 198 renglones y 18 columnas. Las variables que la forman son:

- CVE\_ENT: Clave de la entidad federativa
- NOM\_ENT: Nombre de la entidad federativa
- POB\_TOT: Población total en la entidad
- ANALF: Porcentaje de población de 15 años o más analfabeta
- PRIM: Porcentaje de población de 15 años o más sin primaria completa
- OVSDE: Porcentaje de ocupantes en viviendas sin drenaje ni excusado
- OVSEE: Porcentaje de ocupantes en viviendas sin energía eléctrica
- OVSAE: Porcentaje de ocupantes en viviendas sin agua entubada
- VHAC: Porcentaje de viviendas con algún nivel de hacinamiento
- OVPT: Porcentaje de ocupantes en viviendas con piso de tierra
- PL<5000: Porcentaje de población en localidades con menos de 5,000 habitantes

- PO2SM: Porcentaje de población ocupada con ingresos de hasta 2 salarios mínimos
- OVSDSE: Alias
- IM: Índice de marginación
- GM: Grado de marginación
- IND0A100: Alias
- LUGAR: Lugar
- AÑO: Año calendario

Las variables definidas como *alias*, son auxiliares, que en algunos casos sustituyen a alguna de las variables originales de marginación, debido a algún cambio en la metodología de cálculo.

Las siguientes bases de datos fueron creadas en el lenguaje y ambiente de trabajo para cómputo estadístico R (<https://www.r-project.org/>), el cual es de distribución libre. El código para su generación será proporcionado como archivos electrónicos.

## Bases de datos nacionales

A partir de *base\_sinave\_v19102017.csv* y de las bases con información histórica de clima, se crearon cinco bases de datos, una por cada grupo de enfermedades, con la información de casos de morbilidad totales a nivel nacional y por enfermedad, junto con la información promedio de las variables de clima correspondientes a nivel mensual.

Estas cinco bases de datos a nivel nacional se describen a continuación:

- 1) Enfermedades por calor y luz, a nivel nacional (***calorNM.csv***): Es de dimensión 24 por 6 y contiene las siguientes variables,
  - year*: año calendario con valores del 2014 al 2015
  - mes*: mes del año con valores de Enero a Diciembre
  - calor*: número total de casos por efectos del calor y de la luz
  - pp*: precipitación pluvial promedio por estado
  - tp*: temperatura promedio por estado
  - tm*: temperatura máxima promedio por estado
- 2) Enfermedades gastrointestinales nacional (***gastroNM.csv***): Es de dimensión 372 por 13 y contiene las siguientes variables,
  - year*: año calendario con valores de 1985 al 2015
  - mes*: mes del año con valores de Enero a Diciembre
  - gastro*: número total de casos de las 7 enfermedades gastrointestinales consideradas
  - amebiasis*: número de casos de amebiasis intestinal

*cólera*: número de casos de cólera

*tifoidea*: número total de casos de fiebre tifoidea

*infección*: número total de casos de infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas

*intoxicación*: número de casos de intoxicación alimentaria bacteriana

*salmonelosis*: número de casos de otras salmonelosis

*shigelosis*: número de casos de shigelosis

*pp*: precipitación pluvial promedio por estado

*tp*: temperatura promedio por estado

*tm*: temperatura máxima promedio por estado

- 3) Enfermedades respiratorias nacional (***respNM.csv***): es de dimensión 372 por 11 y contiene las siguientes variables,

*year*: año calendario con valores de 1985 al 2015

*mes*: mes del año con valores de Enero a Diciembre

*resp*: número total de casos de las 5 enfermedades respiratorias consideradas

*asma*: número total de casos de asma y estado asmático

*faringitis*: número total de casos de faringitis y amigdalitis estreptocócicas

*infresp*: número total de casos de infecciones respiratorias agudas

*influenza*: número total de casos de influenza, influenza AH1N1, influenza debida a virus no identificado e influenza virus de influenza identificado

*neumonía*: número total de casos de neumonías y bronconeumonías

*pp*: precipitación pluvial promedio por estado

*tp*: temperatura promedio por estado

*tm*: temperatura máxima promedio por estado

- 4) Enfermedades transmitidas por vector nacional (***vectorNM.csv***): es de dimensión 372 por 11 y contiene las siguientes variables,

*year*: año calendario con valores de 1985 al 2015

*mes*: mes del año con valores de Enero a Diciembre

*vector*: número total de casos de las 5 enfermedades transmitidas por vector consideradas

*chikungunya*: número total de casos de enfermedad por virus chikungunya

*dengue*: número total de casos de fiebre hemorrágica por dengue

*leishmaniasis*: número total de casos de leishmaniasis cutánea, leishmaniasis cutánea americana y leishmaniasis visceral

*paludismo*: número total de los casos de paludismo por *plamodium falciparum* y paludismo por *plasmodium vivax*

*zika*: número total de casos de virus zika

*pp*: precipitación pluvial promedio por estado

*tp*: temperatura promedio por estado

*tm*: temperatura máxima promedio por estado

Nótese que los casos de fiebre amarilla y fiebre del oeste del Nilo fueron excluidas de esta base de datos debido a que se tenían muy pocos registros, 2 para la primer variable y 12 para la segunda.

- 5) Enfermedades cardiovasculares nacional (***cardioNM.csv***): es de dimensión 372 por 8 y contiene las siguientes variables,

*year*: año calendario con valores de 1985 al 2015

*mes*: mes del año con valores de Enero a Diciembre

*cardio*: número total de casos de las 2 enfermedades cardiovasculares consideradas

*bisquemia*: número total de casos de enfermedad insuémiza del corazón

*hipertension*: número total de casos de hipertensión arterial

*pp*: precipitación pluvial promedio por estado

*tp*: temperatura promedio por estado

*tm*: temperatura máxima promedio por estado

## Bases de datos estatales

A partir de *base\_sinave\_v19102017.csv* y de las bases con información histórica de clima, se crearon ocho bases de datos, una por cada grupo de enfermedades y tres para las variables de clima. Las primeras cinco bases contienen el número de casos totales si se consideran todas las enfermedades del grupo y la información está disponible por estado y por mes calendario. Las últimas tres bases contienen la información de clima disponible por estado y por mes calendario.

Estas ocho bases de datos a nivel estatal se describen a continuación:

- 6) Enfermedades por calor y luz estatal (***calorEM.csv***): es de dimensión 32 por 24 y contiene las siguientes variables,

*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana

*Enero-2014 a Diciembre-2015*: número de casos totales de enfermedades por calor y luz mensuales en el estado

- 7) Enfermedades gastrointestinales estatal (***gastroEM.csv***): es de dimensión 32 por 300 y contiene las siguientes variables,

*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana

*Enero-1991 a Diciembre-2015*: número de casos totales de enfermedades gastrointestinales mensuales en el estado

- 8) Enfermedades respiratorias (**respEM.csv**): es de dimensión 32 por 252 y contiene las siguientes variables,  
*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana  
*Enero-1995 a Diciembre-2015*: número de casos totales de enfermedades respiratorias mensuales en el estado
- 9) Enfermedades transmitidas por vector estatal (**vectorEM.csv**): es de dimensión 32 por 252 y contiene las siguientes variables,  
*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana  
*Enero-1995 a Diciembre-2015*: número de casos totales de enfermedades transmitidas por vector mensuales en el estado
- 10) Enfermedades cardiovasculares (**cardioEM.csv**): es de dimensión 32 por 252 y contiene las siguientes variables,  
*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana  
*Enero-1995 a Diciembre-2015*: número de casos totales de enfermedades cardiovasculares mensuales en el estado
- 11) Precipitación pluvial estatal (**ppEM.csv**): es de dimensión 32 por 372 y contiene las siguientes variables,  
*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana  
*Enero-1985 a Diciembre-2015*: precipitación pluvial mensual en el estado
- 12) Temperatura promedio estatal (**tpEM.csv**): es de dimensión 32 por 372 y contiene las siguientes variables,  
*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana  
*Enero-1985 a Diciembre-2015*: temperatura promedio mensual en el estado
- 13) Temperatura máxima estatal (**tmEM.csv**): es de dimensión 32 por 372 y contiene las siguientes variables,  
*etiqueta de renglón*: nombre del estado de la República Mexicana  
*Enero-1985 a Diciembre-2015*: temperatura máxima mensual en el estado

## Bases de datos auxiliares

A partir de *Base\_Indice\_de\_marginacion\_estatal\_90-15.csv*, se crearon varias bases. Debido a que la variable IM no es comparable a lo largo del tiempo, se decidió utilizar la variable ANALF como un indicador de la marginación comparable a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se utilizó la variable de POB\_TOT como un indicador de los individuos en riesgo presentes en el tiempo, tanto a nivel nacional como estatal.

Tanto la variable ANALF como POB\_TOT están únicamente disponibles quinquenalmente para los años 1990, 1995, 2000, 2005, 2010 y 2015. Como la información de la morbilidad está disponible mensualmente, se decidió hacer una interpolación lineal de estas dos variables manteniendo el valor real registrado para los eneros de cada año.

Como resultado se generaron cuatro bases de datos más con la información de las variables ANALF y POB\_TOT interpolados mensualmente a nivel nacional (archivos *imiN.csv* y *pobiN.csv*) y a nivel estatal (archivos *imiE.csv* y *pobiE.csv*).

Los archivos electrónicos de las bases de datos originales obtenidas del SINAVE, del SAEH y de CONAPO, las 13 bases de datos creadas a nivel nacional y estatal, así como las cuatro bases de datos auxiliares, se anexan al presente documento.

### 3. Análisis exploratorio de la información

Antes de realizar cualquier tipo de análisis inferencial que permita determinar la asociación entre el número de casos registrados por cada una de los cuatro grupos de enfermedades y las variables de clima, se lleva a cabo un análisis exploratorio de la información.

En específico, se procurará hacer un análisis gráfico que dé una idea de la información contenida en las bases de datos creadas y de posibles asociaciones visuales entre variables. Se considera a cada uno de los cuatro grupos de enfermedades por separado, además de las variables auxiliares.

El código en R para la elaboración de las siguientes gráficas será proporcionado en archivos electrónicos.

#### 3.1 Enfermedades por calor y luz

A partir de la base de datos nacional *calorNM.csv* se presentan dos tipos de gráficas:

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional de 2014 a 2015. Las variables graficadas son número total de casos por efectos del calor y de la luz (*calor*); precipitación pluvial promedio (*pp*); temperatura promedio (*tp*); y temperatura máxima (*tm*). En esta gráfica se puede observar que la variable *calor* presenta dos ciclos anuales con los mismos patrones que la precipitación y la temperatura, tanto promedio como máxima.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan diagramas de dispersión múltiples entre las mismas cuatro variables. Cada punto de las gráficas corresponde a un mes, por lo que se tienen 24 puntos en cada panel. Se observa que la variable *calor* presenta una asociación lineal fuerte con las variables de precipitación y de temperatura. Adicionalmente, se puede observar que la variable de precipitación presenta una asociación lineal débil o moderada con las dos variables de temperatura. Sin embargo la asociación lineal entre las dos variables de temperatura, promedio y máxima, es bastante fuerte, lo que indica una alerta de posibles problemas de multicolinealidad al incluir ambas variables de temperatura en el mismo modelo. Todas estas relaciones lineales son positivas.

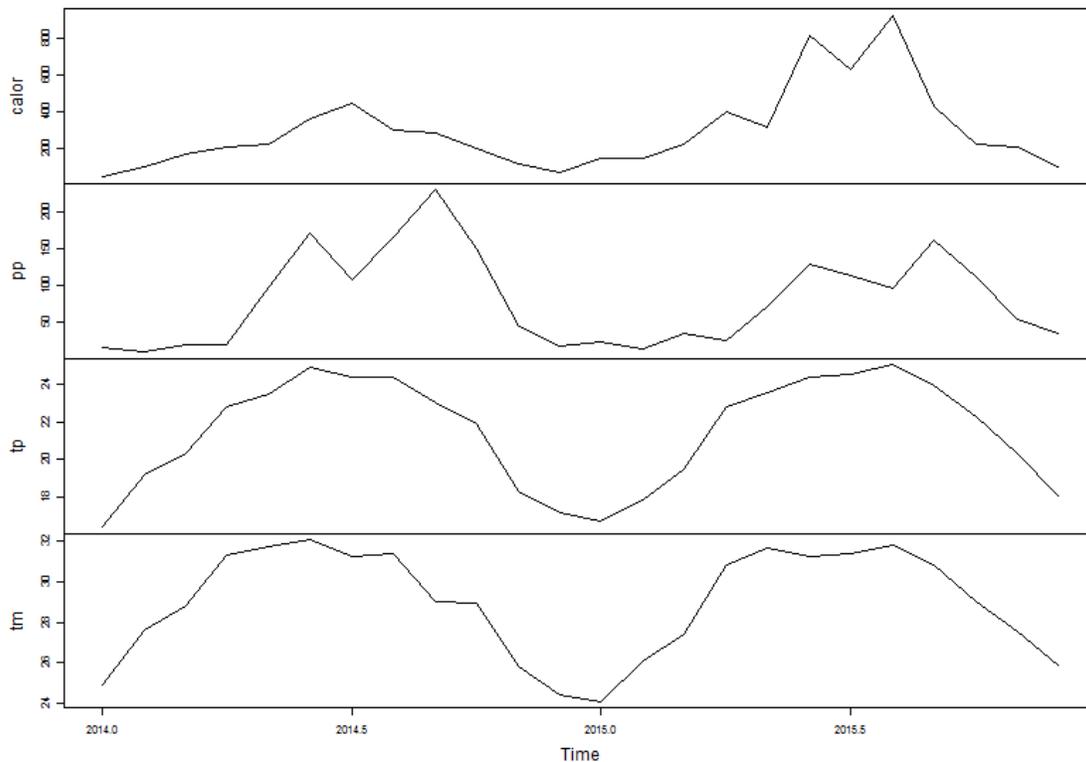
A partir de la base de datos estatal *calorEM.csv*, se presentan dos tipos de gráficas:

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran las 32 series de tiempo, una para cada estado, de las variables *calor*, *pp*, *tp* y *tm*. Además de la diversidad en las 32 series de tiempo de cada panel, se puede ver, por ejemplo, que referente a la variable *calor*, existen estados de la República Mexicana que no muestran claramente el patrón estacional anual, quizá porque presentan muy pocos casos. Por otro lado, en la variable de temperatura promedio (*tp*), se observa una diferencia máxima de aproximadamente 20 grados centígrados,

entre la temperatura menor y mayor registrada por los estados. Algo similar ocurre en las temperaturas máximas (tm).

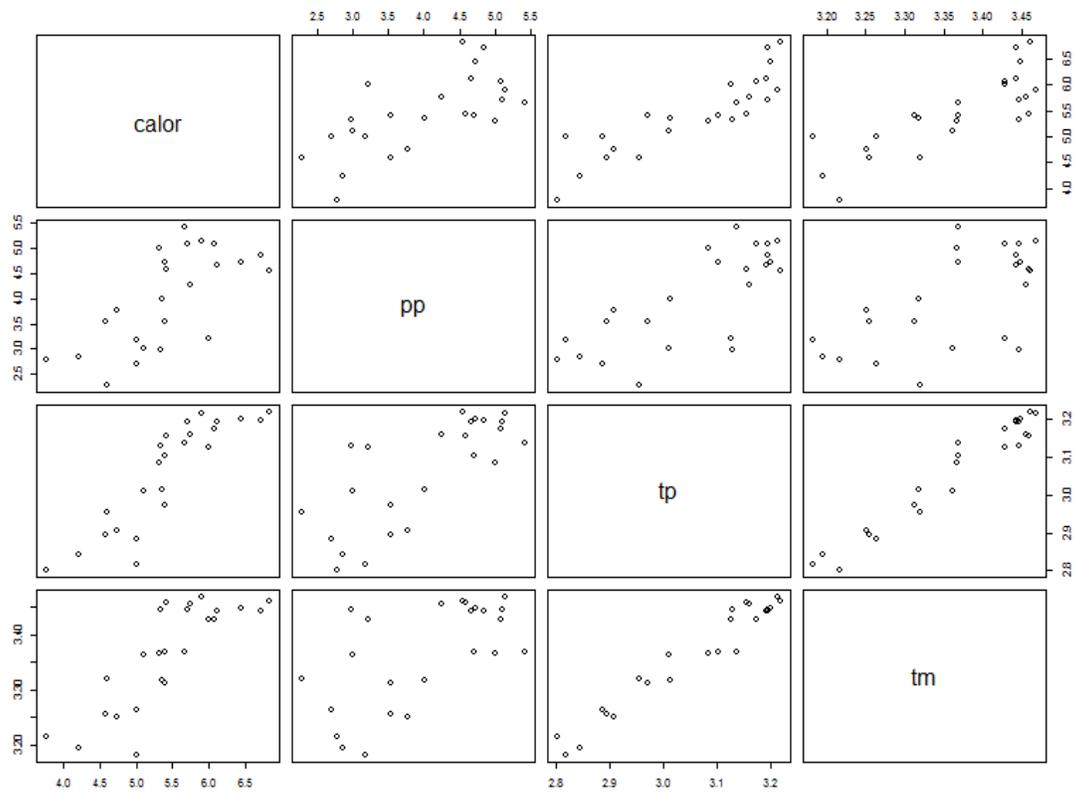
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un diagrama de barras con el porcentaje de casos por calor en los años 2014 y 2015, correspondientes a cada uno de los 32 estados de la República Mexicana. Se observa que los estados con más casos son Sonora (ID-26), Chiapas (ID-7) y Baja California (ID-2), seguidos de Oaxaca (ID-20), Sinaloa (ID-25) y Jalisco (ID-14). Los estados que menos casos de calor presentan son Durango (ID-10), Hidalgo (ID-13) y Tlaxcala (ID-29).

Figura 3-1 Series de tiempo nacionales mensuales de 2014 a 2015 para los casos totales por calor (calor), precipitación pluvial (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



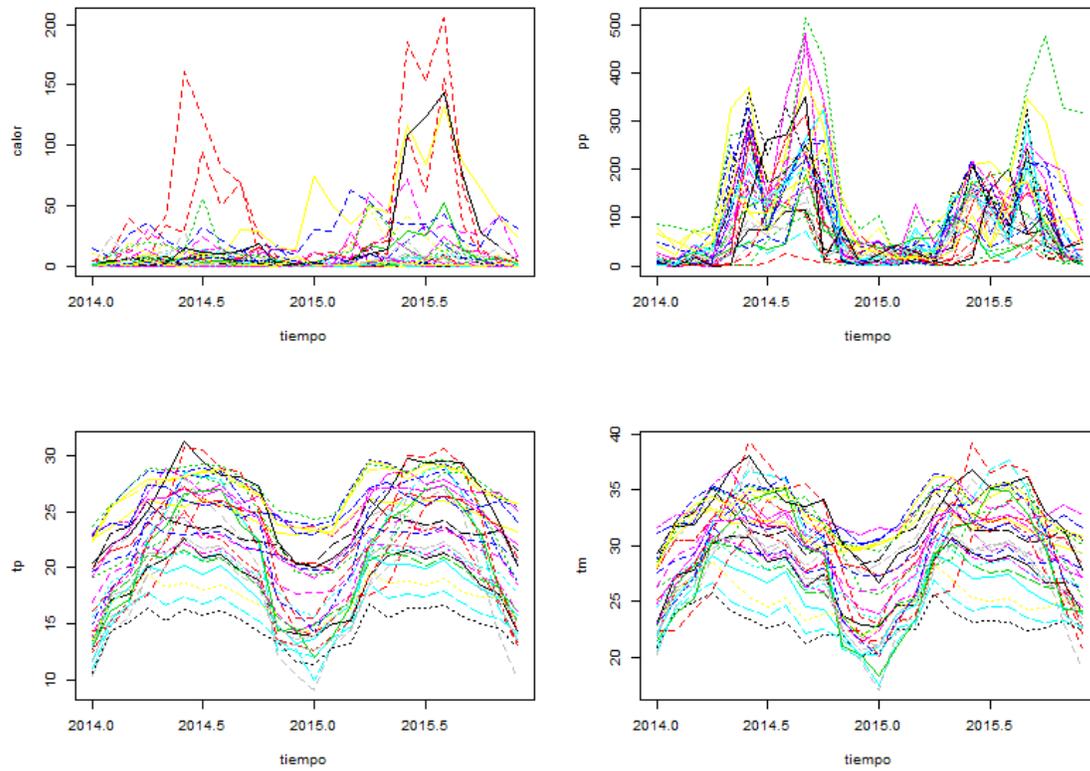
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-2. Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales por calor (calor), precipitación pluvial (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



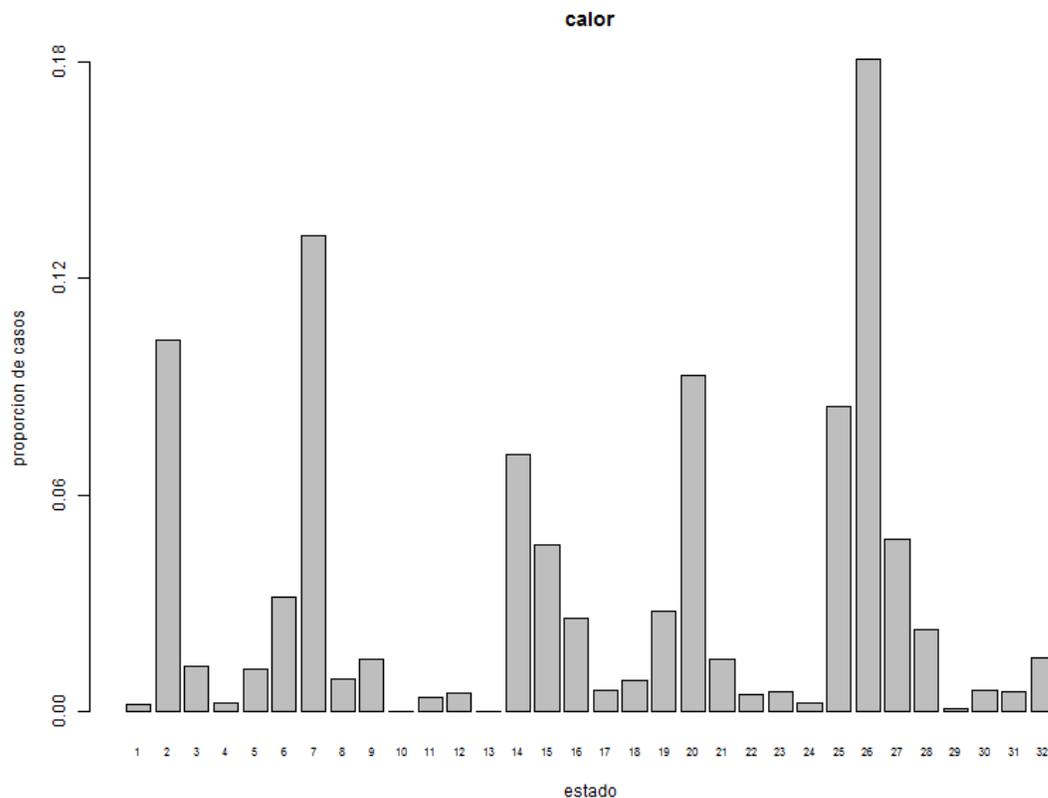
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-3 Series de tiempo estatales mensuales de 2014 a 2015 para los casos por calor (calor), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-4. Porcentaje de casos totales (calor) de 2014 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.



Fuente: Elaboración propia.

## 3.2 Enfermedades gastrointestinales

Con la base de datos nacional *gastroNM.csv*, se generan tres figuras explicativas:

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional para los años de 1985 a 2015. Las variables graficadas son número total de casos por amebiasis, cólera, tifoidea, infección, intoxicación, salmonelosis y shigelosis. Para algunas enfermedades no se cuenta con información en algunos años, ya sea porque no se registraba o porque no se observó ningún caso. Las enfermedades dominantes son las infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas (infección). La que menos casos presenta es cólera, con registros únicamente de 1991 a 1997. Los casos de tifoidea muestran un comportamiento interesante, de 1985 hasta el 2003 se tenían alrededor de 1000 casos mensuales, pero a partir del 2004 se cuatuplicaron. La intoxicación alimentaria bacteriana

(intoxicación), por su parte, presenta un pico a principios del 2012. Lo interesante es que todas estas enfermedades gastrointestinales presentan un comportamiento estacional con ciclo anual.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional de 1991 a 2015. Se decidió excluir los primeros 6 años porque no se tenían registros de todas las enfermedades. Las variables graficadas son: número total de casos para todas las enfermedades agregadas (*gastro*), precipitación pluvial promedio (*pp*), temperatura promedio (*tp*) y temperatura máxima (*tm*). Aquí se observa, claramente, que los ciclos anuales de los casos gastrointestinales corresponden con los ciclos de las variables de clima. Adicionalmente, se observa que en el ciclo de diez años de 1995 a 2004, los casos subieron monótonamente hasta alcanzar un máximo a mitad del ciclo y regresaron a un nivel constante a partir del 2005. El ciclo grande de diez años no se volvió a presentar en la siguiente década.

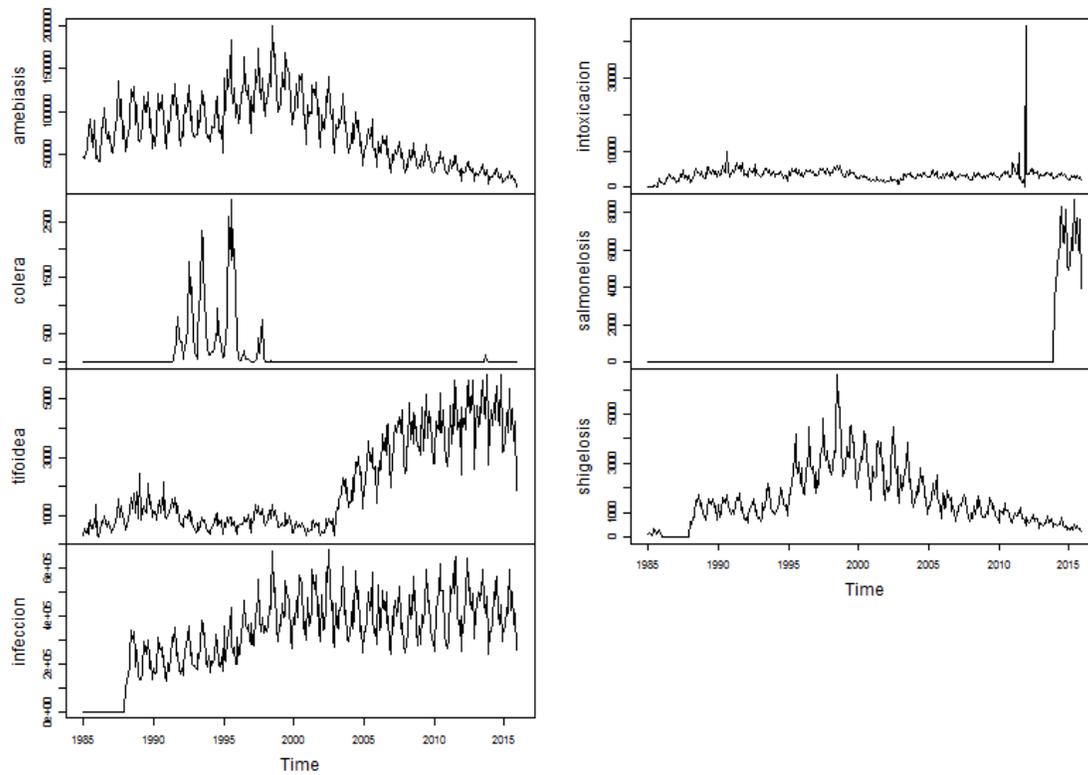
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan diagramas de dispersión múltiple entre las mismas cuatro variables de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se observa una relación lineal débil entre los casos totales (*gastro*) con la precipitación pluvial, y una relación lineal moderada con las variables de temperatura. Nuevamente, se observa una relación lineal extremadamente alta entre la temperatura promedio y la máxima. Todas estas relaciones lineales son positivas.

A partir de la base de datos estatal *gastroEM.csv*, se generan las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan las 32 series de tiempo, una para cada estado, de las variables *gastro*, *pp*, *tp* y *tm* de 1991 a 2015. Además de la diversidad en las 32 series de tiempo de cada panel, es de notarse que en el caso de la variable *gastro* hay una entidad que presenta un pico muy grande a principios de 1995, la Ciudad de México. Antes de 1994 su promedio era de alrededor de 22,000 casos mensuales, y en enero de 1995 subieron los casos a 167,000. En la variable de temperatura promedio (*tp*) se observa una diferencia máxima de, aproximadamente, 23 grados centígrados entre la temperatura menor y mayor registrada en los estados.

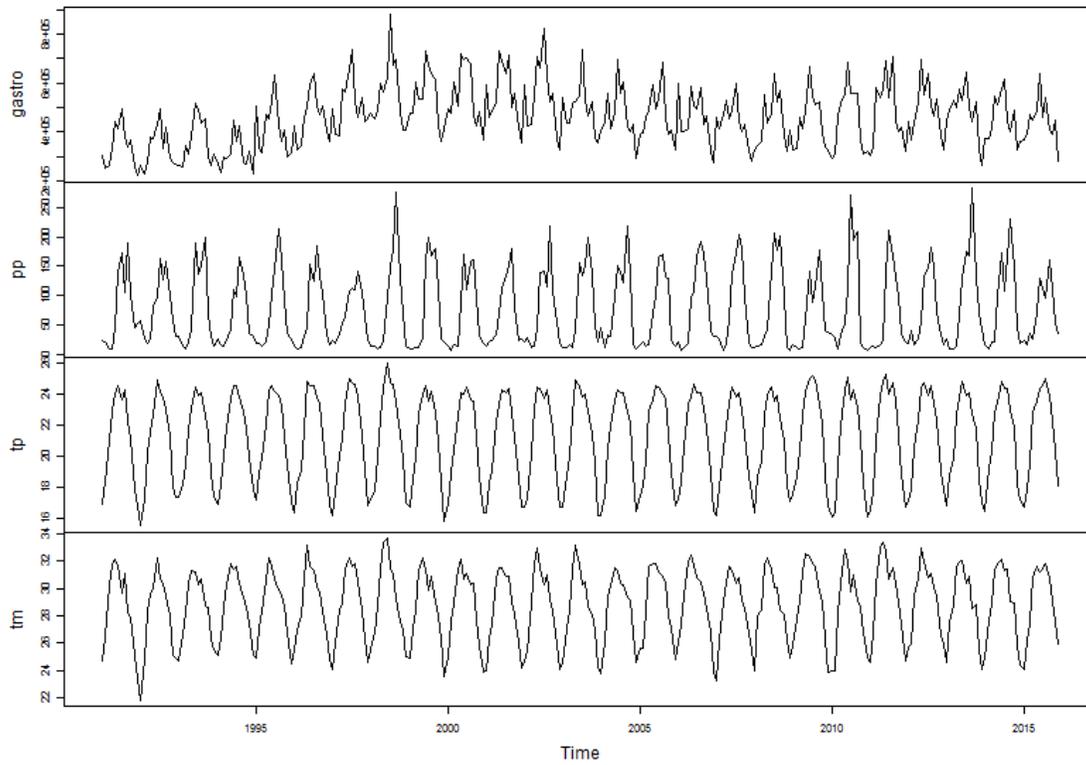
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta un diagrama de barras con el porcentaje de casos gastrointestinales (*gastro*) en el período de 1991 a 2015, que corresponden a cada uno de los 32 estados de la República Mexicana. Se observa que en todos los estados se presentan casos de esta enfermedad y resaltan el Estado de México (ID-15), Distrito Federal (ID-9), Jalisco (ID-14) y Veracruz (ID-30). Los estados que menos casos presentan de esta enfermedad son Baja California Sur (ID-3) y Colima (ID-6).

Figura 3-5. Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables amebiasis, cólera, tifoidea, infección, intoxicación, salmonelosis y shigelosis.



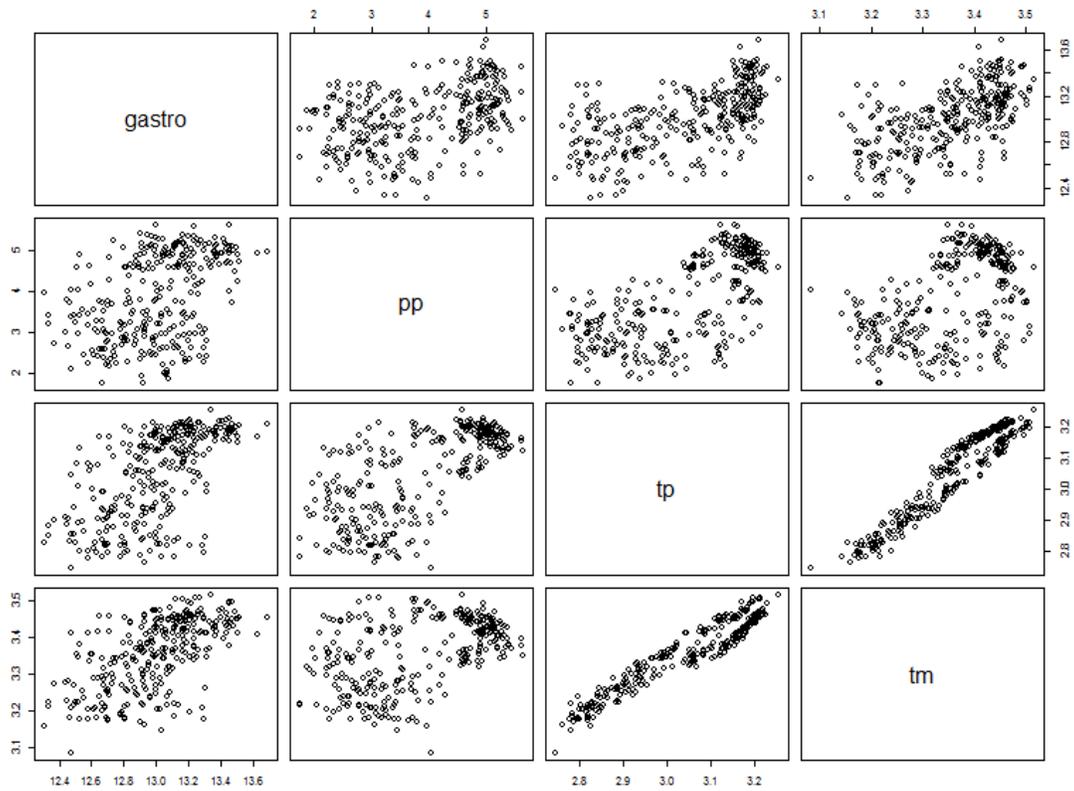
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-6. Series de tiempo nacionales mensuales de 1991 a 2015 para los casos totales (gastro), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



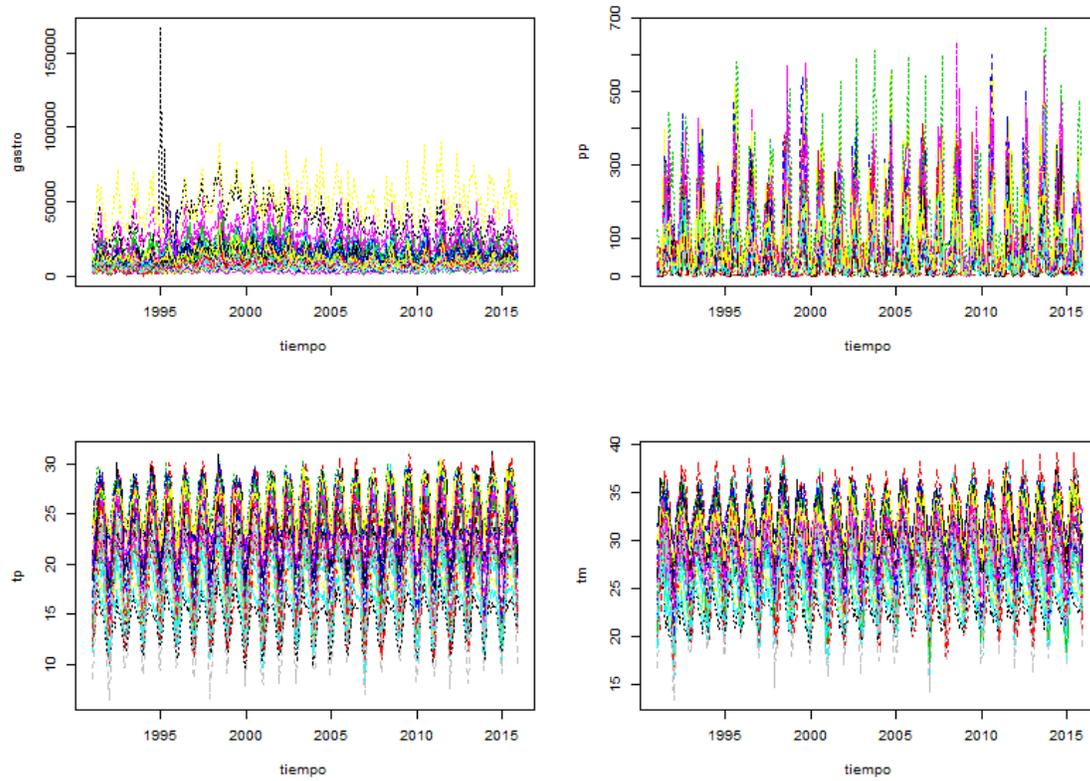
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-7. Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (gastro), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



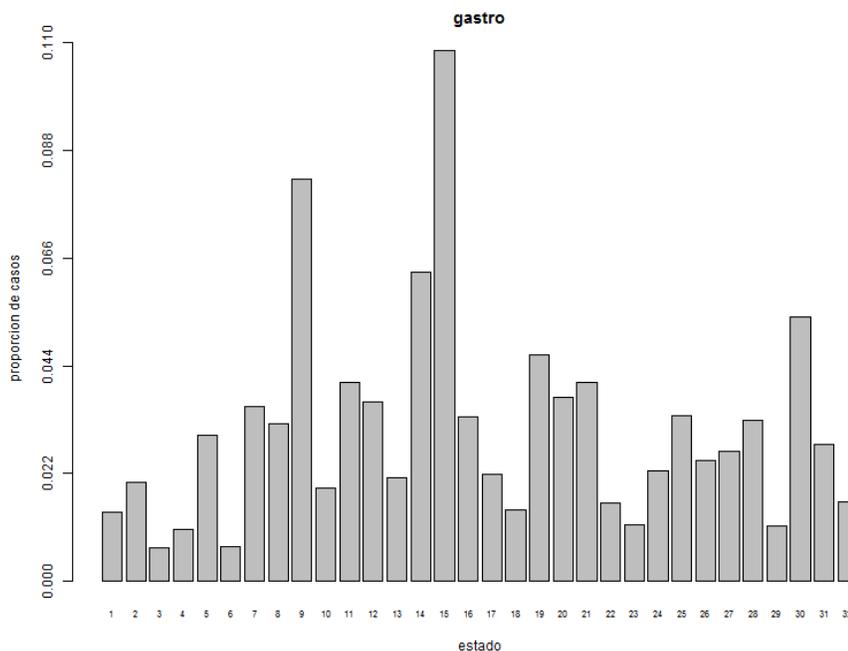
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-8. Series de tiempo estatales mensuales de 1991 a 2015 para los casos totales (gastro), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-9. Porcentaje de casos totales (gastro) de 1991 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Enfermedades respiratorias

A partir de la base de datos nacional *respNM.csv* se presentan tres tipos de gráficas:

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional de 1985 a 2015. Las variables graficadas son: número total de casos por asma, faringitis, infecciones respiratorias agudas, influenza y neumonía. La enfermedad dominante son las infecciones respiratorias agudas (infresp) las cuales presentan un aumento considerable a partir de 1995. Los casos de asma se comenzaron a registrar a partir de 1995, con muy poca recurrencia el primer año. Los casos de faringitis presentan un repunte desde finales de 2002 hasta la mitad de 2004. La variable de influenza presentada, agrega a cuatro tipos de enfermedades del catálogo (influenza, influenza AH1N1, influenza debido a virus no identificados e influenza virus de influenza identificado). Ésta presenta un comportamiento particular, ya que de 1997, y hasta el 2008 no se tienen registros en el sistema SINAVE y es a partir del 2009 que se vuelven a presentar los casos, con un pico fuerte debido a la epidemia. Lo interesante es que todas estas enfermedades respiratorias presentan también un comportamiento estacional con ciclo anual.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional, de 1995 a 2015. Se decidió excluir los primeros 10 años porque no se tenían registros de todas las enfermedades. Las variables graficadas son: número total de casos si se agregan todas las enfermedades (*resp*), precipitación pluvial promedio (*pp*), temperatura promedio (*tp*) y temperatura máxima (*tm*). Aquí se observa que los ciclos anuales de los casos de enfermedades respiratorias corresponden con los ciclos de las variables de clima, pero de manera invertida, es decir, cuando la temperatura y la precipitación toman sus valores más altos, el número de casos (*resp*) toma sus valores más bajos. Adicionalmente, como en el asunto de las enfermedades gastrointestinales, se aprecia que existe un ciclo de ocho años, de 1997 a 2004, en el cual los casos subieron ligeramente hasta alcanzar un máximo a mitad del ciclo y regresaron a un nivel constante a partir del 2005. Este ciclo de ocho años no se volvió a presentar en el futuro.

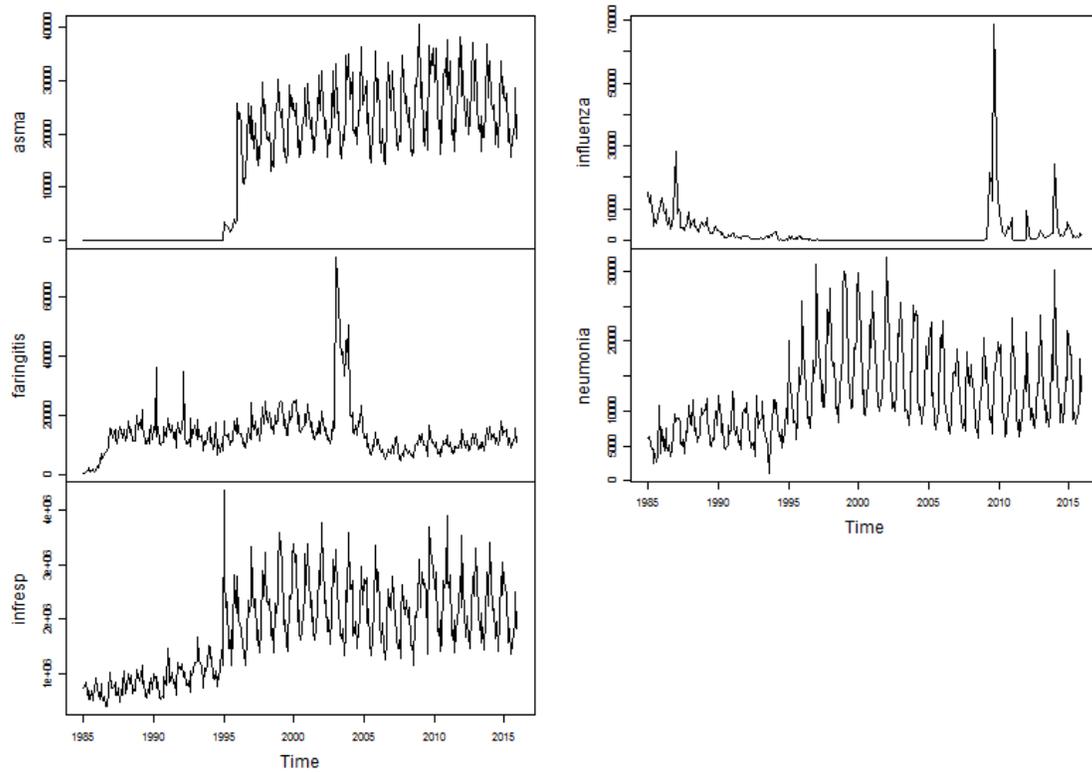
La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra diagramas de dispersión múltiple entre las mismas cuatro variables de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Se observa una relación lineal moderada entre los casos totales (*resp*) con la precipitación pluvial, y una relación lineal relativamente fuerte con las variables de temperatura. A diferencias de los dos grupos de enfermedades anteriores, calor y gastro, la relación lineal mostrada es negativa.

A partir de la base de datos estatal *respEM.csv* se obtienen las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las 32 series de tiempo, una para cada estado, de las variables *resp*, *pp*, *tp* y *tm* de 1995 a 2015. Además de la diversidad en las 32 series de tiempo de cada panel, es de notarse que en el caso de la variable *resp*, de nuevo la Ciudad de México presenta un pico muy grande a principios de 1995. En enero de 1995 se registraron casi 2 millones, mientras que el promedio mensual a partir de 1996 fue de alrededor de 200 mil casos. En la variable de temperatura promedio (*tp*), se observa una diferencia máxima de aproximadamente 23 grados centígrados, entre la temperatura menor y mayor registrada por los estados en estos años.

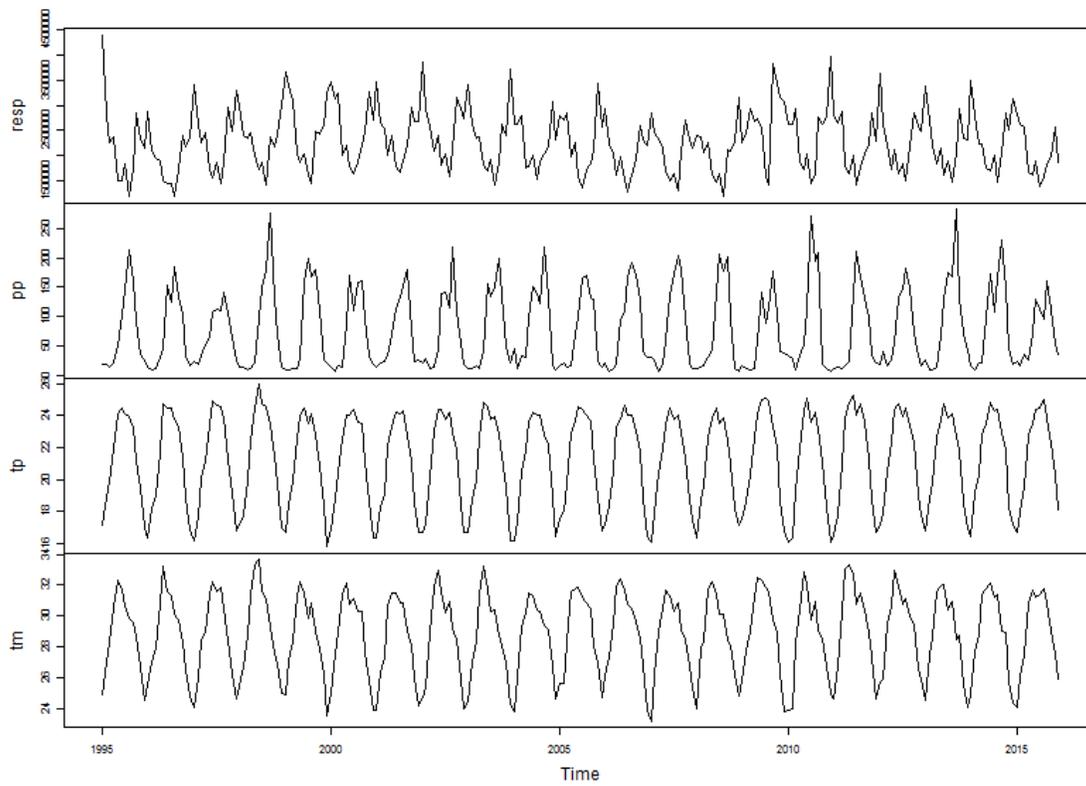
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un diagrama de barras con el porcentaje de casos de enfermedades respiratorias (*resp*) de 1995 a 2015 para cada uno de los 32 estados de la República Mexicana. Se observa que en todos los estados se presentan casos de esta enfermedad, y destacan el Estado de México (ID-15) y la Ciudad de México (ID-9); en segundo lugar están Jalisco (ID-14), Veracruz (ID-30), Nuevo León (ID-19) y Guanajuato (ID-11). Los estados que menos casos presentan de esta enfermedad son Baja California Sur (ID-3) y Colima (ID-6).

Figura 3-10 Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables asma, faringitis, infresp, influenza y neumonía.



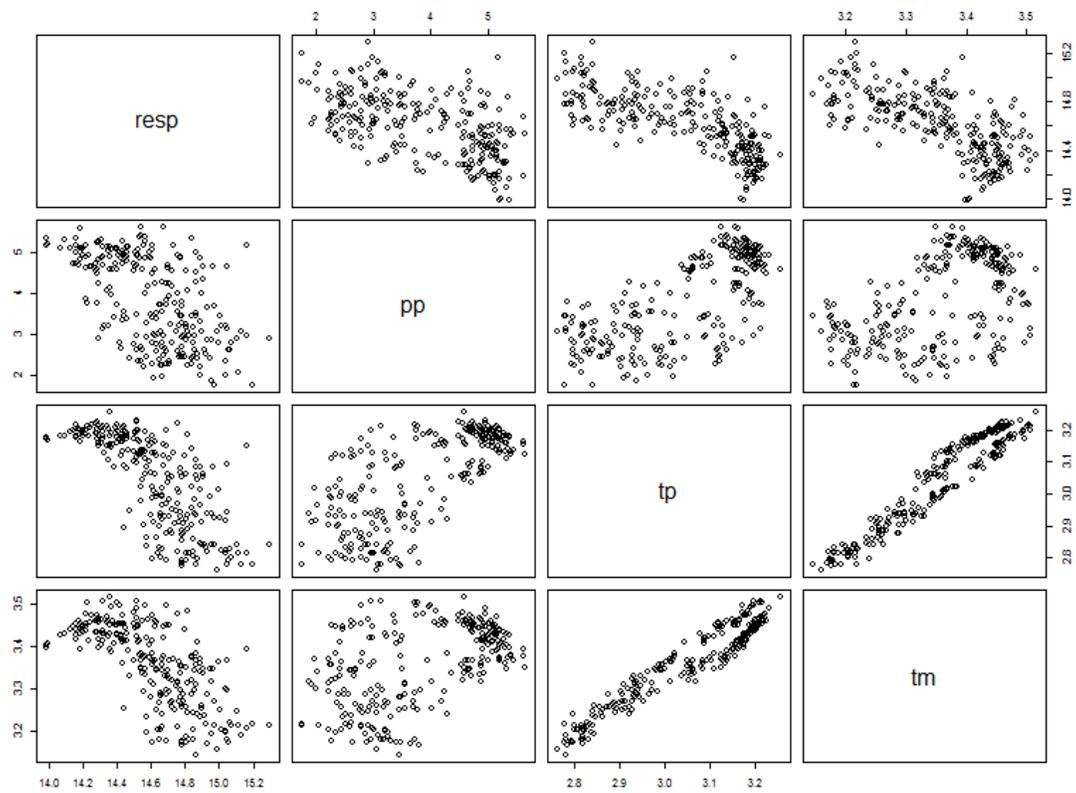
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-11 Series de tiempo nacionales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (resp), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



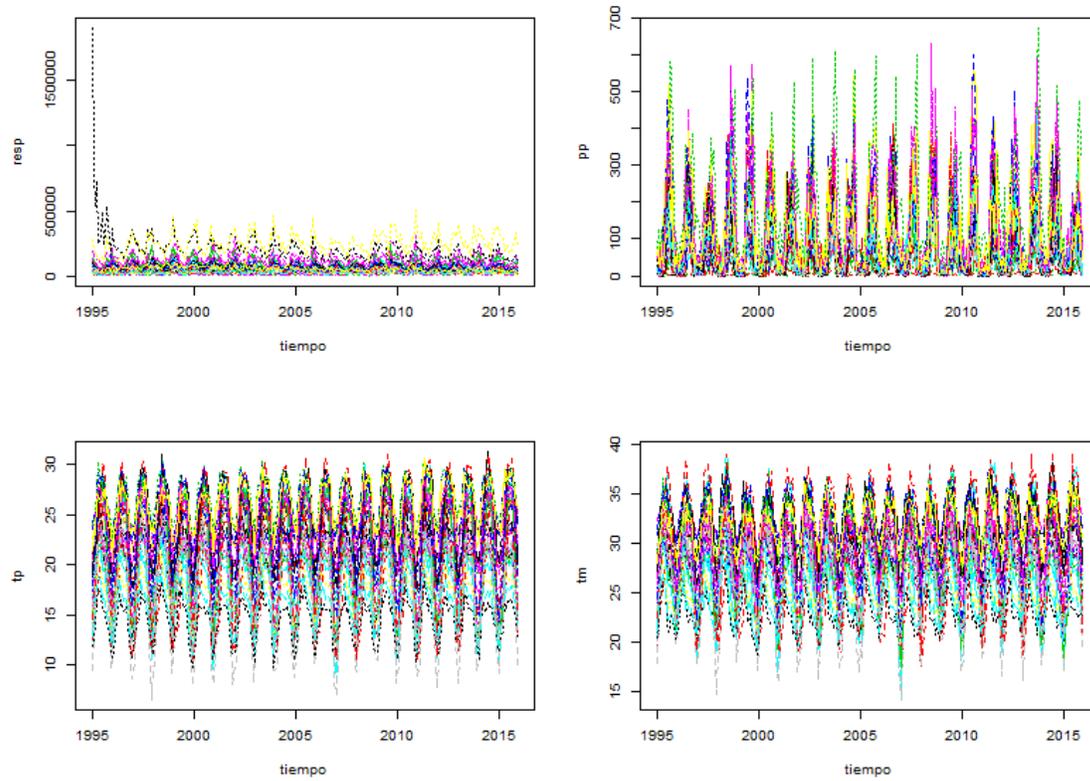
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-12 Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (resp), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



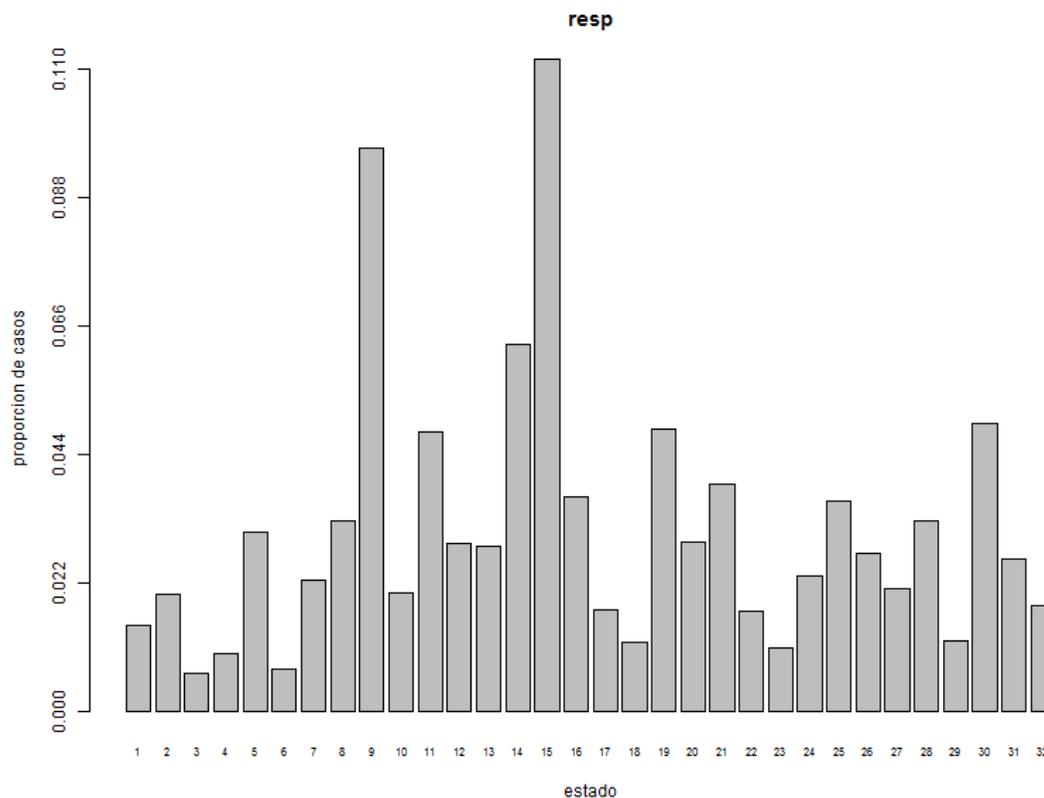
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-13 Series de tiempo estatales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (resp), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-14 Porcentaje de casos totales (resp) de 1995 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.4 Enfermedades transmitidas por vector

De acuerdo con la base de datos nacional *vectorNM.csv*, se presentan los siguientes resultados:

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional, de 1985 a 2015. Las variables graficadas son: número total de casos por chikungunya, dengue, leishmaniasis, paludismo y zika. En este caso, no existe una sola enfermedad dominante durante todo el tiempo reportado. El paludismo tuvo un auge en los últimos 5 años de la década de los 80 y a partir de los 90 fue desapareciendo, hasta llegar a casi extinguirse a partir del año 2000. Por otra parte, el dengue tuvo un pequeño brote en los últimos 5 años de la década de los 90 y ha crecido gradualmente a partir del año 2000. La enfermedad leishmaniasis, que agrega los tres tipos del catálogo (cutánea, cutánea americana y visceral), ha tenido un comportamiento más o menos estable, con alrededor de 50 casos promedio por año. Finalmente, las enfermedades de chikungunya y zika son muy nuevas, y

sólo se tienen registros de ellas a partir del 2015. Todas estas enfermedades, transmitidas por vector, presentan también un comportamiento estacional con ciclo anual.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales, a nivel nacional, de 1995 a 2015. Se decidió excluir los primeros 10 años porque no se tenían registros de todas las enfermedades. Las variables graficadas son: número total de casos de todas las enfermedades (vector), precipitación pluvial promedio (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm). Aquí se observa, claramente, que los ciclos anuales de los casos de enfermedades respiratorias corresponden con los ciclos de las variables de clima, y las crestas de la variable vector son del mismo tamaño a lo largo de los años.

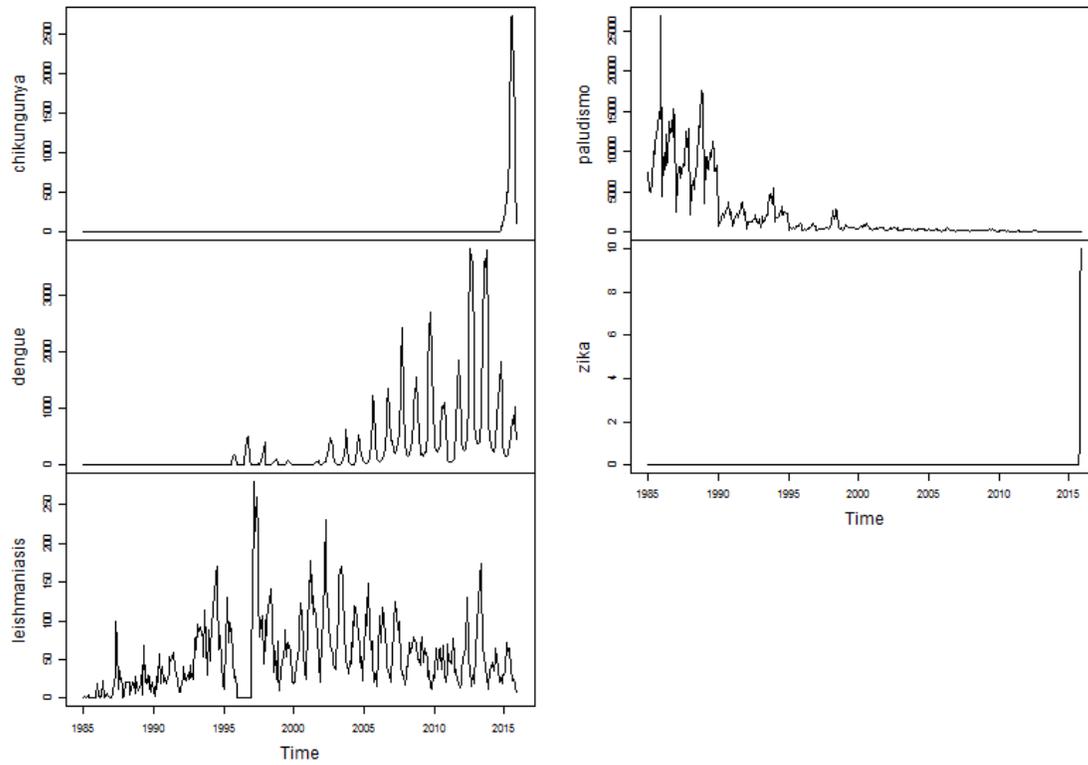
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan diagramas de dispersión múltiple entre las mismas cuatro variables de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Se observa una relación lineal moderada entre los casos totales (vector) con la precipitación pluvial, y una relación lineal débil con las variables de temperatura. Todas estas relaciones lineales son positivas.

A partir de la base de datos estatal *vectorEM.csv*, se presentan dos figuras:

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestran las 32 series de tiempo, una para cada estado, de las variables vector, *pp*, *tp* y *tm* en los años 1995 a 2015. Además de la diversidad en las 32 series de tiempo de cada panel, en el caso de la variable vector hay estados que presentan muy pocos casos de esta enfermedad, así como un estado que presenta un pico en el año de 1998. Se trata de Oaxaca, que durante los meses de marzo, junio y julio de 1998, registró casi 2,500 casos mensuales de esta enfermedad. Otro estado que destaca es Veracruz, que de agosto a octubre del año 2012, tuvo poco más de mil casos al mes.

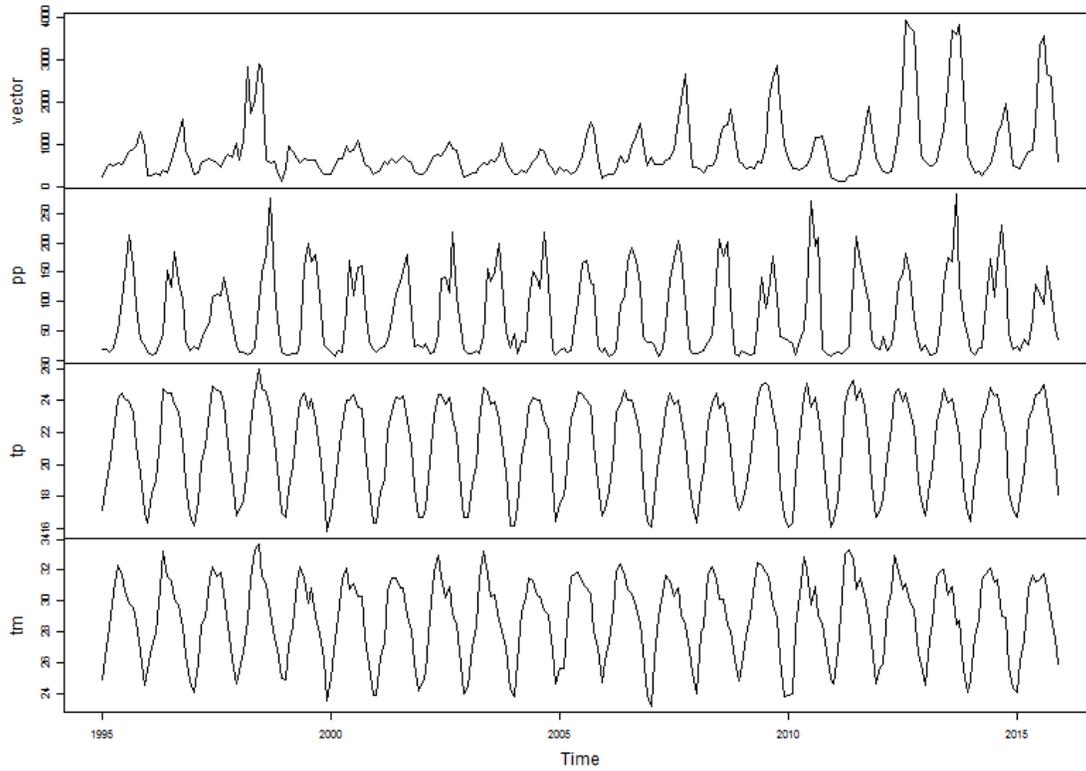
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta un diagrama de barras con el porcentaje de casos totales (vector) en los años 1995 a 2015, que corresponden a cada uno de los 32 estados de la República Mexicana. A diferencia de las demás enfermedades que presentan casos en todos los estados, hubo dos estados que no tienen ningún caso registrado en su historia, se trata de Tlaxcala y Zacatecas. Hay otros dos estados con menos de 10 casos, Baja California (ID-2) con 2 casos, Distrito Federal (ID-9) con 4 casos y Aguascalientes (ID-1) con 5 casos. Por otro lado, hay tres estados que destacan del resto ya que presentan la mayor cantidad de casos, Chiapas (ID-7), Oaxaca (ID-20) y Veracruz (ID-30).

Figura 3-15. Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables chikungunya, dengue, leishmaniasis, paludismo y zika.



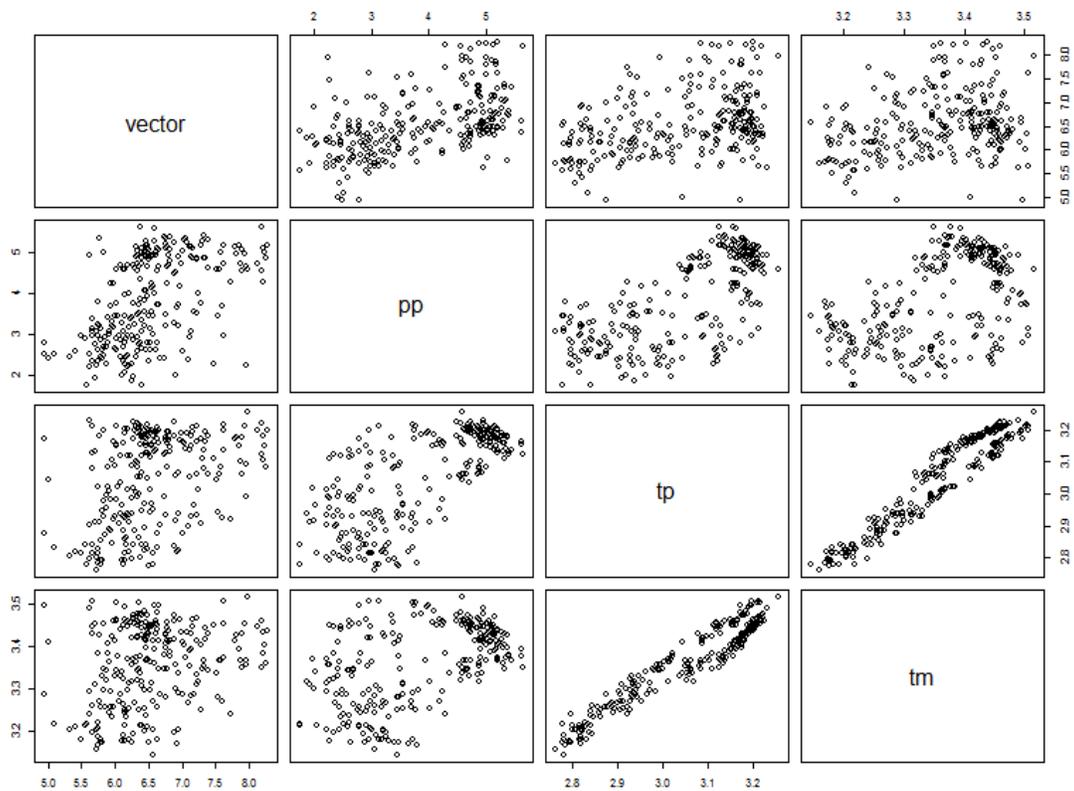
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-16. Series de tiempo nacionales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



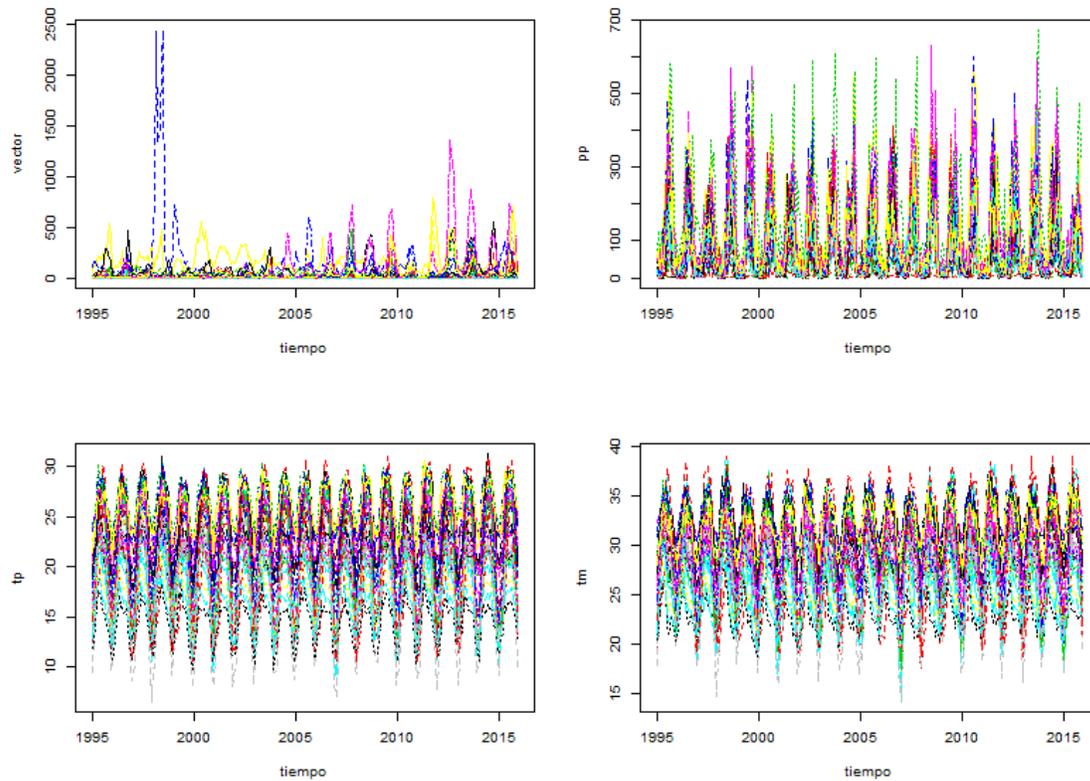
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-17. Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



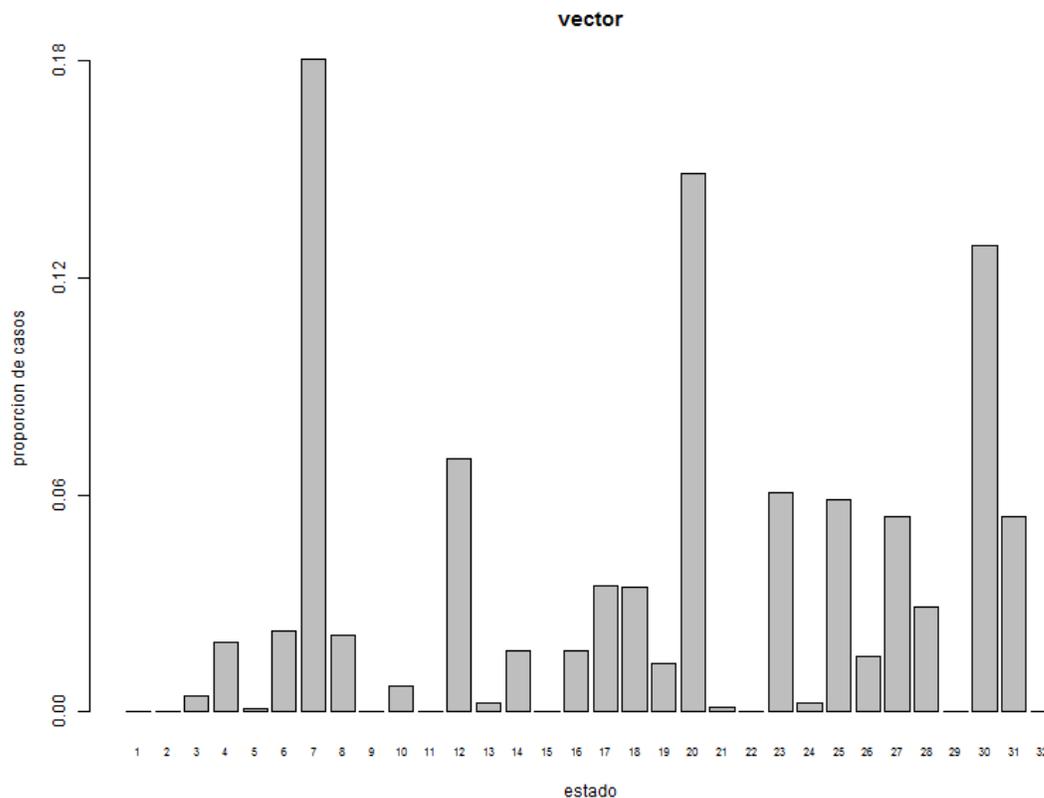
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-18. Series de tiempo estatales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-19. Porcentaje de casos totales (vector) de 1995 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.5 Enfermedades cardiovasculares

A partir de la base de datos nacional *cardioNM.csv*, se generan tres gráficas:

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional, de 1985 a 2015. Las variables graficadas son: número total de casos por isquemia e hipertensión. De estas dos enfermedades, la que más casos presenta es la hipertensión arterial (hipertensión), que desde 1985 ha presentado un crecimiento monótono hasta el año 2005, a partir de entonces se mantuvo constante por cerca de seis años y en los últimos cuatro ha disminuido. Los casos de enfermedad isquémica del corazón (isquemia), no se registraban antes de 1995 y desde ese año se han mantenido en alrededor de 4,000 casos promedio por mes. A diferencia de los cuatro grupos de enfermedades anteriores, estas dos enfermedades no presentan un comportamiento estacional, sino muy errático.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra las series de tiempo mensuales a nivel nacional, de 1995 a 2015. Se decidió excluir los primeros 10 años porque no se tenían registros de todas las enfermedades. Las variables graficadas son número total de casos de las enfermedades (*cardio*), precipitación pluvial promedio (*pp*), temperatura promedio (*tp*) y temperatura máxima (*tm*). Aquí, se observa que los casos totales (*cardio*) no presentan un comportamiento estacional relacionado con los ciclos de la precipitación y la temperatura. Se pudiera pensar que el comportamiento de los casos (*cardio*) obedece a una conjunción de muchos otros factores, que no son exclusivos de las variables de clima, como los efectos de la contaminación o la genética misma de las personas.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan diagramas de dispersión múltiple entre las mismas cuatro variables de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. Se confirma que no existe relación alguna (lineal o no lineal) entre los casos totales (*cardio*) y las variables de clima.

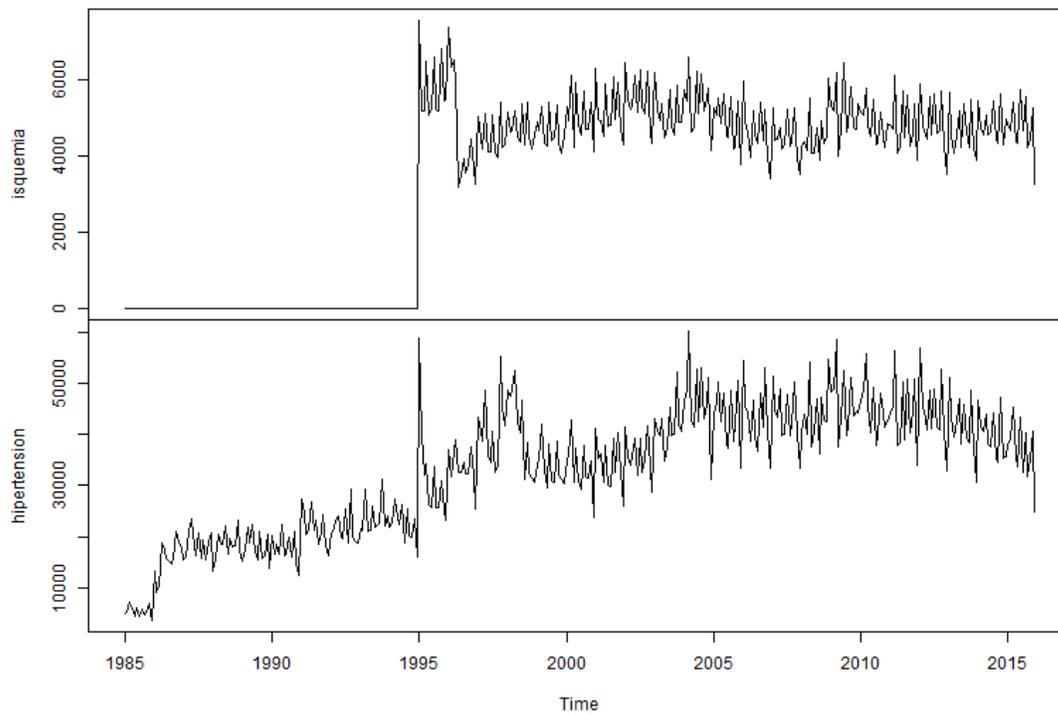
A partir de la base de datos estatal *cardioEM.csv*, se generan dos gráficas:

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las 32 series de tiempo, una para cada estado, de las variables *cardio*, *pp*, *tp* y *tm* en los años 1995 a 2015. Además de la diversidad en las 32 series de tiempo de cada panel, es de notarse que en el caso de la variable *cardio*, hay una entidad que presenta un pico muy grande a principios de 1995, la Ciudad de México, que en enero de 1995 presentó un poco más de 30 mil casos de enfermedades cardiovasculares.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta un diagrama de barras con el porcentaje de casos totales (*cardio*), en los años 1995 a 2015, que corresponden a cada uno de los 32 estados de la República Mexicana. Se observa que en todos los estados se presentan casos de esta enfermedad, y la frecuencia es mayor en el Estado de México (ID-15), Jalisco (ID-14) y el Distrito Federal (ID-9). El estado que menos casos presentó es Colima (ID-6).

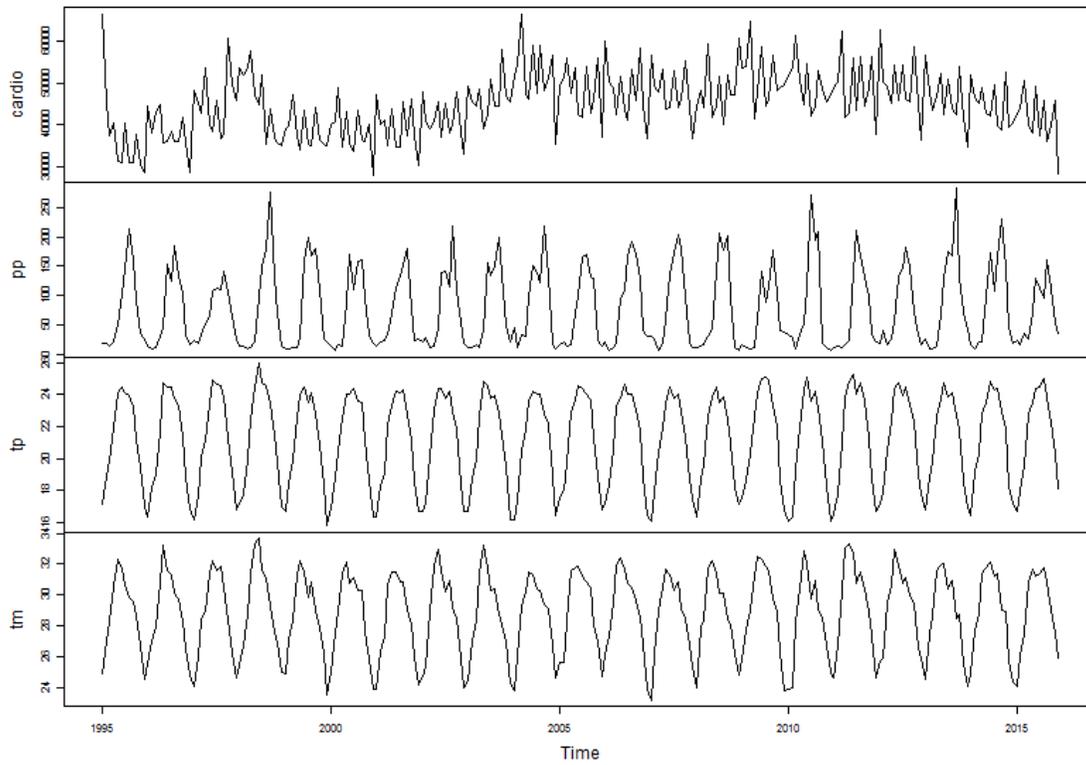
Debido a que la variable que agrupa los casos totales (*cardio*) no muestra ningún tipo de asociación con las variables de clima, este grupo de enfermedades no se considerará para el análisis inferencial que se presenta en la siguiente sección.

Figura 3-20 Series de tiempo nacionales mensuales de 1985 a 2015 para las variables isquemia e hipertensión.



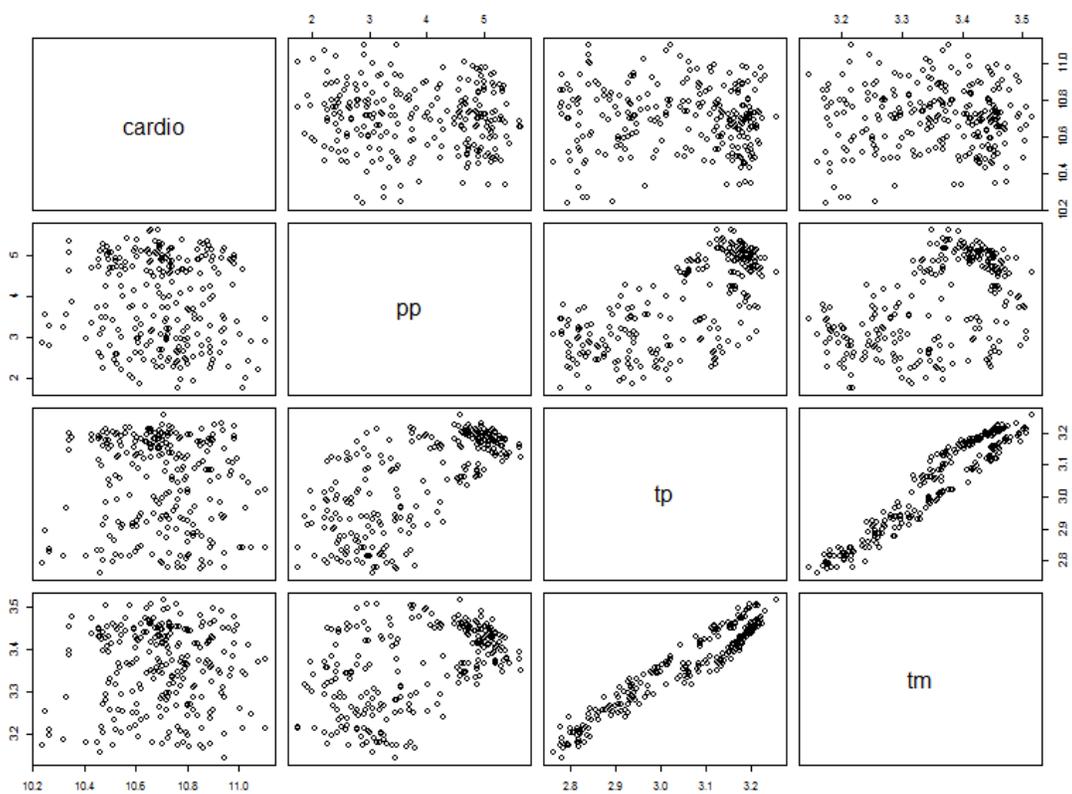
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-21. Series de tiempo nacionales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (vector), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



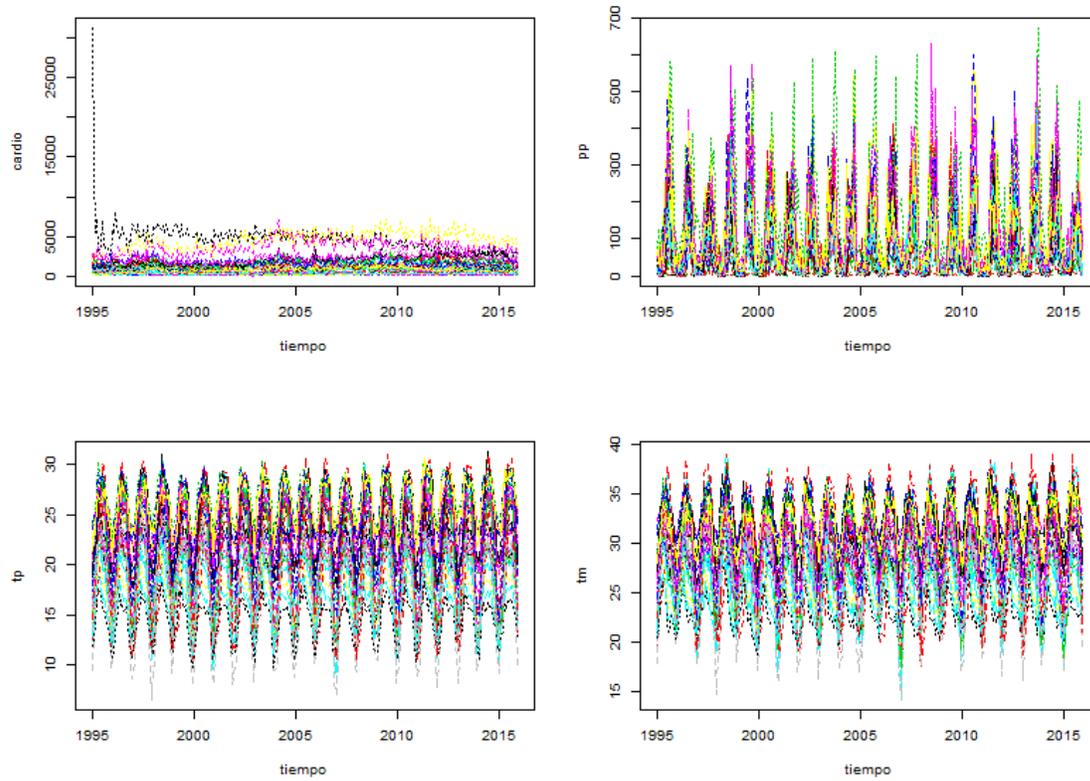
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-22 Diagramas de dispersión múltiples nacionales entre los casos totales (cardio), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



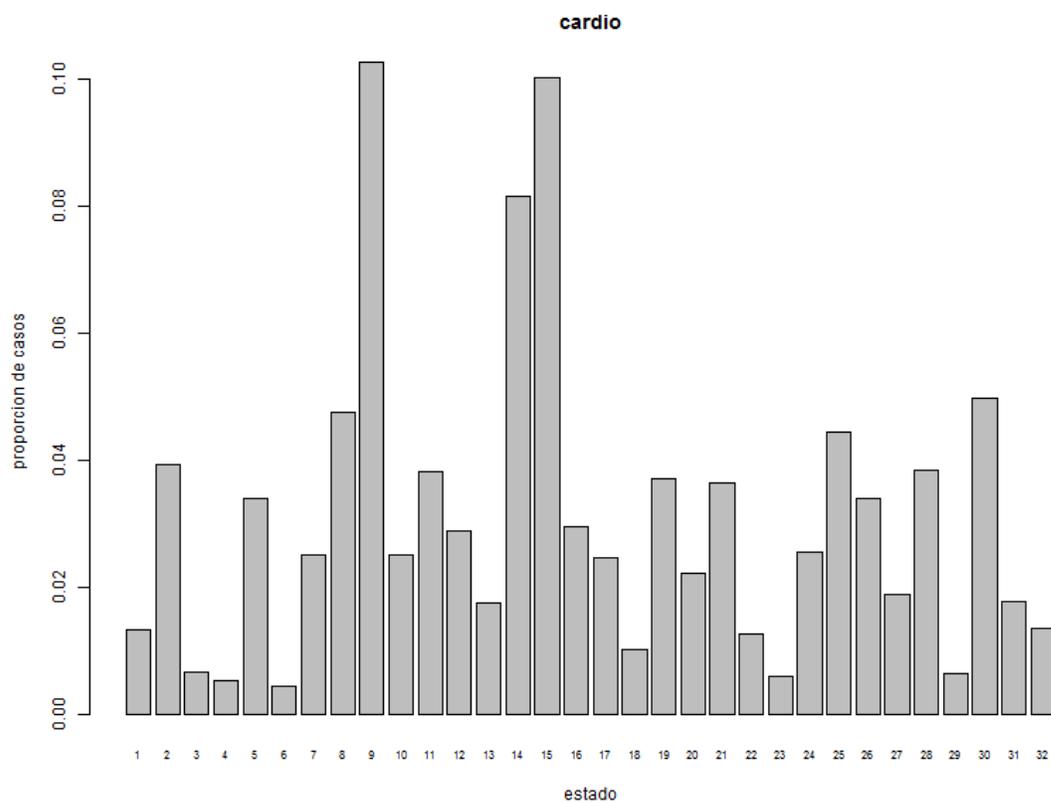
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-23 Series de tiempo estatales mensuales de 1995 a 2015 para los casos totales (cardio), precipitación (pp), temperatura promedio (tp) y temperatura máxima (tm).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-24. Porcentaje de casos totales (cardio) de 1995 a 2015 provenientes de cada uno de los 32 estados del país. Los números en el eje horizontal identifican al estado.



Fuente: Elaboración propia.

## 4. Análisis inferencial de la información

Después de la revisión gráfica de la información con que se cuenta, se elaboran modelos estadísticos y econométricos que permitan cuantificar la posible relación entre los casos registrados de los cuatro grupos de enfermedades, con las variables de clima. Debido a la alta correlación lineal que presentaron las variables de temperatura promedio y temperatura máxima, se decidió no considerar la temperatura máxima en los análisis inferenciales, para evitar problemas de multicolinealidad.

Los modelos a utilizar pertenecen a la clase de los lineales generalizados, y el enfoque de inferencia será bayesiano (Nieto Barajas & de Alba, 2014). Es decir, se utilizan distribuciones iniciales que reflejen el conocimiento sobre la incertidumbre inicial de los parámetros desconocidos del modelo, y se combinarán éstas con la información proveniente de los datos resumida en la función de verosimilitud. Esta combinación se hace a través del *Teorema de Bayes*, con el que se obtiene una distribución o conocimiento final sobre los parámetros del modelo. En todos los modelos de este estudio se usarán distribuciones iniciales no informativas o vagas, para que las inferencias obtenidas con las distribuciones finales dependan exclusivamente de los datos. Estos modelos serán ajustados en el paquete *openbugs* (<http://www.openbugs.net/w/FrontPage>), el cual es de distribución libre, a través de **R**. El código tanto en *openbugs* como en **R** será proporcionado en archivos electrónicos.

Es natural pensar que el tamaño de la población juega un papel importante en el número de casos registrados de cierta enfermedad, ya que entre mayor sea el número de personas en riesgo, mayor es el número de casos. Por ejemplo, para las enfermedades gastrointestinales y respiratorias, la Ciudad de México y el Estado de México fueron los dos estados con más casos registrados, esto se debe a que en ellos vive más gente, es decir, hay más individuos en riesgo por la enfermedad. Por lo tanto, en todos los modelos propuestos se toma en cuenta el tamaño de la población.

### 4.1 Modelos nacionales por enfermedad

Se consideran, primero, modelos para el total de casos nacionales por enfermedad. Para la formulación de los mismos se tienen las siguientes definiciones:

- $Y_t$  = casos totales nacionales por enfermedad en el mes  $t$
- $Pob_t$  = población total nacional en el mes  $t$
- $pp_t$  = precipitación pluvial promedio nacional en el mes  $t$
- $tp_t$  = temperatura promedio nacional en el mes  $t$
- $t = 1, \dots, T$  con  $T$  para número total de meses disponibles en cada enfermedad

$Y_t$  será la variable respuesta;  $Pob_t$  determinará la población en riesgo y jugará el papel de un compensador que en inglés se conoce como *offset*; la precipitación pluvial,  $pp_t$ , y la temperatura promedio,  $tp_t$ , serán las variables explicativas.

Se proponen los siguientes modelos:

### Modelo de regresión *Poisson* nacional

$$Y_t \sim \text{Poisson}(Pob_t \lambda_t)$$

dónde

$$\log(\lambda_t) = \alpha + \beta_1 pp_t + \beta_2 tp_t$$

- $\lambda_t$  es la tasa de mortalidad relativa a la población en riesgo en el mes  $t$
- $\alpha$  es el efecto global medio del logaritmo de la tasa
- $\beta_1$  es el efecto de la precipitación pluvial sobre el logaritmo de la tasa
- $\beta_2$  es el efecto de la temperatura promedio sobre el logaritmo de la tasa

### Modelo de regresión *Normal* nacional

$$\log(Y_t) \sim \text{Normal}(\log(Pob_t) + \log(\lambda_t), \tau)$$

dónde

$$\log(\lambda_t) = \alpha + \beta_1 \log(pp_t) + \beta_2 \log(tp_t)$$

- $\lambda_t$  es la tasa de mortalidad relativa a la población en riesgo en el mes  $t$
- $\alpha$  es el efecto global medio del logaritmo de la tasa
- $\beta_1$  es el efecto del logaritmo de la precipitación pluvial sobre el logaritmo de la tasa
- $\beta_2$  es el efecto del logaritmo de la temperatura promedio sobre el logaritmo de la tasa
- $\tau$  es la precisión (recíproco de la varianza)

Para completar el modelado bayesiano se propusieron distribuciones iniciales vagas para ambos modelos. Específicamente se toma,

$$\alpha \sim \text{Normal}(0, 0.0001)$$

$$\beta_j \sim \text{Normal}(0, 0.0001), \quad j = 1, 2$$

y en caso del modelo *normal*, adicionalmente se tiene

$$\tau \sim \text{Gamma}(0.0001, 0.0001)$$

Recordar que en la notación del modelo *normal*, el primer parámetro es la media y el segundo parámetro es la precisión, así que las distribuciones iniciales normales propuestas tienen una media de cero y una varianza de 10,000. Para el caso de la distribución gamma, los parámetros escogidos implican una media de 1 y una varianza de 10,000.

Las distribuciones finales de los parámetros se caracterizan a través de una muestra obtenida con procedimientos de simulación Monte Carlo, vía Cadenas de Markov (MCMC). El algoritmo se corrió por 20,000 iteraciones, con un periodo de calentamiento de 2,000 y un adelgazamiento de la cadena de 2. Es decir, se cuenta con 9,000 realizaciones de la distribución final para hacer la inferencia.

Es de interés, que el modelo resultante sea parsimonioso (pocos parámetros), que sea interpretable, y que tenga una buena capacidad predictiva. Para comparar los modelos, se usará el coeficiente de correlación de Pearson,  $\rho$ , entre los casos observados  $Y_t$ , y un predictor puntual obtenido con el modelo  $\hat{Y}_t$ , como una medida de la capacidad predictiva del modelo. El predictor puntual que se toma es la media de la distribución predictiva final, i.e.,  $\hat{Y}_t = E(Y_t | \text{datos})$ .

## 4.2 Modelos estatales por enfermedad

Se consideran, ahora, modelos para el total de casos estatales por enfermedad. Para la formulación de los modelos se tienen las siguientes definiciones:

- $Y_{it}$  = casos totales por enfermedad en el estado  $i$  en el mes  $t$
- $Pob_{it}$  = población total en el estado  $i$  en el mes  $t$
- $pp_{it}$  = precipitación pluvial en el estado  $i$  en el mes  $t$
- $tp_{it}$  = temperatura promedio en el estado  $i$  en el mes  $t$
- $im_{it}$  = indicador de marginación (ANALF) en el estado  $i$  en el mes  $t$
- $t = 1, \dots, T$  con  $T$  el número total de meses disponibles en cada enfermedad
- $i = 1, \dots, n$  con  $n = 32$  el número de estados de la República Mexicana

$Y_{it}$  será la variable respuesta;  $Pob_{it}$  determinará la población en riesgo y jugará el papel de un compensador; ahora la precipitación pluvial,  $pp_{it}$ , la temperatura promedio,  $tp_{it}$ , y el indicador de marginación,  $im_{it}$ , serán las variables explicativas.

Se proponen los siguientes modelos:

## Modelo de regresión *Poisson* estatal

$$Y_{it} \sim \text{Poisson}(Pob_{it}\lambda_{it})$$

dónde

$$\log(\lambda_{it}) = \alpha_i + \beta_{1i}pp_{it} + \beta_{2i}tp_{it} + \beta_{3i}im_{it}$$

- $\lambda_{it}$  es la tasa de mortalidad relativa a la población en riesgo en el estado  $i$  al mes  $t$
- $\alpha_i$  es el efecto global medio del logaritmo de la tasa en el estado  $i$
- $\beta_{1i}$  es el efecto de la precipitación pluvial sobre el logaritmo de la tasa en el estado  $i$
- $\beta_{2i}$  es el efecto de la temperatura promedio sobre el logaritmo de la tasa en el estado  $i$

## Modelo de regresión *Normal* estatal

$$\log(Y_{it}) \sim \text{Normal}(\log(Pob_{it}) + \log(\lambda_{it}), \tau_i)$$

dónde

$$\log(\lambda_{it}) = \alpha_i + \beta_{1i}\log(pp_{it}) + \beta_{2i}\log(tp_{it}) + \beta_{3i}\log(im_{it})$$

- $\lambda_{it}$  es la tasa de mortalidad relativa a la población en riesgo en el estado  $i$  al mes  $t$
- $\alpha_i$  es el efecto global medio del logaritmo de la tasa en el estado  $i$
- $\beta_{1i}$  es el efecto del logaritmo de la precipitación pluvial sobre el logaritmo de la tasa en el estado  $i$
- $\beta_{2i}$  es el efecto del logaritmo de la temperatura promedio sobre el logaritmo de la tasa en el estado  $i$
- $\beta_{3i}$  es el efecto del logaritmo del indicador de marginación sobre el logaritmo de la tasa en el estado  $i$
- $\tau$  es la precisión (recíproco de la varianza)

Para completar el modelado bayesiano, se propusieron distribuciones iniciales vagas para ambos modelos. Específicamente se toman,

$$\alpha_i \sim \text{Normal}(0, 0.0001)$$

$$\beta_{ji} \sim \text{Normal}(0, 0.0001), \quad j = 1, 2$$

y en caso del modelo normal, adicionalmente se toma

$$\tau_i \sim \text{Gamma}(0.0001, 0.0001)$$

Las distribuciones iniciales normales propuestas tienen una media de cero y una varianza de 10,000. Las distribuciones *gamma* tienen una media de 1 y una varianza de 10,000.

Las distribuciones finales de los parámetros se caracterizan a través de procedimientos MCMC. En este caso, el algoritmo se corrió por 2,000 iteraciones, con un periodo de calentamiento de 200 y un adelgazamiento de la cadena de 2. Es decir, se cuenta con 900 realizaciones de la distribución final para hacer la inferencia.

Nuevamente, para comparar los modelos se utiliza el coeficiente de correlación de *Pearson*,  $\rho$ , entre los casos observados  $Y_{it}$ , y un predictor puntual  $\hat{Y}_{it} = E(Y_{it}|\text{datos})$ .

### 4.3 Inferencias para las enfermedades por calor y luz

Se consideran las bases de datos nacionales *calorNM.csv* y *pobiN.csv*, así como las bases de datos estatales *calorEM.csv*, *ppEM.csv*, *tpEM.csv*, *pobiE.csv* e *imiE.csv*. En este caso, se tienen  $T = 24$  meses de información, y las tasas de morbilidad están en millones de habitantes.

Se ajustaron los dos modelos nacionales, *Poisson* y *normal*, con las especificaciones descritas en la Sección 4.1. Los resultados se muestran en la

. En el caso del modelo *Poisson*, ambas variables explicativas resultaron ser significativas al 95 por ciento de probabilidad, mientras que para el modelo *normal*, únicamente la variable de temperatura promedio (en escala logarítmica) resultó significativa. Los resultados aquí, excluyen a la variable de precipitación pluvial.

Debido a que las variables explicativas están en distinta escala, original y logarítmica, en los modelos *Poisson* y *normal*, respectivamente, los coeficientes correspondientes no son comparables. La medida de comparación,  $\rho$ , indica que el modelo *Poisson* tiene una mejor capacidad predictiva que el modelo *normal*, con un valor del 83.5 por ciento, por lo que se considera el mejor modelo.

Al analizar los parámetros del modelo *Poisson*, se observa que  $\alpha$  no es interpretable, porque las variables explicativas toman valores en un rango fuera del cero, sin embargo, es necesaria para que los demás parámetros tengan sentido. Como  $e^{10\hat{\beta}_1} = 0.98$ , se concluye que al aumentar la precipitación pluvial en 10 milímetros, el riesgo de presentar enfermedad por onda de calor disminuye en 2 por ciento. Por su parte,  $e^{\hat{\beta}_2} = 1.34$ , indica que al aumentar la temperatura promedio en 1 grado centígrado, se incrementa el riesgo de presentar un golpe de calor en 34 por ciento, lo cual es bastante alto.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la tasa observada definida como  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada) y la tasa predicha por el modelo *Poisson*. La predicción puntual corresponde a la línea roja gruesa y los intervalos de credibilidad (IC), al 95 por ciento las líneas rojas punteadas. Se observa que la mayoría de los meses se encuentran dentro de las bandas de predicción, salvo los dos picos de finales del 2014 y principios del 2015.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la tasa predicha en función de las variables explicativas, precipitación pluvial (panel de arriba) y temperatura promedio (panel de abajo). Como se trata de un modelo con dos variables explicativas, al hacer las proyecciones en una sola dimensión se ven movimientos abruptos en las estimaciones. En la gráfica de las tasas en función de la precipitación pluvial, se observa un comportamiento errático al aumentar la cantidad de lluvia, mientras que en el caso de la temperatura se aprecia más claramente un aumento monótono en las tasas.

Al usar las bases de datos estatales, se ajustan los dos modelos, *Poisson* y *normal*, descritos en la Sección 4.2. Nuevamente, el mejor modelo resultó ser el *Poisson*. Como se tienen 4 coeficientes por estado, en lugar de presentar los resultados numéricos en una tabla, se muestran de manera gráfica. Se presentan los estimadores de  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$  y  $\beta_{3i}$  (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, respectivamente) para  $i = 1, \dots, 32$ , en formato de estimación puntual (puntos) y por intervalo al 95 por ciento (líneas). En cada una de las figuras se incluye una línea punteada horizontal en cero. Aquellos intervalos que no cruzan el cero, indican que el coeficiente respectivo es significativo al 95 por ciento de probabilidad. La longitud del intervalo es directamente proporcional a la varianza en la estimación, así que es preferible intervalos pequeños que corresponderían a estimaciones más precisas.

La interpretación de los coeficientes para algunos estados indica que, por ejemplo, Baja California (ID-2), es el estado con coeficiente de precipitación pluvial *más negativo* que los demás estados y, además, es significativo, aunque su longitud es muy amplia. Su coeficiente asociado a la temperatura promedio es positivo y significativo. Finalmente, su coeficiente asociado al indicador de marginación es también negativo y significativo. Para interpretar este último coeficiente, se observa que la variable de marginación considerada presenta un comportamiento monótono decreciente para todos los estados, lo que indica que el analfabetismo ha disminuido en el tiempo de manera sostenida. Por lo tanto, un coeficiente negativo en esta variable indica que la tasa de casos por calor en Baja California ha aumentado en el tiempo de manera sostenida.

En general, se espera que la precipitación pluvial tenga un coeficiente negativo y que la temperatura promedio tenga un coeficiente positivo (teóricamente), así como ocurrió en el caso nacional. Sin embargo, esto no ocurre para todos los estados. Por ejemplo, Guerrero

(ID-12) presenta un coeficiente positivo en la precipitación pluvial (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) y negativo en la temperatura (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), lo cual no tiene sentido. Al intentar explicar este comportamiento, se observa que esta entidad tiene muy pocos casos registrados de esta enfermedad, lo que pudiera causar este efecto invertido. Aquellos estados cuyo intervalo cruza la línea del cero no son significativos.

AL analizar los intervalos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que existen, aproximadamente, 10 estados cuyo coeficiente es negativo y significativo, como la lógica lo indica. En cambio, para los intervalos de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la mayoría de los estados (salvo 5 casos) tienen un coeficiente positivo y significativo, como debe ser. Esto nos indica que la mayoría de los estados mantienen el comportamiento global de dependencia con la temperatura promedio, pero pocos estados presentan la relación nacional que se tiene con la precipitación pluvial.

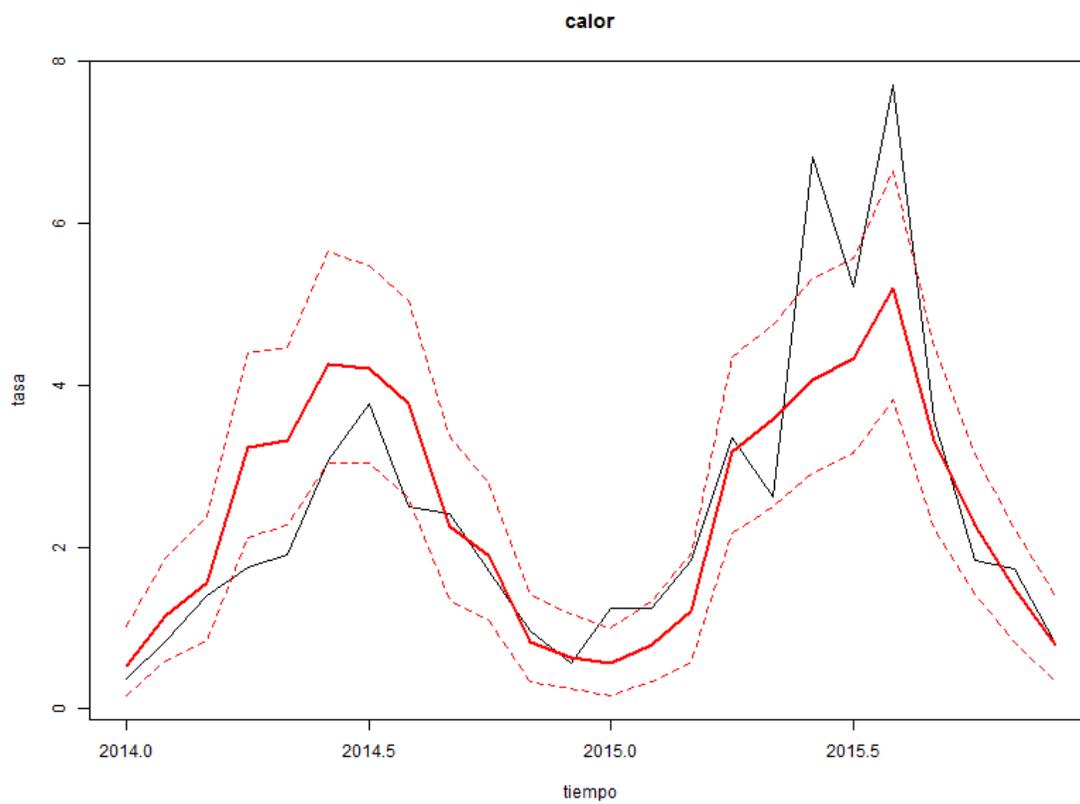
De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en términos generales, se puede interpretar que aquellos estados con un coeficiente positivo asociado al indicador de marginación, tienen una tendencia decreciente en las tasas por golpe de calor, en cambio aquellos estados con un coeficiente negativo, tienen una tendencia creciente en las tasas. Vale la pena notar que en el caso nacional las tasas no presentan ningún tipo de tendencia, por lo que no fue necesaria la inclusión de la variable de marginación en dicho análisis. En realidad, la variable de marginación, al ser monótona creciente o decreciente en el tiempo, juega el papel de tendencia, mas no quiere decir que exista una asociación entre la marginación y las incidencias de esta enfermedad. Cualquier otra variable con tendencia lineal monótona hubiera servido para capturar este efecto.

Tabla 4-1. Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (calor). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.

Resumen	Media	Q2.50%	Q97.50%	Media	Q2.50%	Q97.50%
<b>Parámetro</b>	Modelo <i>Poisson</i>			Modelo <i>Normal</i>		
$\alpha$	-5.3846	-6.3180	-4.4530	-13.5444	-16.9800	-10.4600
$\beta_1$	-0.00203	-0.00368	-0.00034	-	-	-
$\beta_2$	0.2890	0.2454	0.3332	4.6426	3.6370	5.7680
$\rho$	83.5%			79.8%		

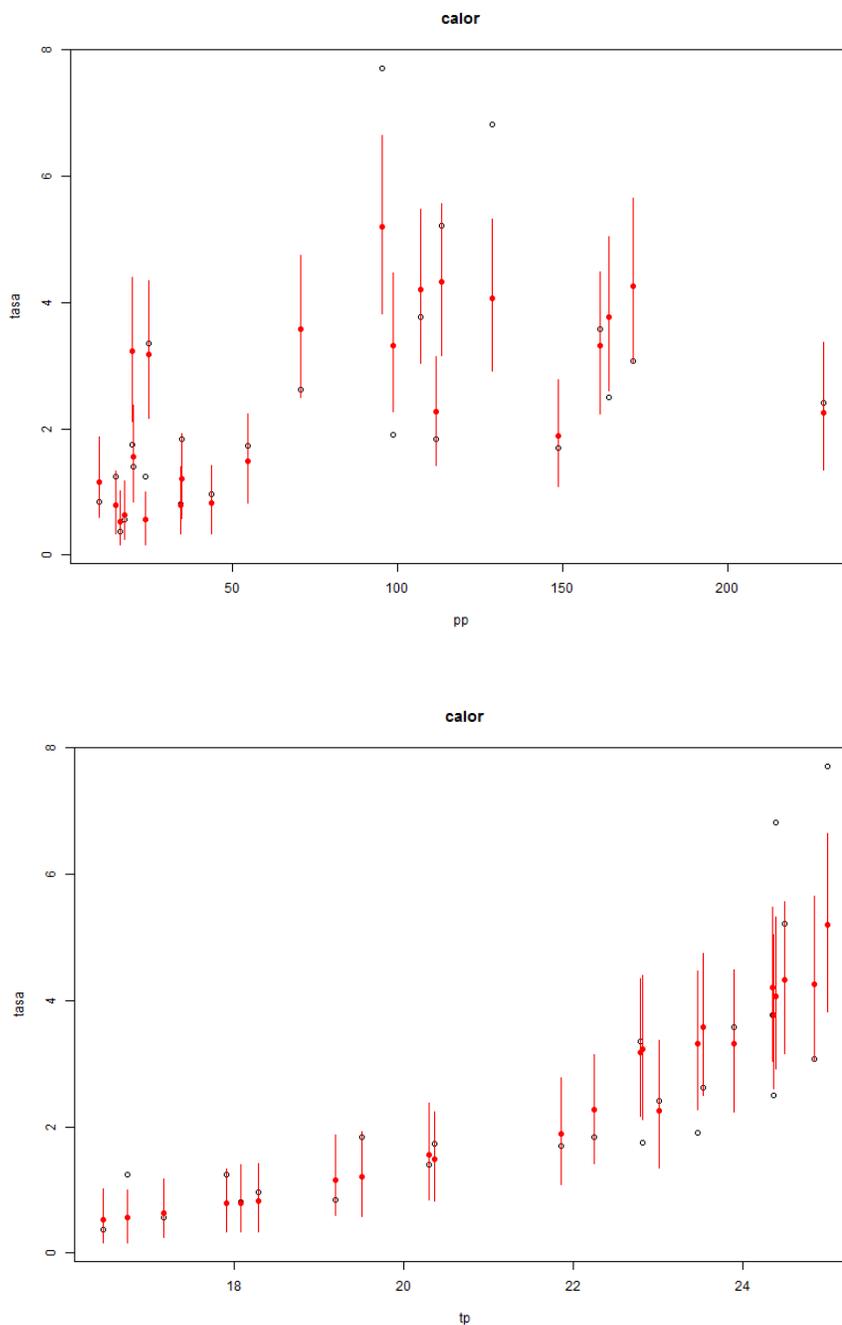
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-1. Ajuste del modelo *Poisson* para los casos totales nacionales (calor). Tasa observada  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).



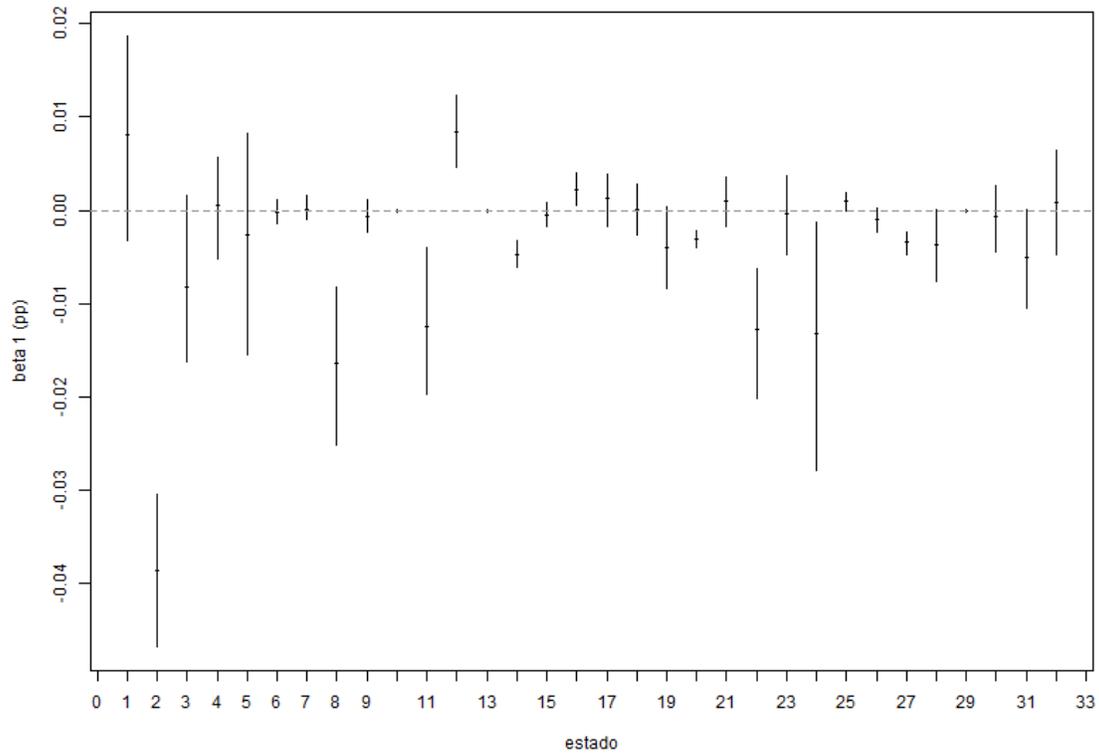
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-2. Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (calor). Arriba: Tasas vs.  $pp_t$ . Abajo: tasas vs.  $tp_t$ . Tasas observadas (puntos) y tasas predichas (puntos y líneas).



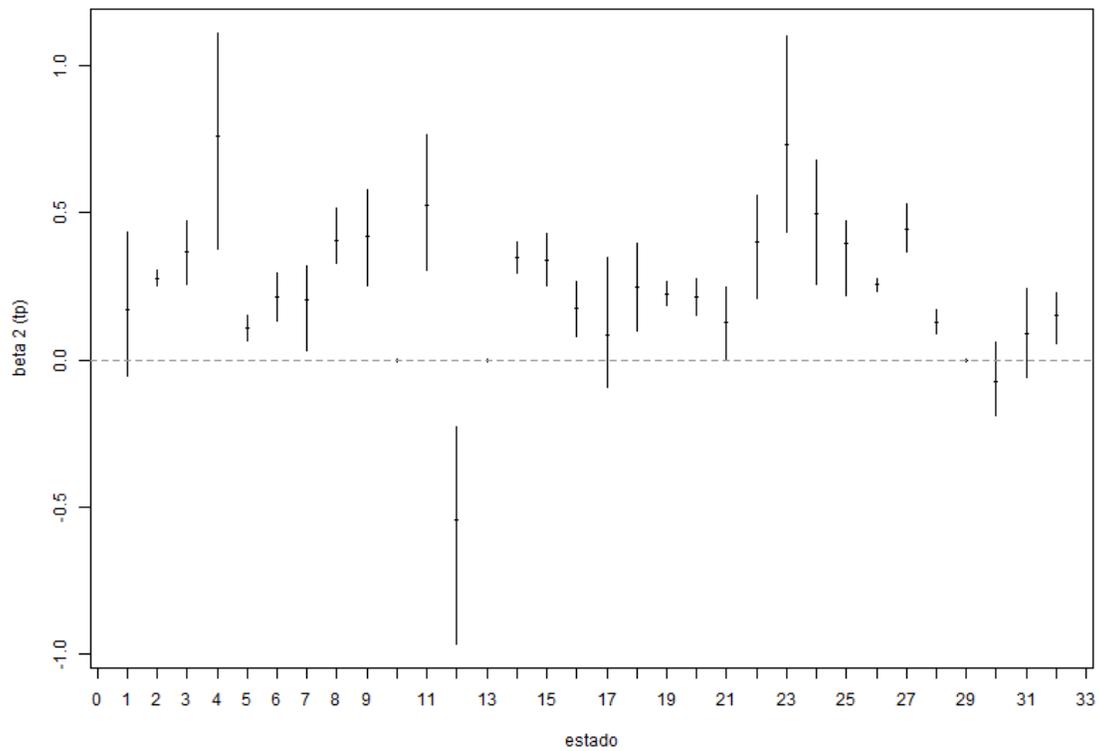
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-3 Estimaciones de  $\beta_{1i}$  (efecto de la variable  $pp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (calor). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



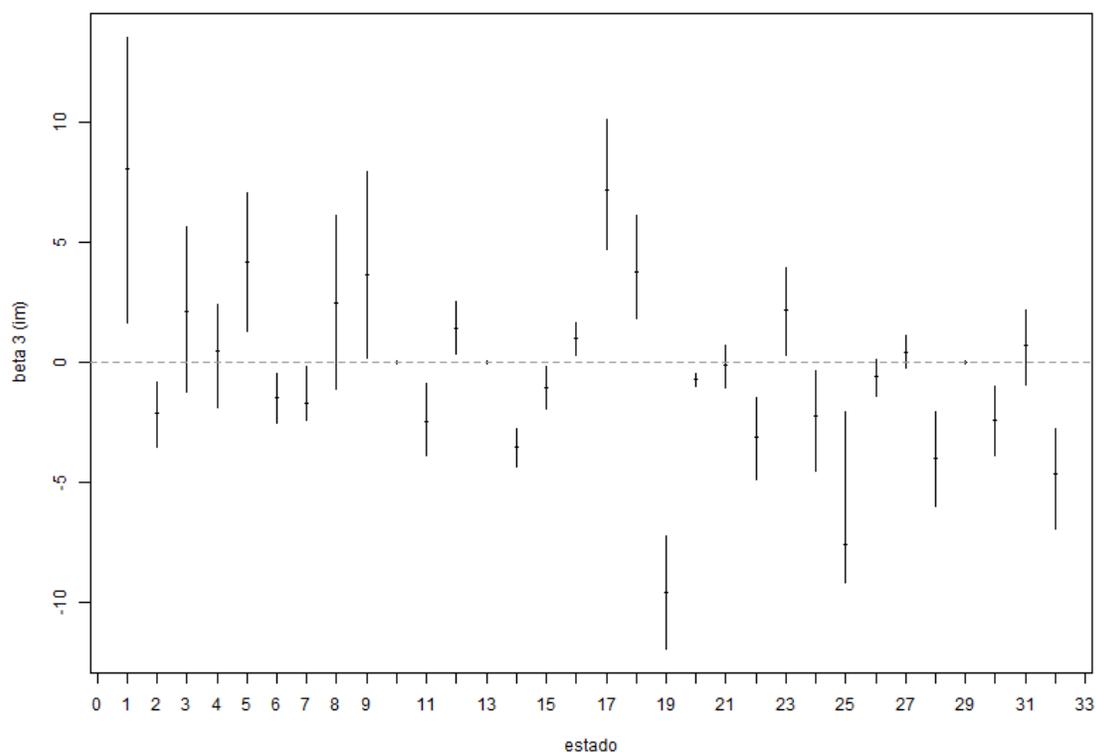
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-4. Estimaciones de  $\beta_{2i}$  (efecto de la variable  $tp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (calor). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-5. Estimaciones de  $\beta_{3i}$  (efecto de la variable  $im_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (calor). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Inferencias para las enfermedades gastrointestinales

Se consideran las bases de datos nacionales *gastroNM.csv* y *pobiN.csv*, así como las estatales *gastroEM.csv*, *ppEM.csv*, *tpEM.csv*, *pobiE.csv* e *imiE.csv*. En este caso, se tienen  $T = 300$  meses de información y las tasas de morbilidad están en miles de habitantes.

Se ajustaron los dos modelos nacionales, *Poisson* y *normal*, con las especificaciones descritas en la Sección 4.1 pero con una modificación en el predictor lineal de ambos modelos. Como se mencionó en la Sección 3.2, el número de casos totales por enfermedades gastrointestinales presenta un ciclo de 10 años. Este ciclo también se presenta en las tasas observadas (ver línea negra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por este motivo, se agregó una variable auxiliar al modelo que capte este aumento en el nivel global. Los predictores lineales quedan como sigue.

Para el modelo *Poisson*,

$$\log(\lambda_t) = \alpha + \beta_1 pp_t + \beta_2 tp_t + \beta_3 aux_t$$

y para el modelo *normal*,

$$\log(\lambda_t) = \alpha + \beta_1 \log(pp_t) + \beta_2 \log(tp_t) + \beta_3 aux_t$$

dónde,

- $aux_t$  toma el valor de uno si el mes  $t$  está entre el año 1995 y 2004 y cero en otro caso
- $\beta_3$  es el efecto de la variable auxiliar  $aux_t$

Los resultados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En ninguno de los dos modelos la variable precipitación pluvial resultó ser significativa, en cambio, la temperatura y la variable auxiliar son las únicas significativas. Los resultados aquí mostrados de ambos modelos excluyen a la variable de precipitación pluvial.

La medida de comparación,  $\rho$ , nos indica que el modelo *Poisson* tiene una ligera ventaja con respecto al modelo *normal* en cuanto a su capacidad predictiva, con un valor del 79 por ciento, por lo que se considera el mejor modelo, para fines de este análisis.

Al analizar los parámetros del modelo *Poisson*, se observa que  $\alpha$  no es interpretable porque las variables explicativas toman valores en un rango fuera del cero, sin embargo, es necesaria para que los demás parámetros tengan sentido. Como  $e^{\hat{\beta}_2} = 1.061$ , se concluye que al aumentar la temperatura en un grado centígrado, la tasa de casos por enfermedad gastrointestinal aumenta en 6 por ciento. Por su parte,  $e^{\hat{\beta}_3} = 1.317$ , lo que indica que entre 1995 y 2004 el riesgo de presentar enfermedad gastrointestinal aumentó en 32 por ciento, que es un aumento considerable (afortunadamente no se volvió a presentar en la siguiente década).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la tasa observada  $Y_t/Pop_t$  (línea negra delgada) y la tasa predicha por el modelo *Poisson*. La predicción puntual corresponde a la línea roja gruesa, y los intervalos de credibilidad al 95 por ciento son las líneas rojas punteadas. Se observa que la mayoría de los meses se encuentran dentro de las bandas de predicción, salvo los tres picos de mediados de los años 1998, 2002 y 2005.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la tasa predicha en función de la única variable explicativa (de las dos de clima) que resultó ser significativa, la temperatura promedio. En general, se observa un comportamiento creciente de las tasas en función de la temperatura. Si se centra la atención en las estimaciones puntuales (puntos rojos gruesos), pareciera que se forman dos líneas suaves paralelas. Estas dos líneas son las tasas en la década de 1995 a 2004 (línea superior), y en los demás años (línea inferior).

Al utilizar las bases de datos estatales, se ajustaron los dos modelos, *Poisson* y *normal*, descritos en la Sección 4.2, sin ninguna modificación. Nuevamente, el mejor modelo resultó ser el

*Poisson*. Como se tienen 4 coeficientes por estado, en lugar de presentar los resultados numéricos en una tabla, se presentan de manera gráfica. Se muestran los estimadores de  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$  y  $\beta_{3i}$  (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, respectivamente) para  $i = 1, \dots, 32$  en formato de estimación puntual (puntos), y por intervalo al 95 por ciento (líneas). En cada una de las figuras se incluye una línea punteada horizontal en cero. Aquellos intervalos que no cruzan el cero, indican que el coeficiente respectivo es significativo al 95 por ciento de probabilidad. La longitud del intervalo es directamente proporcional a la varianza en la estimación, así que intervalos pequeños corresponden a estimaciones más precisas.

La variable de precipitación pluvial no tuvo efecto significativo en el análisis a nivel nacional, sin embargo, al considerar cada uno de los estados por separado, se observa (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) que la mayoría de ellos tiene un coeficiente positivo o simplemente no significativo. Un coeficiente positivo indica que la tasa de morbilidad por enfermedades gastrointestinales aumenta al incrementar la precipitación pluvial. Es de notar que hay tres estados Baja California (ID-2), Sonora (ID-26) y Tamaulipas (ID-28) cuyo coeficiente asociado a la precipitación pluvial es negativo y significativo. Quizá en estos estados haya una combinación especial con el exceso de calor que predomina en ellos.

Por su parte, la variable de temperatura promedio sí resultó ser significativa y con un signo positivo en el análisis nacional, por lo que se espera que tenga el mismo signo en el caso de cada uno de los estados. Afortunadamente, se observa que todos los estados tienen un coeficiente positivo y la mayoría de ellos significativo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), las excepciones son Campeche (ID-4), Colima (ID-6), Quintana Roo (ID-23) y Tabasco (ID-27) cuyo intervalo correspondiente cruza el cero.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las estimaciones de los coeficientes asociados al indicador de marginación. La mayoría de los estados tiene un coeficiente positivo, lo que indica que la tendencia en la tasa de morbilidad por enfermedades gastrointestinales, ha descendido con el tiempo. Las excepciones son Aguascalientes (ID-1), Chihuahua (ID-8) y Durango (ID-10), cuya tendencia en la morbilidad es positiva en el tiempo (coeficiente negativo).

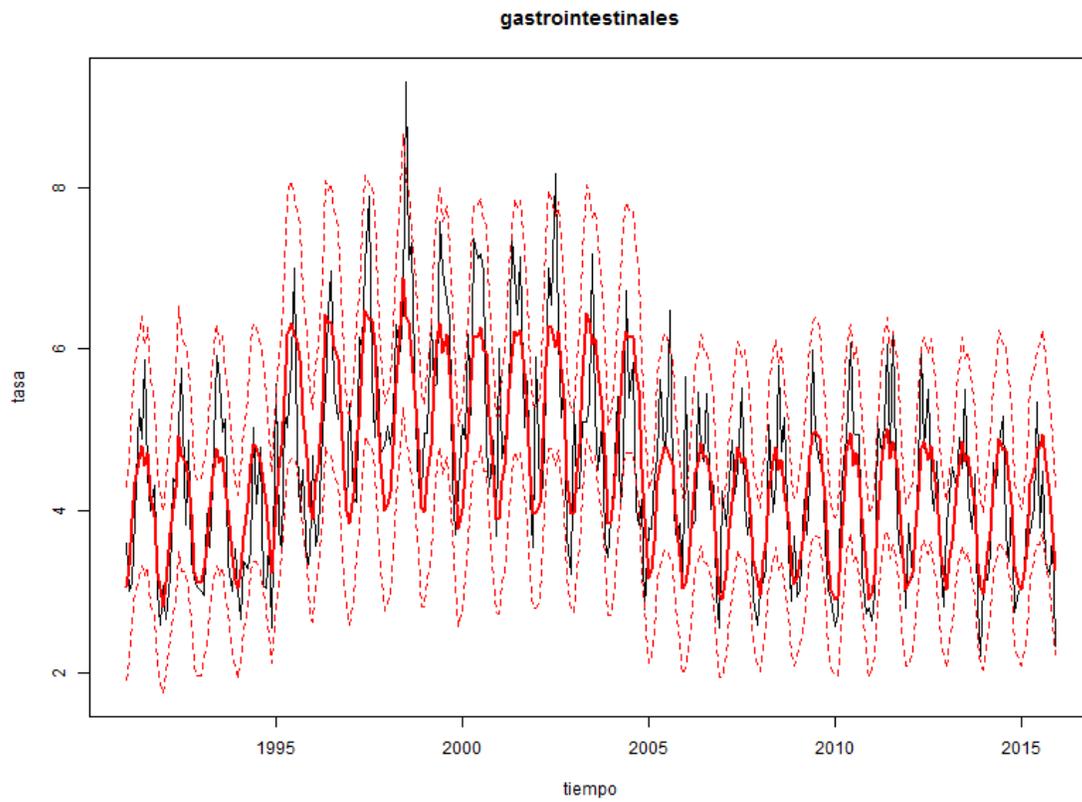
Tabla 4-2 Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (gastro). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.

Resumen	Media	Q2.50%	Q97.50%	Media	Q2.50%	Q97.50%
<b>Parámetro</b>	Modelo <i>Poisson</i>			Modelo <i>Normal</i>		
$\alpha$	0.1117	-0.0184	0.2464	-2.1373	-2.5590	-1.7050
$\beta_1$	-	-	-	-	-	-
$\beta_2$	0.0594	0.0533	0.0653	1.1504	1.0080	1.2890

$\beta_3$	0.2752	0.2425	0.3091	0.2756	0.2372	0.3145
$\rho$	79.0%			78.3%		

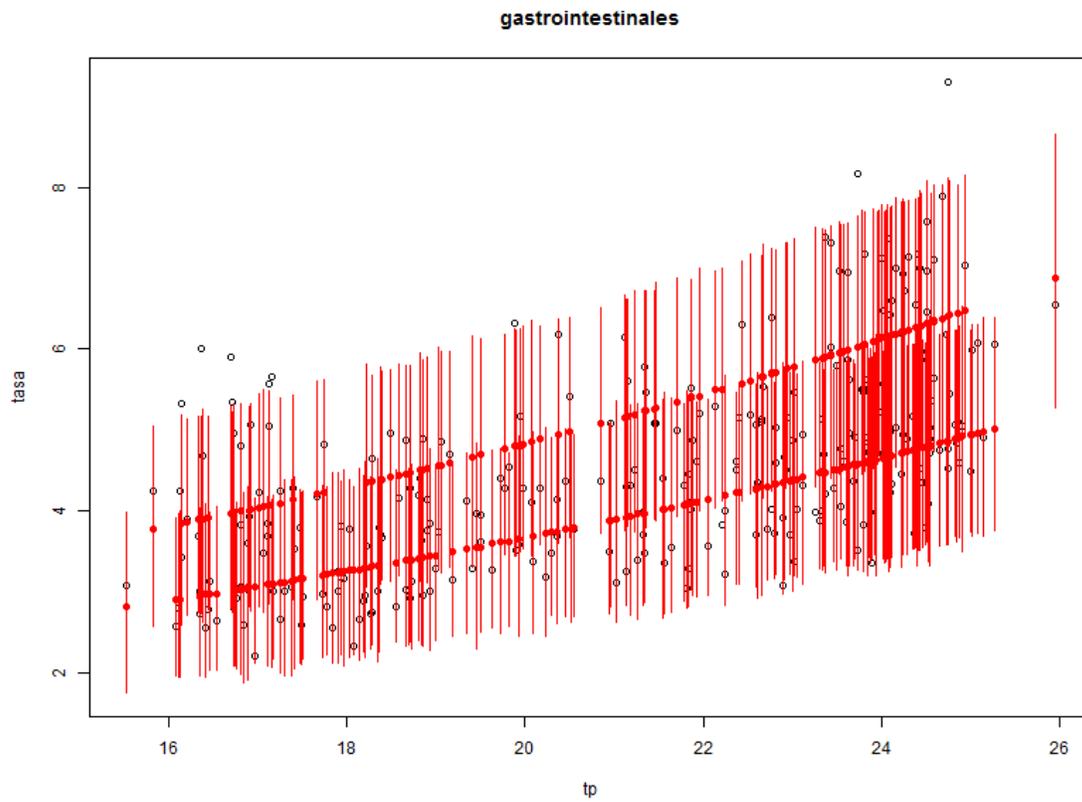
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-6. Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (gastro). Tasa obs.  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).



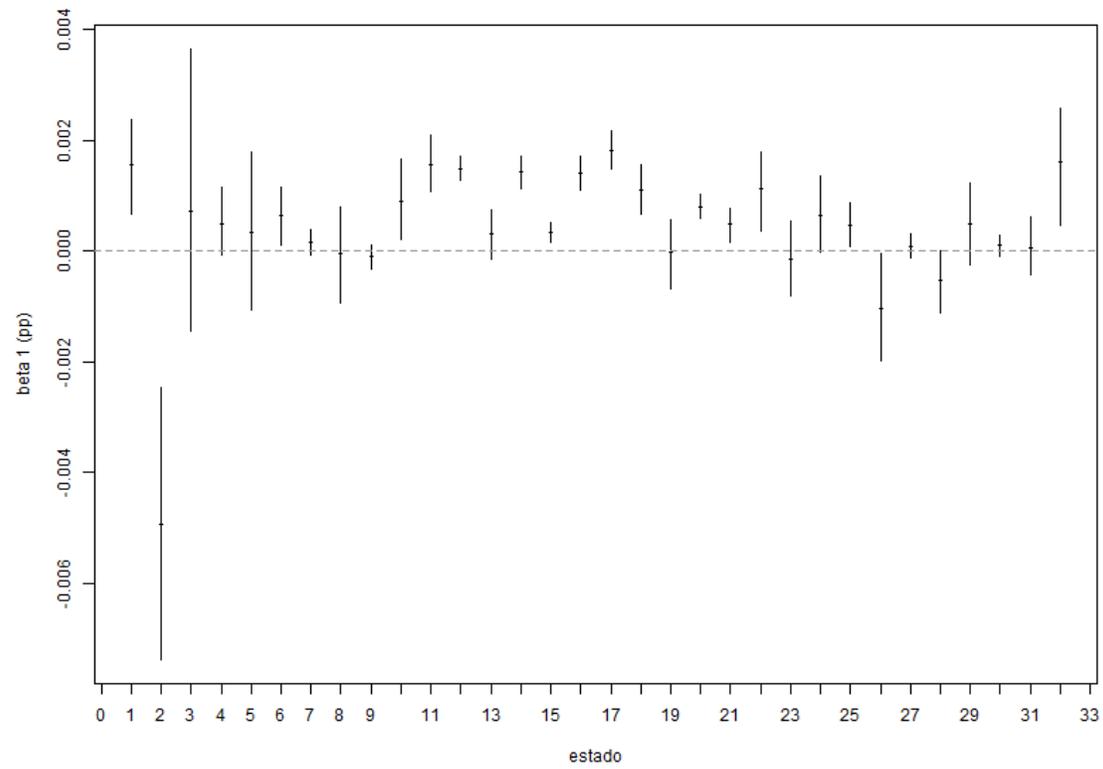
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-7 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (gastro). Tasas vs.  $tp_i$ . Tasas observadas (puntos) y tasas predichas (puntos gruesos y líneas).



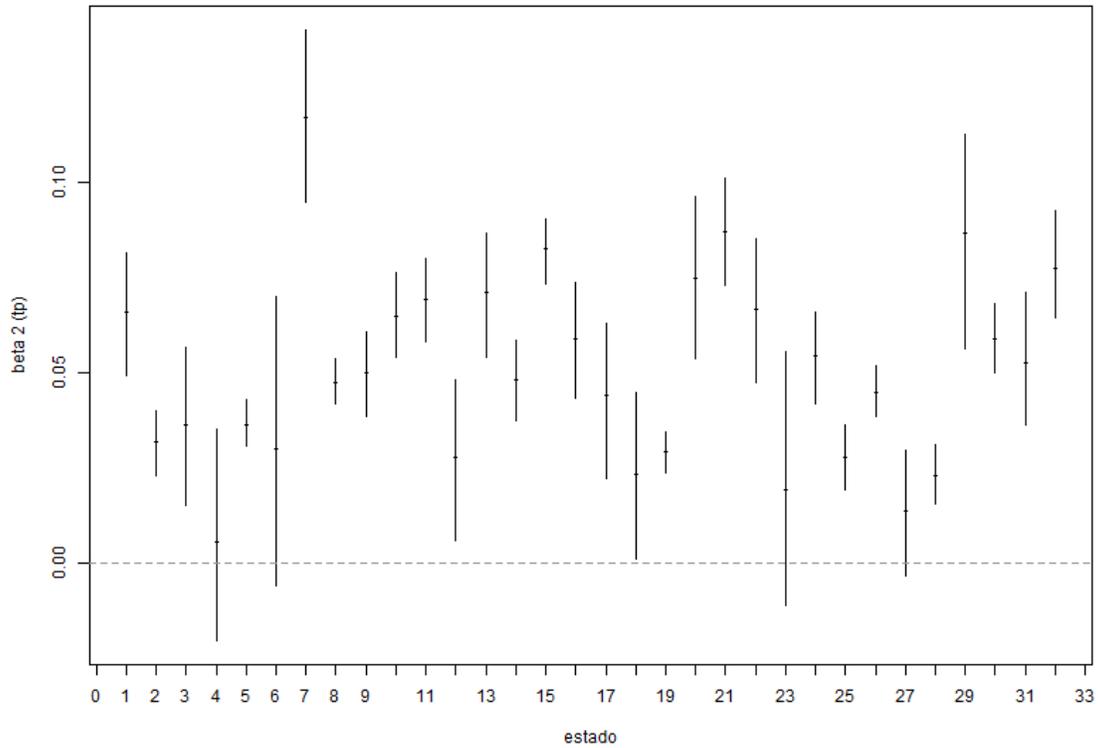
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-8. Estimaciones de  $\beta_{1i}$  (efecto de la variable  $pp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (gastro). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



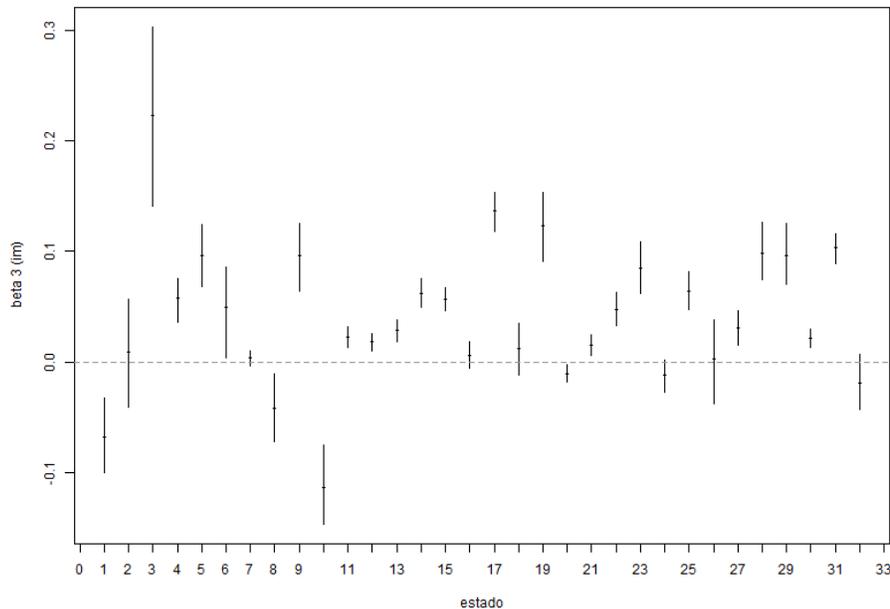
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-9. Estimaciones de  $\beta_{2i}$  (efecto de la variable  $tp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (gastro). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-10. Estimaciones de  $\beta_{3i}$  (efecto de la variable  $im_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (gastro). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Inferencias para las enfermedades respiratorias

Se consideran las bases de datos nacionales *respNM.csv* y *pobiN.csv*, así como las estatales *respEM.csv*, *ppEM.csv*, *tpEM.csv*, *pobiE.csv* e *imiE.csv*. En este caso, se tienen  $T = 252$  meses de información y las tasas de morbilidad están en miles de habitantes.

Se ajustaron los dos modelos nacionales, *Poisson* y *normal*, con las especificaciones descritas en la Sección 4.1, pero con una modificación en el predictor lineal de ambos modelos. Al igual que el caso de las enfermedades gastrointestinales, se reconoce un ciclo de 8 años, comentado en la sección 3.3. Se agregó una variable auxiliar al modelo que capture este aumento en el nivel global. Los predictores lineales quedan como en el modelo para las enfermedades gastrointestinales, pero la definición de la variable auxiliar es

- $aux_t$  toma el valor de uno si el mes  $t$  está entre el año 1997 y 2004, y cero en otro caso

Los resultados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** En el modelo *Poisson* la variable precipitación pluvial no resultó ser significativa mientras que en el

modelo *normal* todas las variables fueron significativas. Los resultados aquí mostrados del modelo *Poisson* excluyen a la variable de precipitación pluvial.

La medida de comparación,  $\rho$ , nos indica que el modelo *Poisson* nuevamente tiene una ligera ventaja con respecto al modelo *normal* en cuanto a su capacidad predictiva, con un valor del 75.8 por ciento, por lo que se le considera el mejor modelo.

Al interpretar los parámetros del modelo *Poisson*, se observa que como  $e^{\hat{\beta}_2} = 0.936$ , al aumentar la temperatura promedio en un grado centígrado el riesgo de casos por enfermedad respiratoria disminuye en 6.4 por ciento. A diferencia de las dos enfermedades previas, aquí la temperatura tiene un efecto negativo en la morbilidad. Por su parte,  $e^{\hat{\beta}_3} = 1.185$ , lo que indica que entre 1997 y 2004 el riesgo de morbilidad respiratoria aumentó en 18.5 por ciento, que es un aumento importante.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la tasa observada  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada) y la tasa predicha por el modelo *Poisson*. La predicción puntual corresponde a la línea roja gruesa y los intervalos de credibilidad, al 95 por ciento, las líneas rojas punteadas. Se observa que la mayoría de los meses se encuentran dentro de las bandas de predicción, salvo los dos picos de principios de 1995 y finales de 2009.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta la tasa predicha en función de la única variable explicativa (de las dos de clima) que resultó ser significativa, la temperatura promedio. En general, se observa un comportamiento decreciente de las tasas en función de la temperatura. Al igual que en el caso de las enfermedades gastrointestinales, si se centra la atención en las estimaciones puntuales (puntos rojos gruesos), pareciera que se forman dos líneas suaves paralelas. Estas dos líneas son las tasas en los periodos 1997 a 2004 (línea superior), y en los demás años (línea inferior).

Al utilizar las bases de datos estatales, se ajustaron los dos modelos *Poisson* y *normal* descritos en la Sección 4.2. Nuevamente, el mejor modelo resultó ser el *Poisson*. Como se tienen 4 coeficientes por estado, en lugar de presentar los resultados numéricos en una tabla, se ofrecen de manera gráfica. Se muestran los estimadores de  $\beta_{1i}$ ,  $\beta_{2i}$  y  $\beta_{3i}$  (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, respectivamente) para  $i = 1, \dots, 32$  en formato de estimación puntual (puntos) y por intervalo al 95 por ciento (líneas). En cada una de las figuras, se incluye una línea punteada horizontal en cero. Aquellos intervalos que no cruzan el cero indican que el coeficiente respectivo es significativo al 95 por ciento de probabilidad. La longitud del intervalo es directamente proporcional a la varianza en la estimación, así que intervalos pequeños corresponden a estimaciones más precisas.

La precipitación pluvial no tuvo un efecto significativo en el análisis nacional de esta enfermedad, sin embargo, los coeficientes respectivos para cada uno de los estados (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) muestran valores negativos en general, lo que indica que aumentos en la cantidad de lluvia disminuyen los casos de enfermedades respiratorias. Esto quizá tenga que ver con los factores alérgicos del ambiente que se dispersan con la lluvia. Hay tres estados en los que el efecto de la precipitación pluvial no es significativo, y resaltan dos estados, Baja California Sur (ID-3) y Yucatán (ID-31), cuyo efecto es inverso, (aumentan los casos al aumentar la precipitación pluvial).

En el caso de la variable temperatura promedio, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que para todos los estados, sin excepción, se tiene un efecto significativo negativo, como en el caso del análisis nacional. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que  $\hat{\beta}_2 = -0.0664$ , corresponde con el nivel medio de los valores de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en su eje vertical. El estado que más se ve afectado por la temperatura es Oaxaca (ID-20), cuyo coeficiente es el *más negativo* de todos.

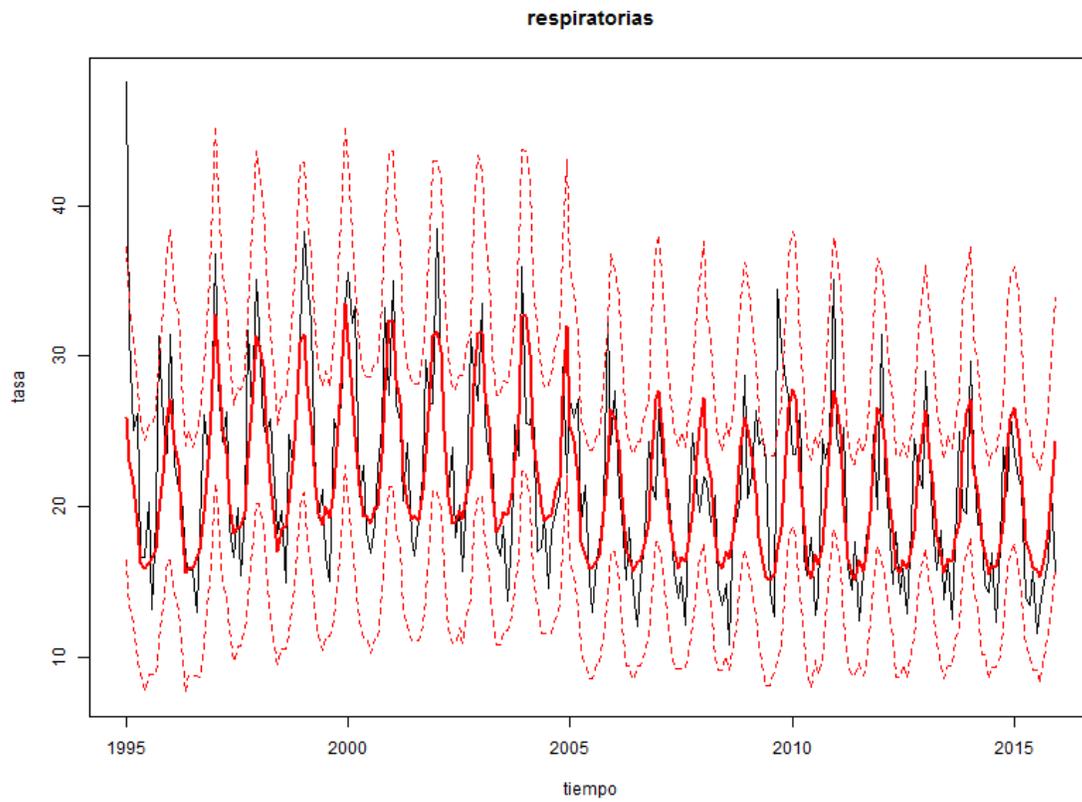
Con respecto al indicador de marginación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que la mayoría de los estados tiene un coeficiente positivo, que indica que la morbilidad por enfermedades respiratorias decrece en el tiempo. Las excepciones son los estados Aguascalientes (ID-1), Guerrero (ID-12), Hidalgo (ID-13), Oaxaca (ID-20), y Zacatecas (ID-32), cuya tendencia es positiva.

Tabla 4-3 Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (resp). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.

Resumen	Media	Q2.50%	Q97.50%	Media	Q2.50%	Q97.50%
<b>Parámetro</b>	Modelo <i>Poisson</i>			Modelo <i>Normal</i>		
$\alpha$	4.3905	4.2070	4.5770	6.8834	6.2650	7.5180
$\beta_1$	-	-	-	-0.0262	-0.0567	0.0030
$\beta_2$	-0.0664	-0.0752	-0.0577	-1.2486	-1.4810	-1.0220
$\beta_3$	0.1695	0.1162	0.2230	0.1715	0.1254	0.2174
$\rho$	75.8%			75.5%		

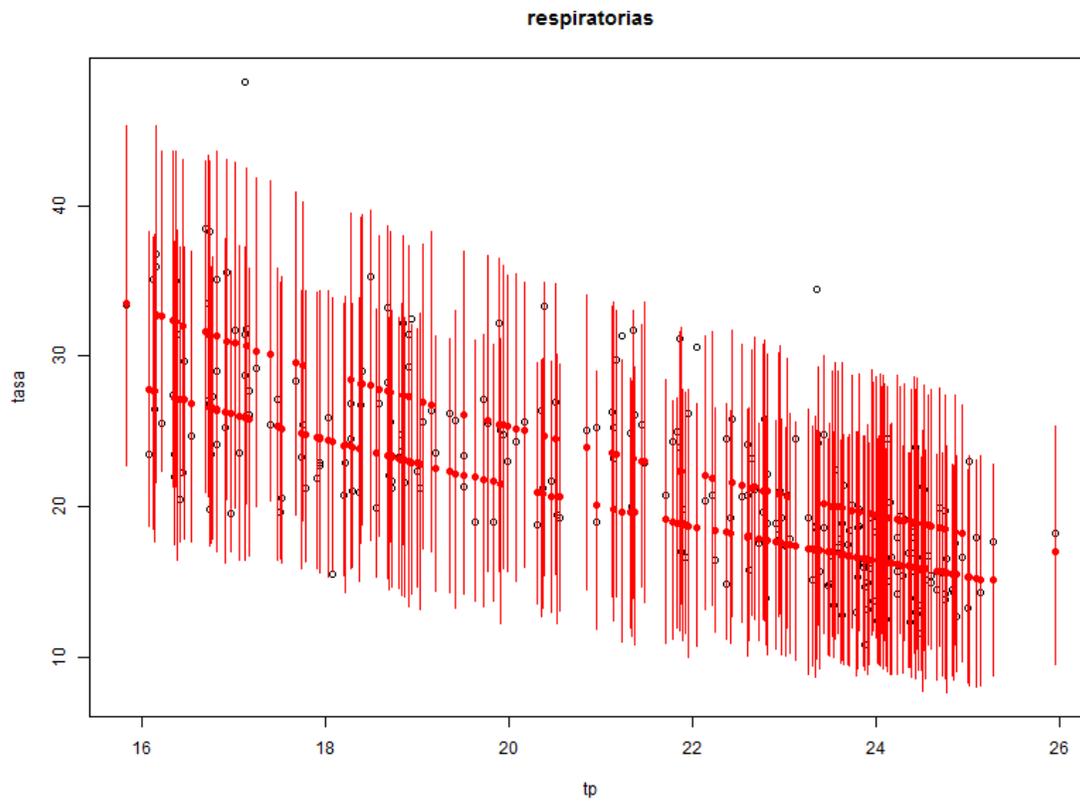
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-11 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (resp). Tasa observada  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).



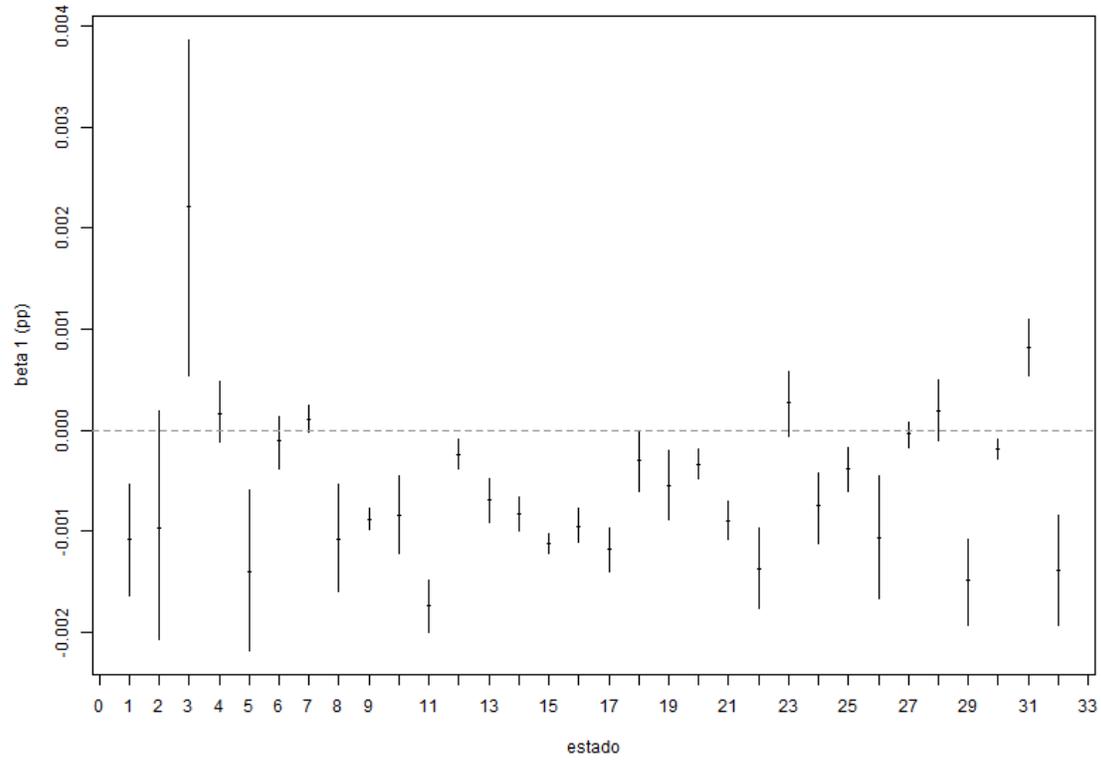
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-12 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (resp). Tasas vs.  $tp_i$ . Tasas observadas (puntos) y tasas predichas (puntos gruesos y líneas).



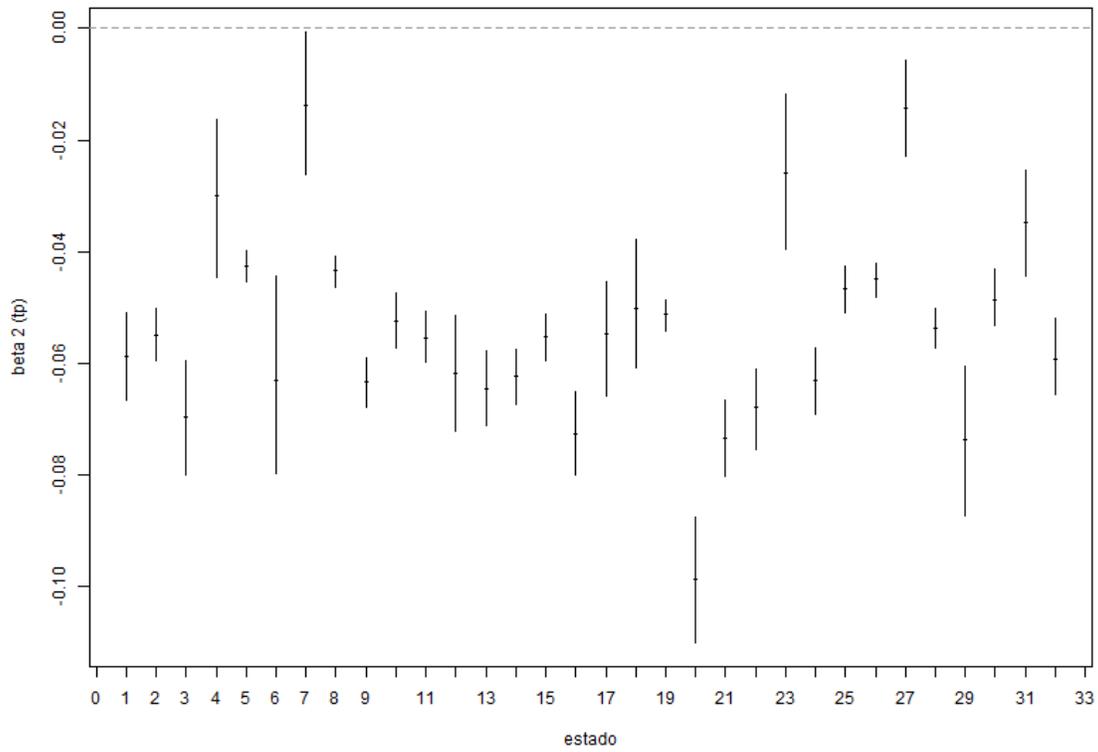
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-13. Estimaciones de  $\beta_{1i}$  (efecto de la variable  $pp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (resp). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



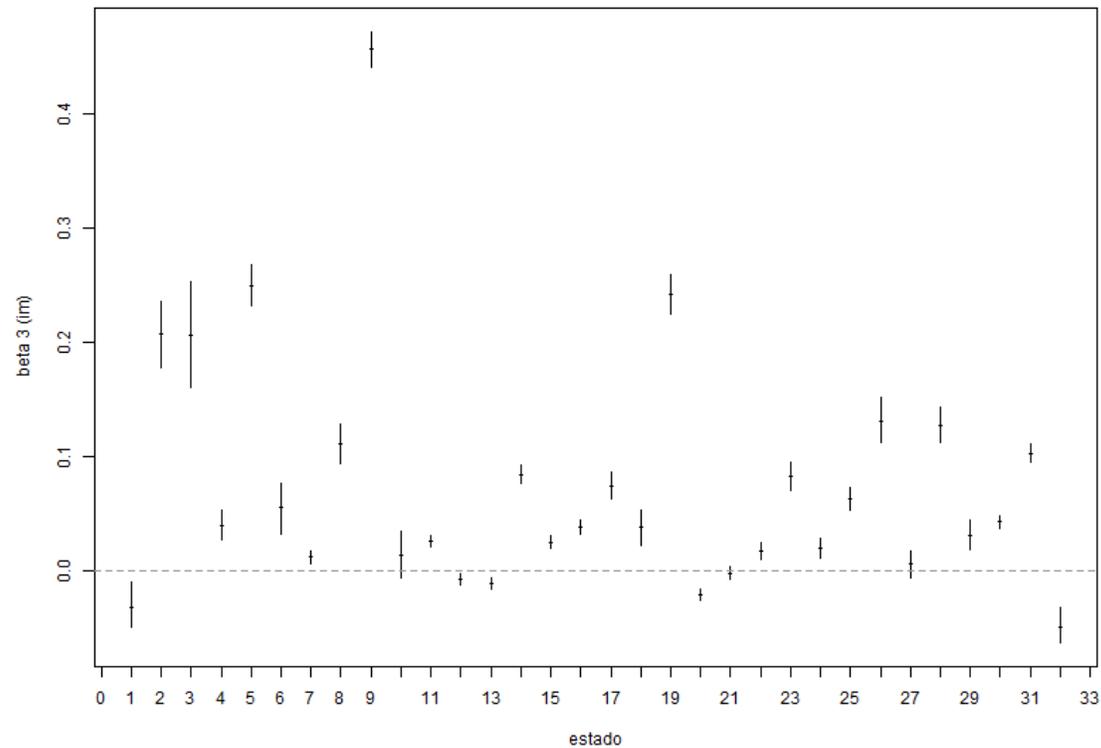
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-14 Estimaciones de  $\beta_{2i}$  (efecto de la variable  $tp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (resp). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-15 Estimaciones de  $\beta_{3i}$  (efecto de la variable  $im_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (resp). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

## 4.6 Inferencias para las enfermedades transmitidas por vector

Se consideran las bases de datos nacionales *vectorNM.csv* y *pobiN.csv*, así como las estatales *vectorEM.csv*, *ppEM.csv*, *tpEM.csv*, *pobiE.csv* e *imiE.csv*. En este caso, se tienen  $T = 252$  meses de información y las tasas de morbilidad están en miles de habitantes.

Las enfermedades transmitidas por vector presentan un comportamiento diferente a las demás enfermedades analizadas en este trabajo. La combinación de encharcamientos de lluvia y la temperatura, crean un ambiente propicio para la generación de mosquitos portadores de estas enfermedades. Debido a esto, se proponen los dos modelos nacionales, *Poisson* y *normal*, con las especificaciones descritas en la Sección 4.1, pero se agregan a los predictores lineales rezagos de ambas variables de clima hasta de orden dos. Por lo tanto, los predictores lineales usados son:

Para el modelo *Poisson*

$$\log(\lambda_t) = \alpha + \beta_1 pp_t + \beta_2 tp_t + \beta_3 pp_{t-1} + \beta_4 tp_{t-1} + \beta_5 pp_{t-2} + \beta_6 tp_{t-2}$$

y para el modelo *normal*

$$\log(\lambda_t) = \alpha + \beta_1 \log(pp_t) + \beta_2 \log(tp_t) + \beta_3 \log(pp_{t-1}) + \beta_4 \log(tp_{t-1}) \\ + \beta_5 \log(pp_{t-2}) + \beta_6 \log(tp_{t-2})$$

dónde

- $\beta_3$  es el efecto de la variable  $pp_{t-1}$
- $\beta_4$  es el efecto de la variable  $tp_{t-1}$
- $\beta_5$  es el efecto de la variable  $pp_{t-2}$
- $\beta_6$  es el efecto de la variable  $tp_{t-2}$

Los resultados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En el caso del modelo *Poisson*, todas las variables, excepto el primer rezago de la temperatura promedio, resultaron significativas. Aunque el intervalo de probabilidad al 95 por ciento para el coeficiente  $\beta_1$  incluye al cero, si se calcula  $P(\beta_1 < 0)$  se obtiene que ésta vale 0.93, lo cual indica que el coeficiente es significativo con una ligera menor probabilidad. En cambio, en el modelo *normal*, únicamente el primer rezago de la temperatura y el segundo rezago de la precipitación pluvial (en escala logarítmica) resultaron ser significativas al 95 por ciento de probabilidad. Los resultados aquí mostrados excluyen a las variables no significativas.

La medida de comparación,  $\rho$ , indica que el modelo *Poisson* nuevamente tiene una mejor capacidad predictiva que el modelo *normal*, con un valor del 52.3 por ciento, así que se le considera el mejor modelo. Aun cuando el modelo tiene cinco variables explicativas, más un intercepto, su capacidad predictiva no es tan alta como la de los modelos de las demás enfermedades consideradas en este trabajo.

Todos los coeficientes de las variables explicativas del modelo *Poisson* tienen un signo positivo, salvo el de la precipitación del mes corriente, lo cual se pudiera deber a que existe un efecto de compensación en la tasa. Como  $e^{10\hat{\beta}_1} = 0.992$ , esto implica que un aumento de 10 milímetros en la precipitación pluvial del mes corriente, disminuye el riesgo de casos por vector en 0.8 por ciento, lo cual es bajo pero significativo. El efecto de la precipitación del mes anterior  $e^{10\hat{\beta}_3} = 1.017$ , implica un aumento de 1.7 por ciento en el riesgo al aumentar la precipitación en 10 milímetros. Finalmente,  $e^{10\hat{\beta}_5} = 1.023$  implica que al aumentar 10 milímetros la precipitación de dos meses anteriores, se relaciona con un aumento de 2.3 por ciento en la tasa. Por otro lado, el efecto de la temperatura es siempre positivo. Como  $e^{\hat{\beta}_2} = 1.077$  y  $e^{\hat{\beta}_6} = 1.06$ , indican que al aumentar un grado centígrado la temperatura del mes corriente, ocurre un

aumento de 7.7 por ciento en el riesgo, y un aumento de un grado centígrado en la temperatura de dos meses atrás, implica un aumento de 6 por ciento en el riesgo de presentar un caso por vector.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran la tasa observada  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada) y la tasa predicha por el modelo *Poisson*. La predicción puntual corresponde a la línea roja gruesa y los intervalos de credibilidad al 95 por ciento son las líneas rojas punteadas. Se observa que la mayoría de los meses se encuentran dentro de las bandas de predicción, sin embargo, hay seis años en los cuales se presentan picos que se salen de las bandas. Esto se debe a que las enfermedades por vector se presentan en pequeñas epidemias o rachas, lo que da lugar a esos picos tan grandes. Las variables de clima por si solas no son capaces de predecir esas pequeñas epidemias, pero si detectan de manera adecuada el comportamiento general a largo plazo de la temporalidad de la enfermedad.

Se usan las bases de datos estatales para ajustar los dos modelos *Poisson* y *normal* descritos en la Sección 4.2, pero con los predictores lineales que consideran ambas variables de clima con sus dos rezagos en el tiempo, como en el modelo nacional. Adicionalmente, se consideró el indicador de marginación para cada uno de los estados. Los modelos ajustados tienen una ordenada, seis coeficientes asociados a las variables de clima con sus rezagos y un coeficiente del indicador de marginación. Se presentan los estimadores correspondientes de  $\beta_{1i}, \dots, \beta_{7i}$  (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, respectivamente) para  $i = 1, \dots, 32$  en formato de estimación puntual (puntos) y por intervalo al 95 por ciento (líneas). En cada una de las figuras se incluye una línea punteada horizontal en cero. Aquellos intervalos que no cruzan el cero indican que el coeficiente respectivo es significativo al 95 por ciento de probabilidad. En todas estas figuras se excluyeron los estados de Aguascalientes (ID-1), Baja California (ID-2), la Ciudad de México (ID-9), Guanajuato (ID-11), Querétaro (ID-22), Tlaxcala (ID-29) y Zacatecas (ID-32), por haber presentado muy pocos casos (o ninguno) en su historia estudiada en este trabajo.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.,** se observa que la precipitación pluvial del mes corriente tiene efectos encontrados para los distintos estados. Nueve de ellos presentan un efecto negativo significativo, mientras que nueve presentan un efecto positivo y significativo. Algo similar pasa con la temperatura promedio del mes corriente, cuyos estimadores se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** Trece estados presentan un efecto positivo y nueve estados un efecto negativo.

En cuanto a los rezagos de un mes (mes anterior), la precipitación pluvial (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) presenta mayoritariamente efectos positivos en las tasas de riesgo de las enfermedades por vector. Destaca San Luis Potosí (ID-24) cuyo efecto es

negativo. En cuanto a la temperatura promedio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), únicamente 6 estados tienen un efecto negativo y los demás o no presentan efecto significativo o es positivo.

Para los rezagos de dos meses atrás, la precipitación pluvial (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) tiene, principalmente, efectos positivos, como en el caso nacional, con excepción de Oaxaca (ID-20) cuyo efecto es negativo. Para la temperatura promedio (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se tienen efectos, principalmente, positivos, salvo en tres estados que son Baja California Sur (ID-3), Oaxaca (ID-20) y Quintana Roo (ID-23).

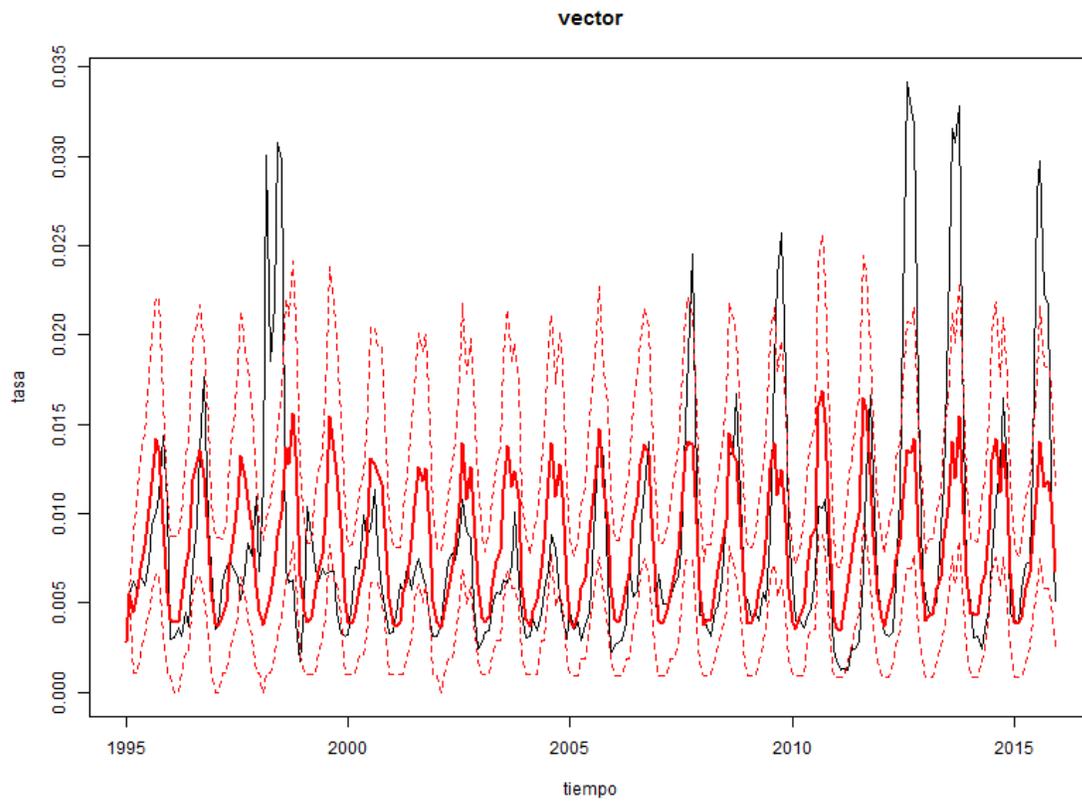
Finalmente, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** contiene los efectos de los indicadores de marginación. Cabe recordar que los efectos están invertidos, es decir, coeficientes positivos (como en siete estados) indican tendencias decrecientes en las tasas, mientras que coeficientes negativos (como en 18 estados) indican tendencias crecientes en las tasas.

Tabla 4-4. Resúmenes inferenciales para los casos totales nacionales (vector). Para cada parámetro se reporta su media posterior y los cuantiles (Q) 2.5% y 97.5%.

Resumen	Media	Q2.50%	Q97.50%	Media	Q2.50%	Q97.50%
<b>Parámetro</b>	<i>Modelo Poisson</i>			<i>Modelo Normal</i>		
$\alpha$	-7.9610	-8.6350	-7.2800	-12.0294	-13.3500	-10.7900
$\beta_1$	-0.0008	-0.0019	0.0003	-	-	-
$\beta_2$	0.0741	0.0487	0.0985	-	-	-
$\beta_3$	0.0017	0.0006	0.0028	-	-	-
$\beta_4$	-	-	-	2.1033	1.6820	2.5660
$\beta_5$	0.0023	0.0012	0.0033	0.1579	0.0907	0.2243
$\beta_6$	0.0589	0.0252	0.0916	-	-	-
$\rho$	52.3%			50.5%		

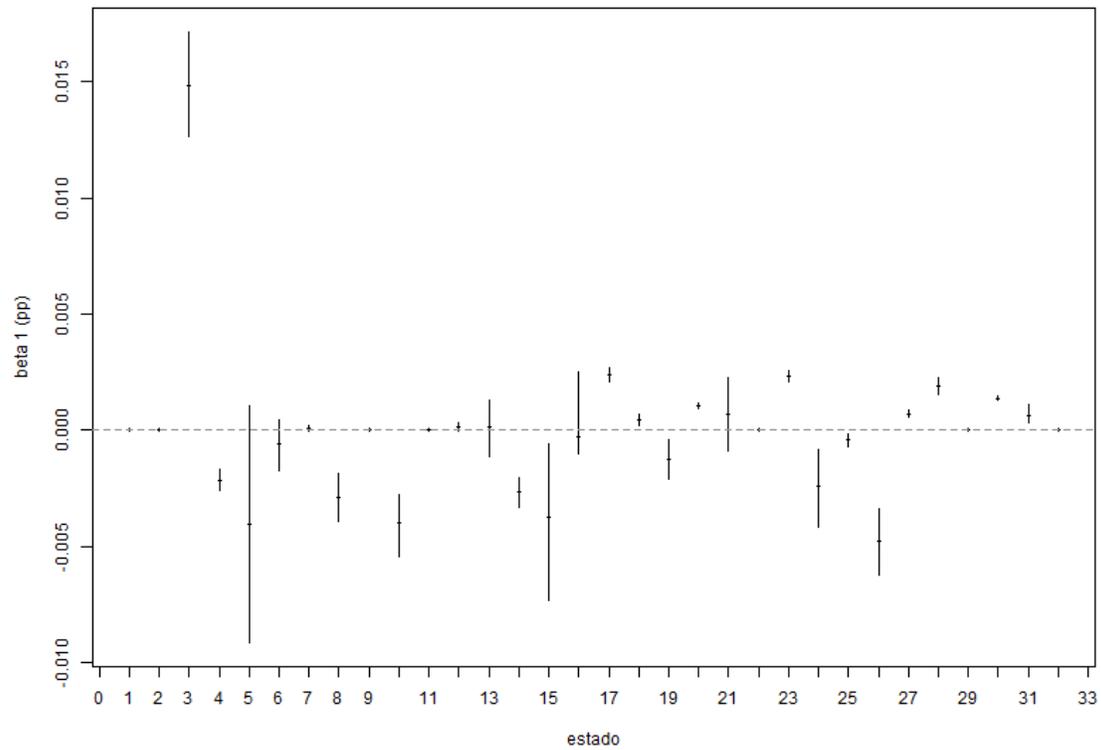
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-16 Ajuste del modelo Poisson para los casos totales nacionales (vector). Tasa observada  $Y_t/Pob_t$  (línea negra delgada), tasa estimada (línea roja gruesa), IC al 95% (línea roja punteada).



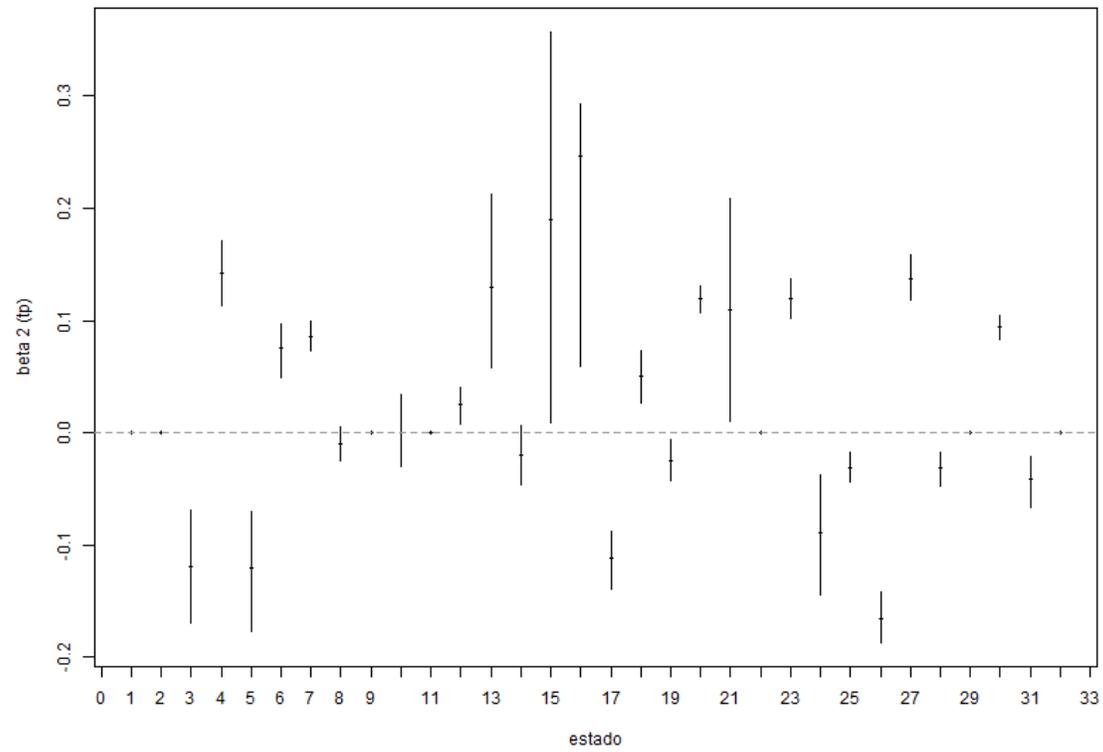
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-17. Estimaciones de  $\beta_{1i}$  (efecto de la variable  $pp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



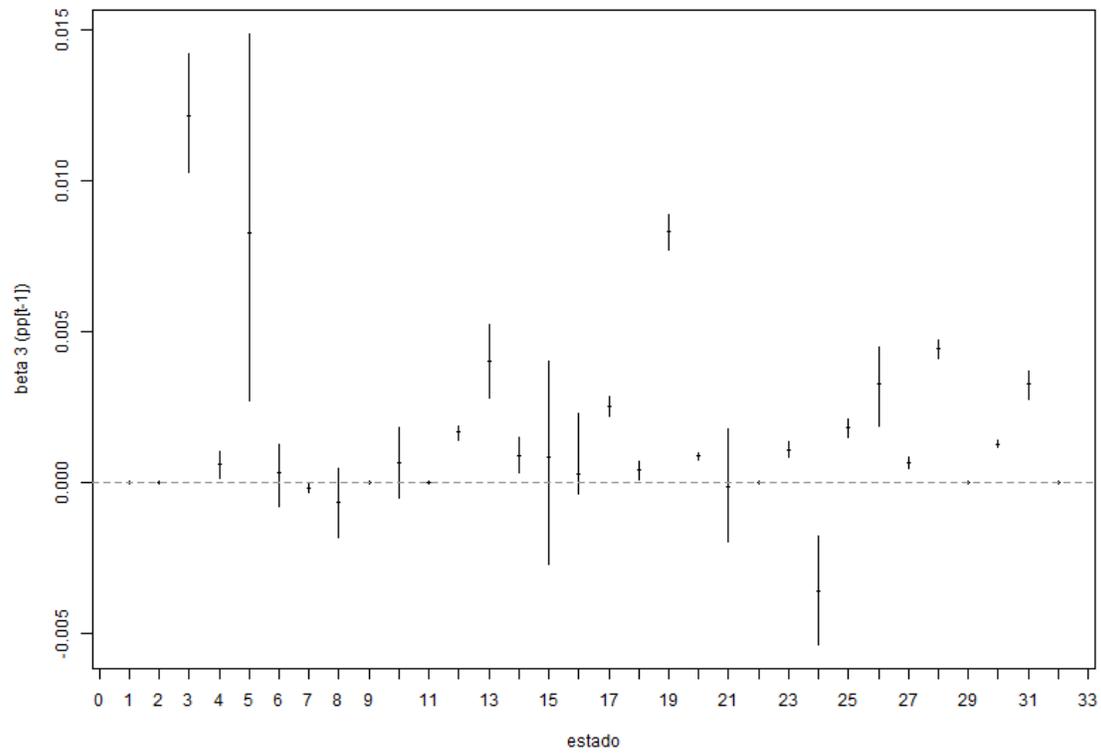
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-18. Estimaciones de  $\beta_{2i}$  (efecto de la variable  $tp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



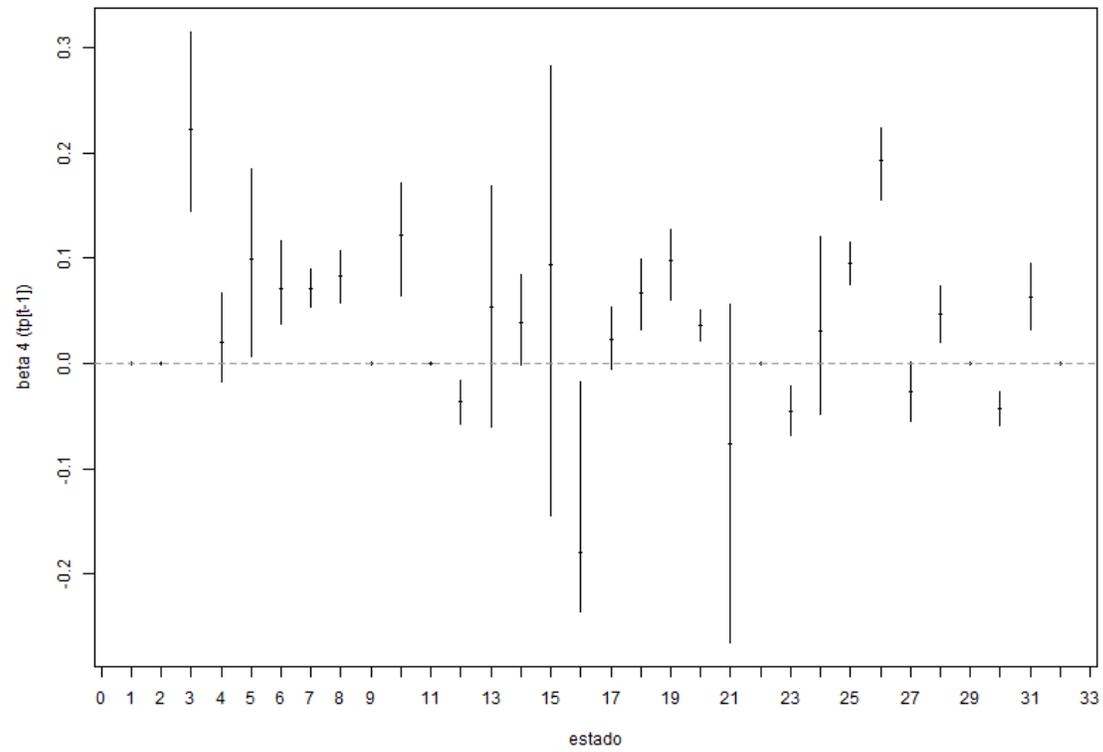
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-19. Estimaciones de  $\beta_{1i}$  (efecto de la variable  $pp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



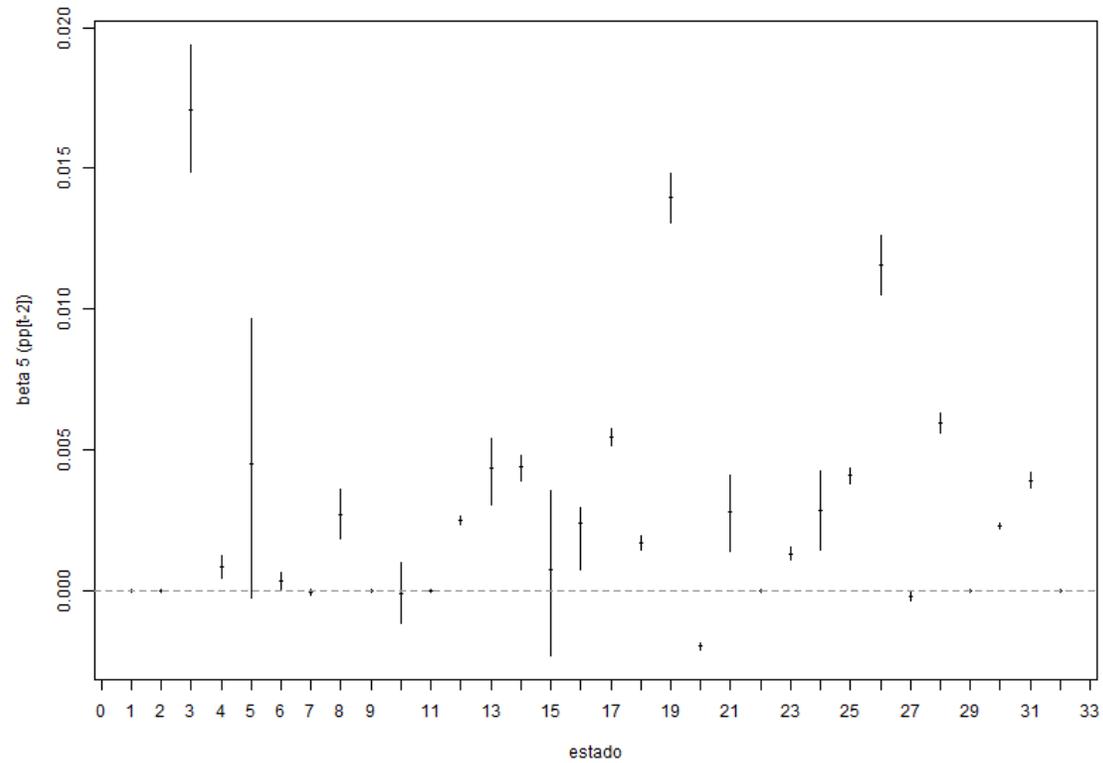
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-20. Estimaciones de  $\beta_{2i}$  (efecto de la variable  $tp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



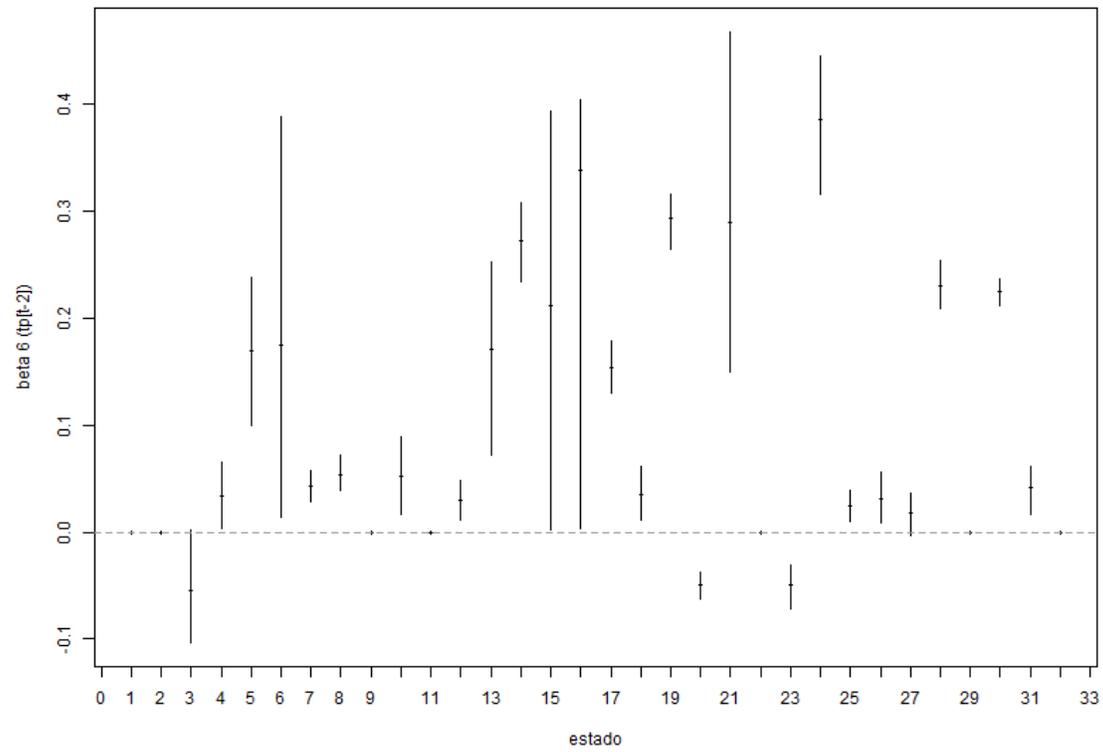
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-21 Estimaciones de  $\beta_{1i}$  (efecto de la variable  $pp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



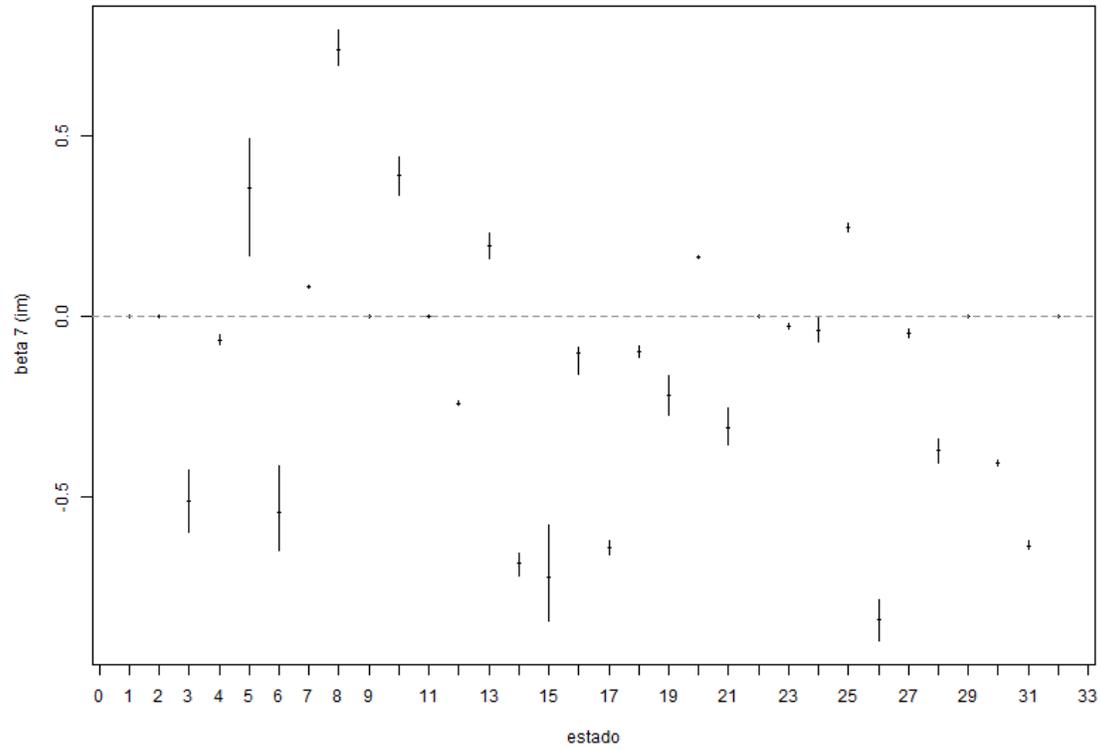
Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-22. Estimaciones de  $\beta_{2i}$  (efecto de la variable  $tp_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4-23. Estimaciones de  $\beta_{3i}$  (efecto de la variable  $im_{it}$ ) en el modelo Poisson para los casos totales estatales (vector). Estimador puntual (punto), estimación por intervalo al 95% (línea).



Fuente: Elaboración propia.

## 5. Pronósticos de morbilidad

### 5.1 Escenarios de clima futuros

Los análisis inferenciales presentados en la Sección 4, caracterizan el comportamiento de la morbilidad de cuatro grupos de enfermedades en función de las variables de clima, precipitación pluvial y temperatura promedio. Estos modelos nos permiten realizar pronósticos futuros de largo plazo, con la consideración de distintos escenarios de clima.

El Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático, en su quinto informe (IPCC, 2013), adoptó cuatro trayectorias de concentración de GEI, conocidas como trayectorias de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Estas trayectorias son usadas para realizar investigación y modelado de clima y describen cuatro escenarios de clima futuro, todos posibles en función de cuántos GEI sean emitidos en los siguientes años. Estos escenarios son RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, cuyos nombres corresponden a rangos de valores de forzamiento radiactivo en el año 2100, relativos a los valores pre-industriales (+2.6, +4.5, +6.0 y +8.5 Watts/m<sup>2</sup>, respectivamente).

Los RCP son consistentes con un amplio rango de posibles cambios en las emisiones de GEI antropogénicos y su objetivo es representar su concentración atmosférica. Por ejemplo, RCP2.6 supone que la emisión anual global de gases, medida en unidades de CO<sub>2</sub> equivalente, tendrán un máximo entre 2010 y 2020, con emisiones decrecientes posteriormente. Las emisiones en el RCP4.5 tendrán su pico alrededor del año 2040 y después decrecerán. En el RCP6.0, el máximo se alcanza en el año 2080, y posteriormente serán decrecientes. En el RCP8.5 las emisiones continuarán creciendo hasta el año 2100.

Existen cuatro agencias o institutos internacionales que se han dedicado a realizar simulaciones de escenarios futuros de clima y que consideran los cuatro RCP. Estos institutos son: el Laboratorio de Dinámica de Fluidos Geofísicos (GFDL, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos; la Red Europea para el Modelado de Sistemas de la Tierra (ENESM, por sus siglas en inglés); el Instituto Pierre de Simón Laplace (IPSL) de Francia; y el Instituto Max Planck de Meteorología (MPI, por sus siglas en inglés) de Alemania.

Cada uno de los cuatro institutos antes mencionados simuló el clima futuro, en particular precipitación pluvial y temperatura promedio, para distintas regiones del mundo, entre las que se encuentra México. El grupo de Clima y Sociedad del CCA de la UNAM, se dio a la tarea de construir bases de datos con los climas simulados por estos cuatro institutos para cada uno de los 32 estados del país. En particular, ellos proporcionaron los escenarios RCP2.6 y RCP8.5, de los cuatro institutos.

Para la comparación entre los escenarios futuros es necesario considerar un escenario base de referencia. De acuerdo con (Magaña, 2012) e (IPCC, 2007), el escenario base puede ser

cualquier conjunto de datos contra los que el cambio se mide, por ejemplo, las condiciones observables actuales. En este estudio, se considera como escenario base al clima promedio mensual de 20 años, registrado entre 1985 y 2005. El promedio mensual para un año, se repitió para los años futuros de 2016 a 2100, lo que define el escenario base de comparación.

Las bases de datos con estos escenarios son: *ppBASE.csv*, *ppGFDLrcp26.csv*, *ppGFDLrcp85*, *ppHadGEM2rcp26*, *ppHadGEM2rcp85*, *ppIPSLrcp26.csv*, *ppIPSLrcp85.csv*, *ppMPIrcp26.csv*, *ppMPIrcp85*, *tpBASE.csv*, *tpGFDLrcp26.csv*, *tpGFDLrcp85*, *tpHadGEM2rcp26*, *tpHadGEM2rcp85*, *tpIPSLrcp26.csv*, *tpIPSLrcp85.csv*, *tpMPIrcp26.csv*, *tpMPIrcp85*, las cuales serán anexadas como archivos electrónicos.

## 5.2 Análisis comparativo de las simulaciones de los cuatro institutos

Al considerar la variable de precipitación pluvial, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan gráficas comparativas entre las simulaciones de los institutos internacionales GFDL, ENESM, IPSL y MPI, respectivamente. En cada figura se incluyen tres gráficas. La gráfica de arriba corresponde, en todos los casos, al escenario base de precipitación pluvial, la gráfica de en medio al escenario RCP2.6 y la gráfica de abajo al escenario RCP8.5. El tiempo de graficación son los años 1985 a 2100. De 1985 a 2015, los datos corresponden a las observaciones históricas registradas de precipitación pluvial, mientras que de 2016 al 2100, al escenario futuro propiamente. La escala de las gráficas dentro de cada figura y entre figuras, de la 5.1 a la 5.4, se mantuvo constante para que la comparación visual sea más objetiva.

El escenario del instituto americano GFDL (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es el más agresivo para la precipitación pluvial, comparado con los otros tres institutos. Su escenario RCP2.6 presenta un pico enorme en el año 2022, que llega a cerca de los 600 mm. En el año 2100 vuelve a tener otro pico grande, hasta cerca de los 500 mm de lluvia. Por otro lado, el escenario RCP8.5, de este mismo instituto, presenta ciclos grandes de aumento en la lluvia, principalmente en los años 2040 a 2080 y de 2080 a 2100. En 2039 y 2040 se presentan dos años con lluvias fuertes.

El escenario de la agencia europea ENESM (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), respecto a la precipitación pluvial, es un escenario un poco más conservador que el presentado por el instituto GFDL. No hay picos tan altos en ninguno de los dos escenarios, RCP2.6 y RCP8.5. En particular, el escenario RCP2.6 se muestra muy parecido a los datos históricos, de 1985 a 2015. En cambio el escenario RCP8.5 muestra un decremento en la lluvia

a partir del año 2050 y hasta el 2100. El título de *HadGEM2* corresponde a las siglas del tipo de modelo utilizado.

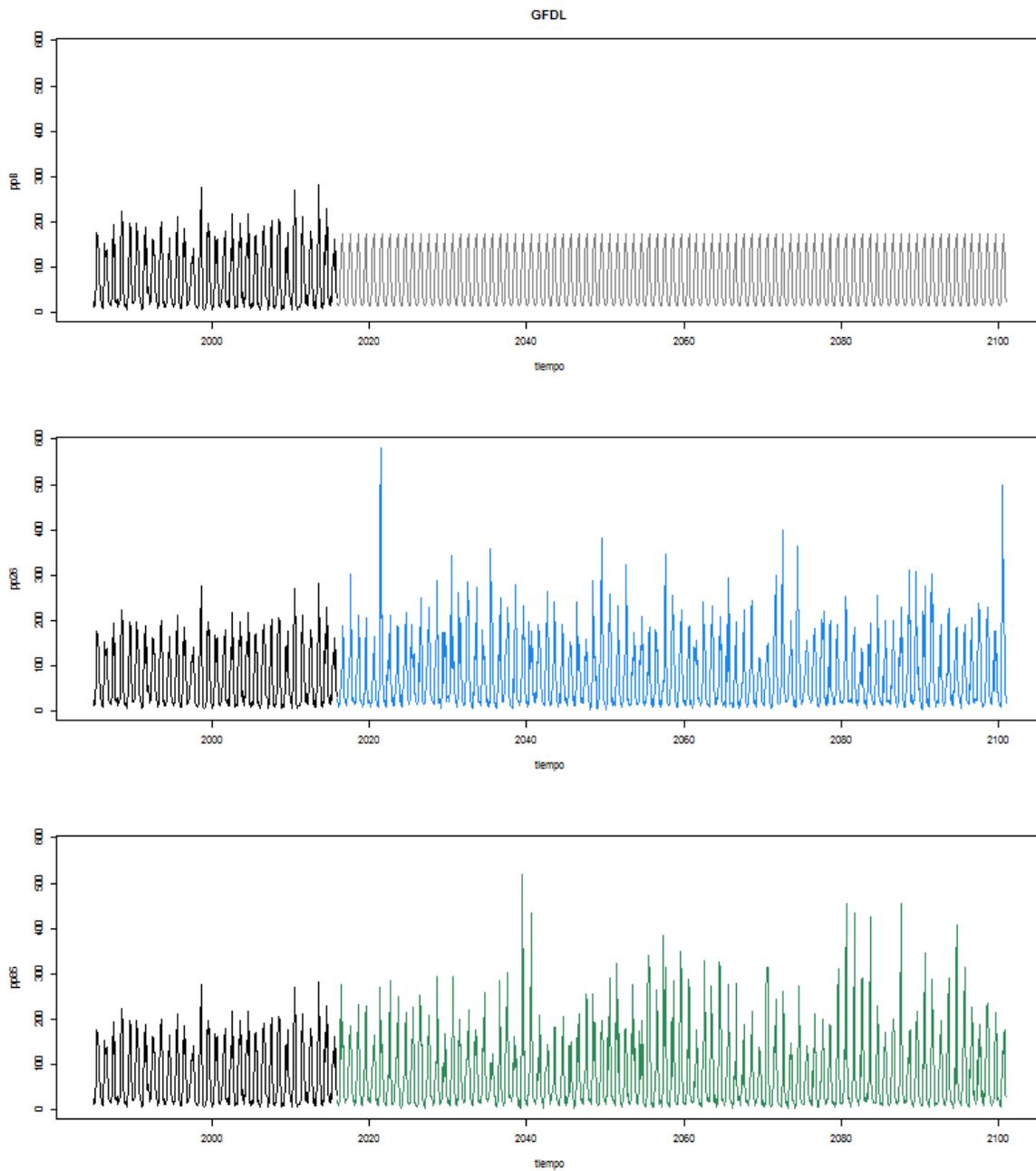
La simulación de la agencia francesa IPSL (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), presenta picos importantes en su escenario RCP2.6 de precipitación pluvial en varios años, como 2024, 2026, 2044, 2049, 2056, 2083 y 2100. Por su parte, este trabajo considera el escenario RCP8.5 más agresivo en cuanto a disminución de lluvia. En los años 2094 y 2095, pronostica muy poca lluvia, con niveles apenas de alrededor de 50 mm.

El instituto alemán IPSL (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), muestra al clima futuro en sus dos escenarios, RCP2.6 y RCP8.5, muy similar al histórico y no se aprecian diferencias importantes entre los dos escenarios. Incluso se alcanza a observar una ligera disminución de la cantidad de lluvia en los años cercanos al 2100, en el escenario RCP2.6.

En cuanto a la temperatura promedio, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 5.8, se presentan los escenarios de los mismos cuatro institutos. Al igual que en el caso de la precipitación pluvial, cada figura tiene tres gráficas con los escenarios base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). La escala de todas las gráficas y de todas las figuras se mantuvo constante para una mejor comparación visual.

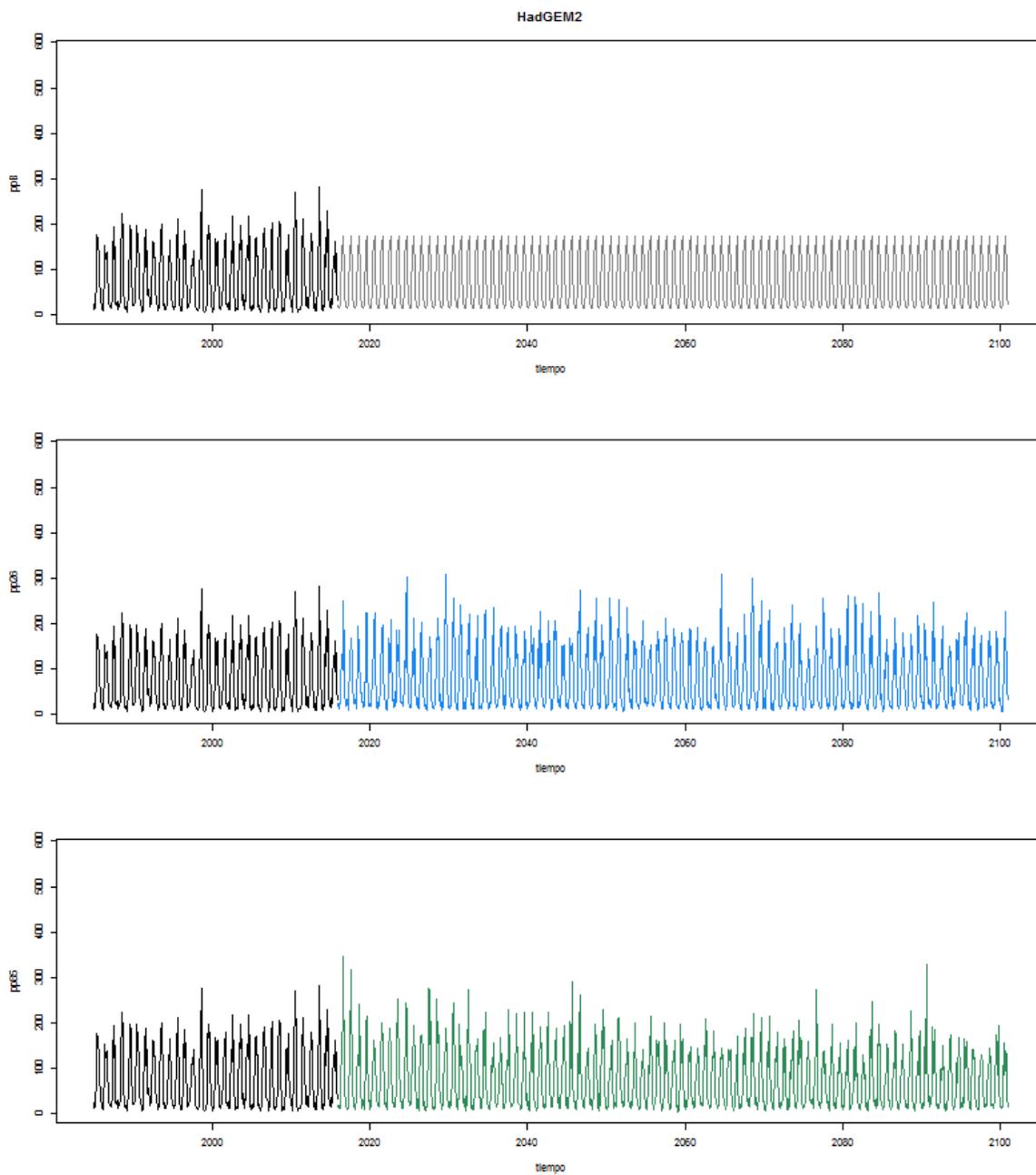
De los cuatro institutos, nuevamente el americano GFDL es el que muestra a sus dos escenarios, RCP2.6 y RCP8.5, con más picos que los otros tres institutos. En los cuatro se muestra al escenario RCP2.6 como un escenario con un aumento de la temperatura casi imperceptible, pareciera incluso que se mantiene constante. En cambio en el escenario RCP8.5 la temperatura promedio mantiene una tendencia creciente, con el del instituto francés (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) como el que más crece, así como el del instituto americano (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) como el que menos crece. En cuanto a variabilidad, los escenarios del instituto europeo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) son los que menos varianza presentan en sus pronósticos futuros, incluso la gráfica de hasta abajo de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra un aumento gradual en la varianza hacia los últimos años.

Figura 5-1. Escenarios futuros GFDL para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



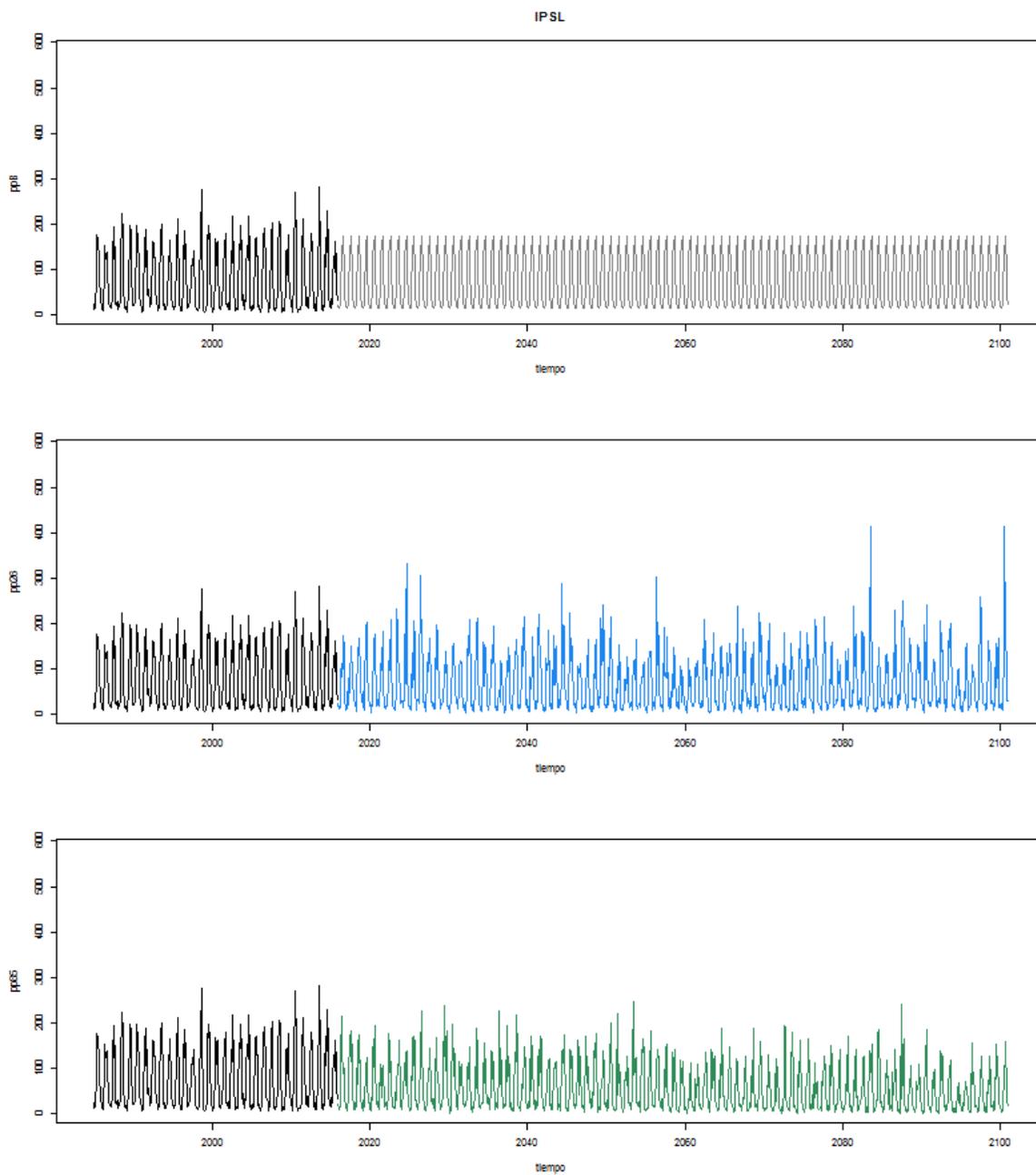
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-2. Escenarios futuros ENESM – HadGEM2 para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



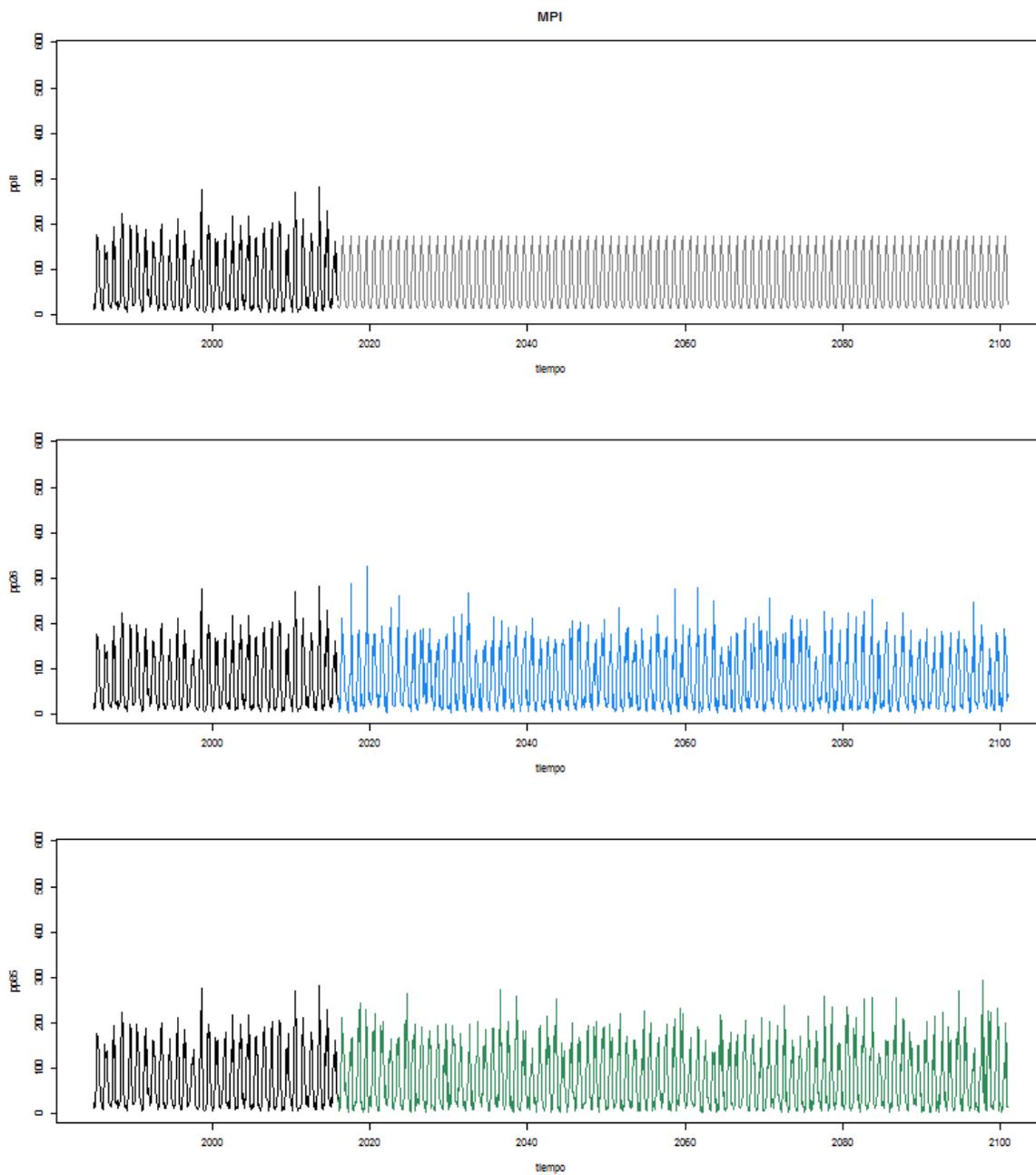
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-3. Escenarios futuros IPSL para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



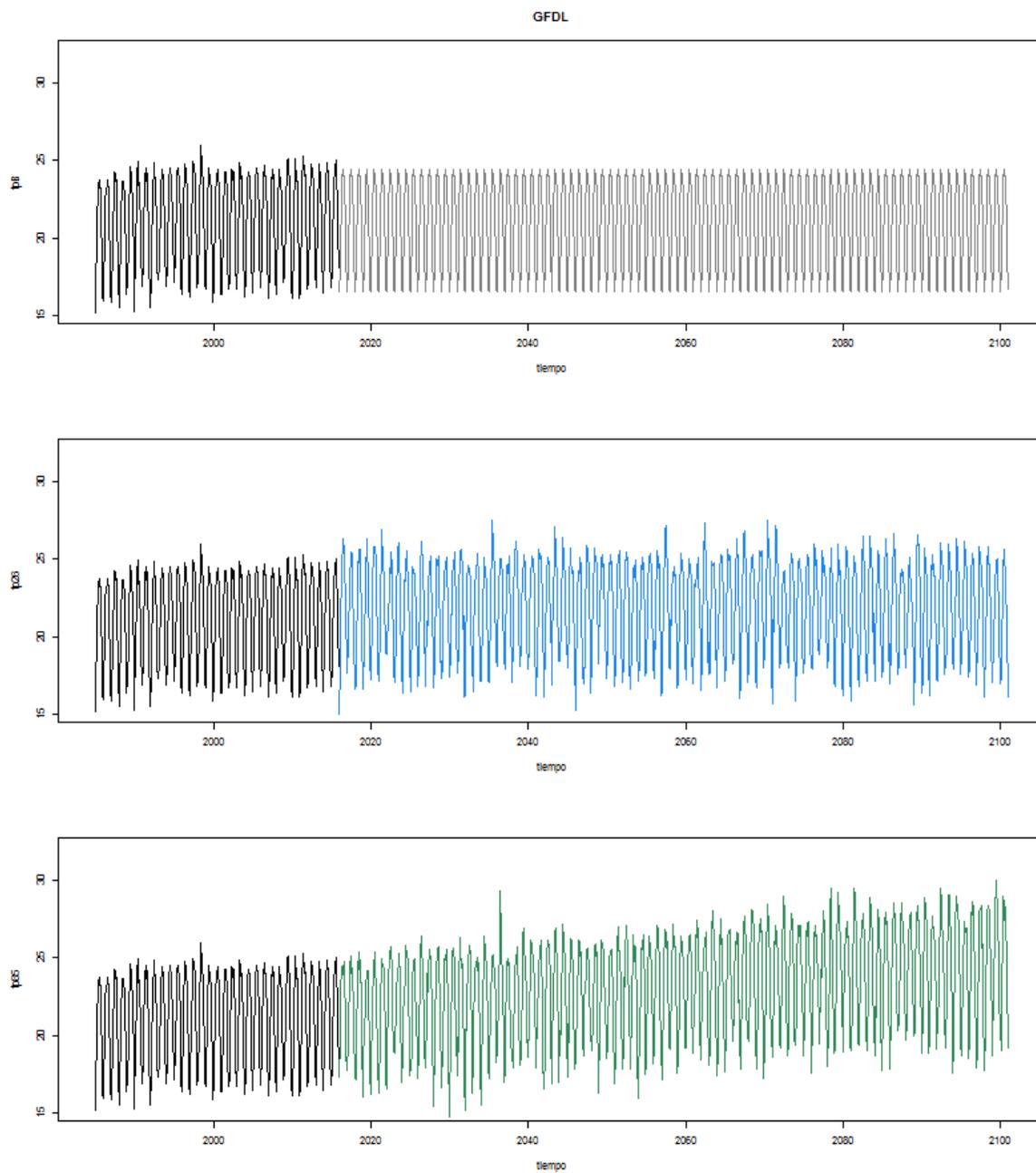
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-4. Escenarios futuros MPI para la precipitación pluvial. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



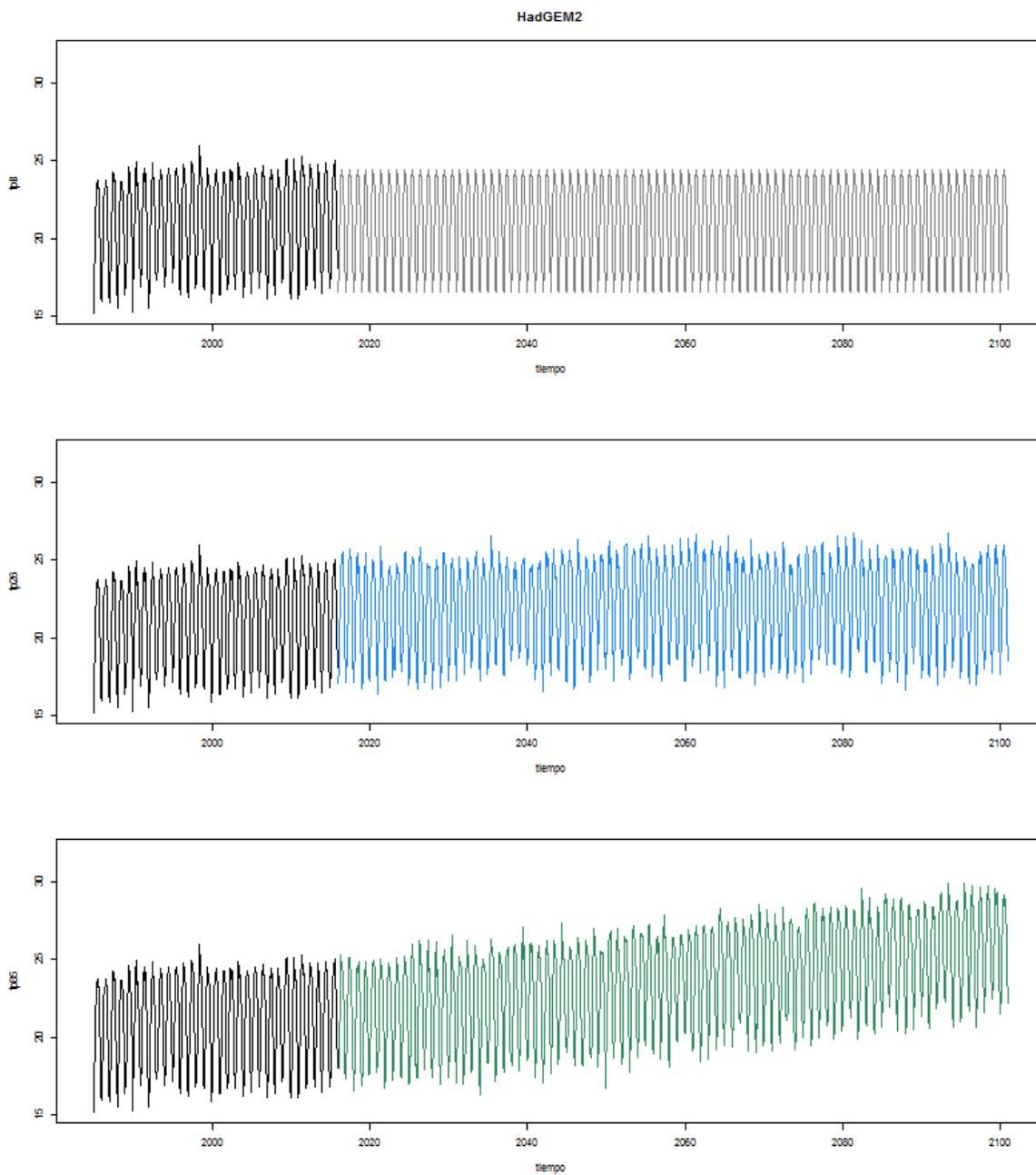
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-5. Escenarios futuros GFDL para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



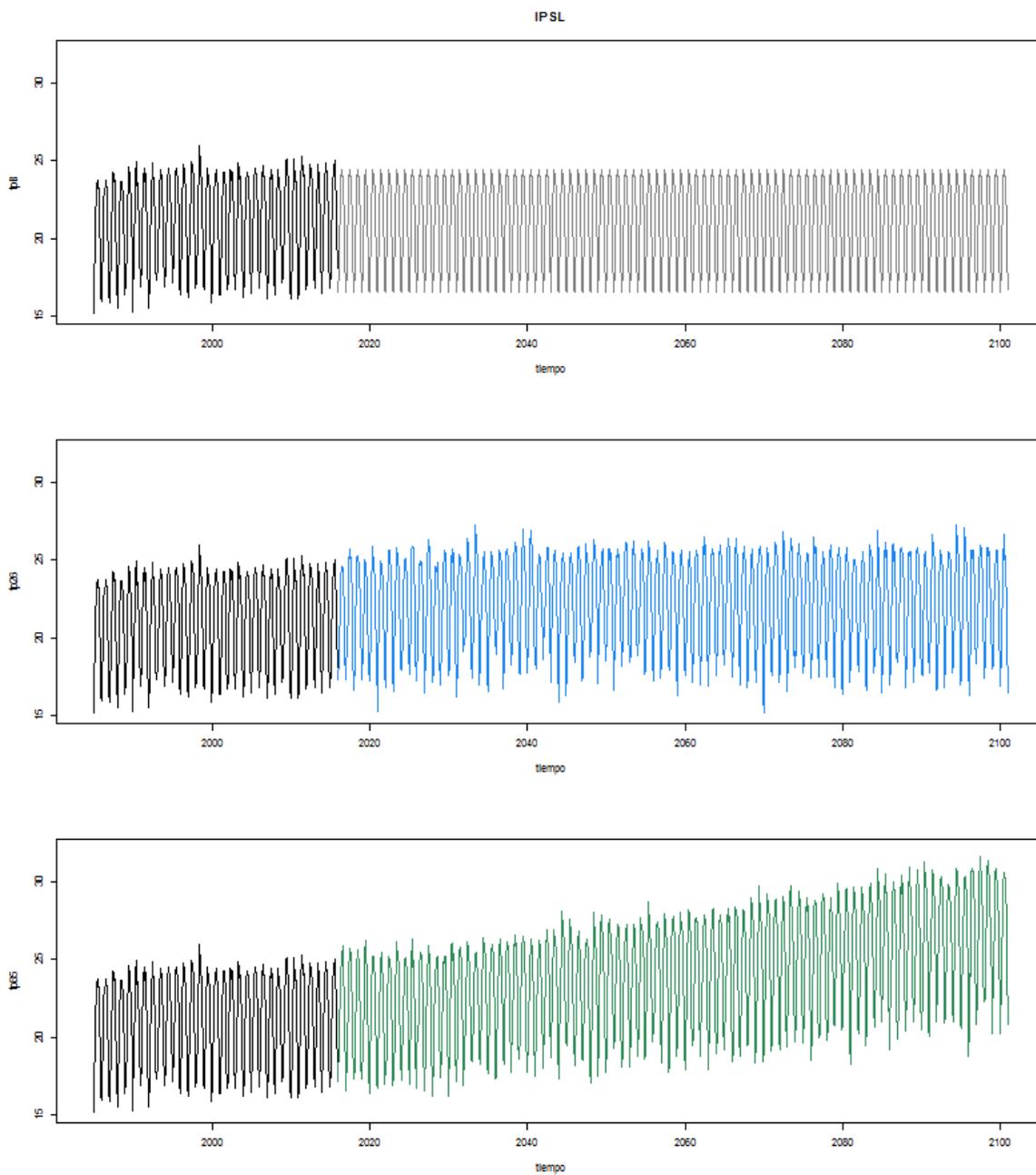
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-6. Escenarios futuros ENESM – HadGEM2 para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



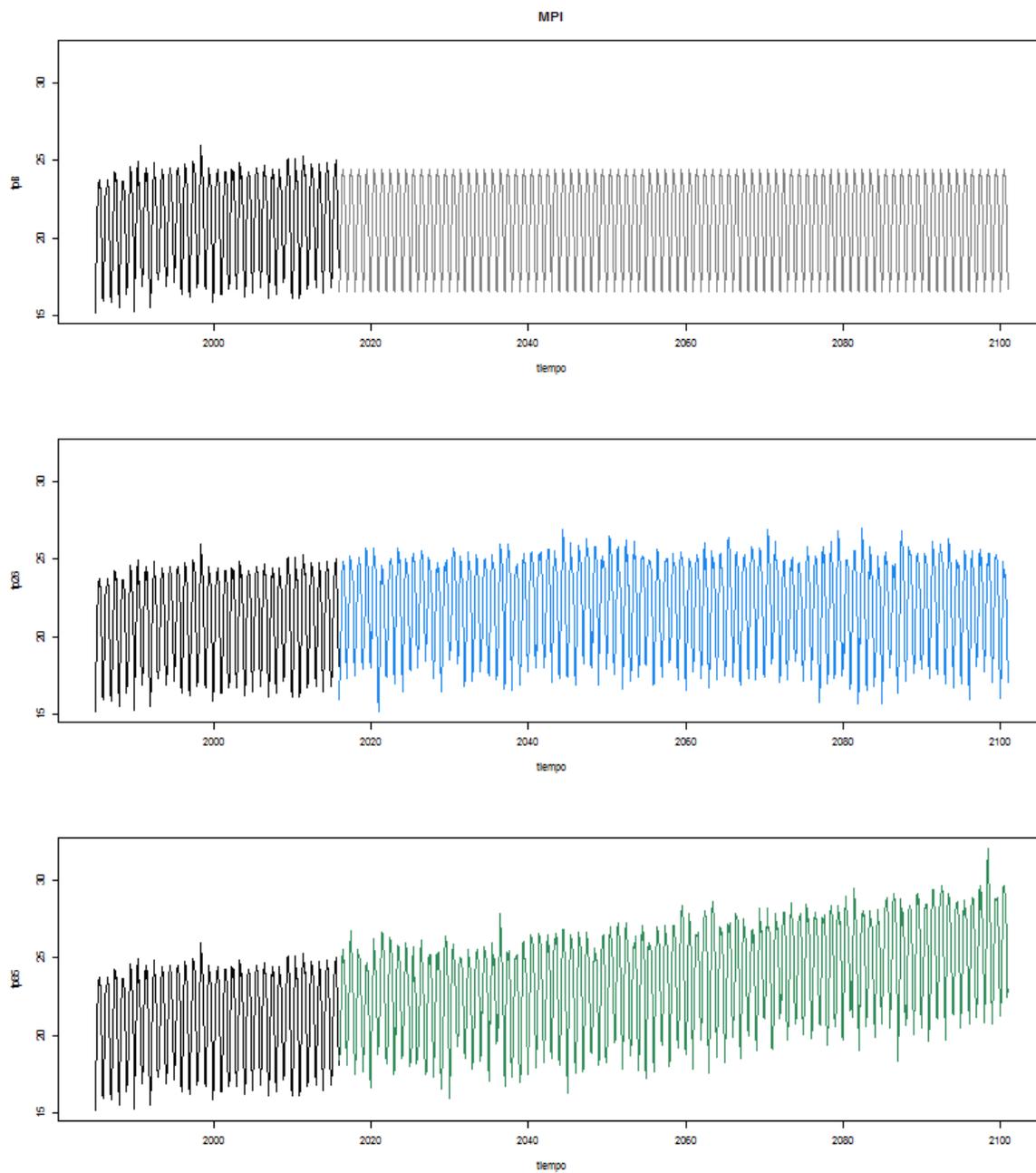
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-7. Escenarios futuros IPSL para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-8. Escenarios futuros MPI para la temperatura promedio. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



Fuente: Elaboración propia.

### 5.3 Escenarios futuros de población

Debe recordarse que los modelos inferenciales de la Sección 4, consideran al tamaño poblacional como un compensador del número de casos al definir las tasas de morbilidad relativas al tamaño de la población en riesgo. Para poder realizar pronósticos hacia el futuro es necesario considerar escenarios de crecimiento poblacional en el país.

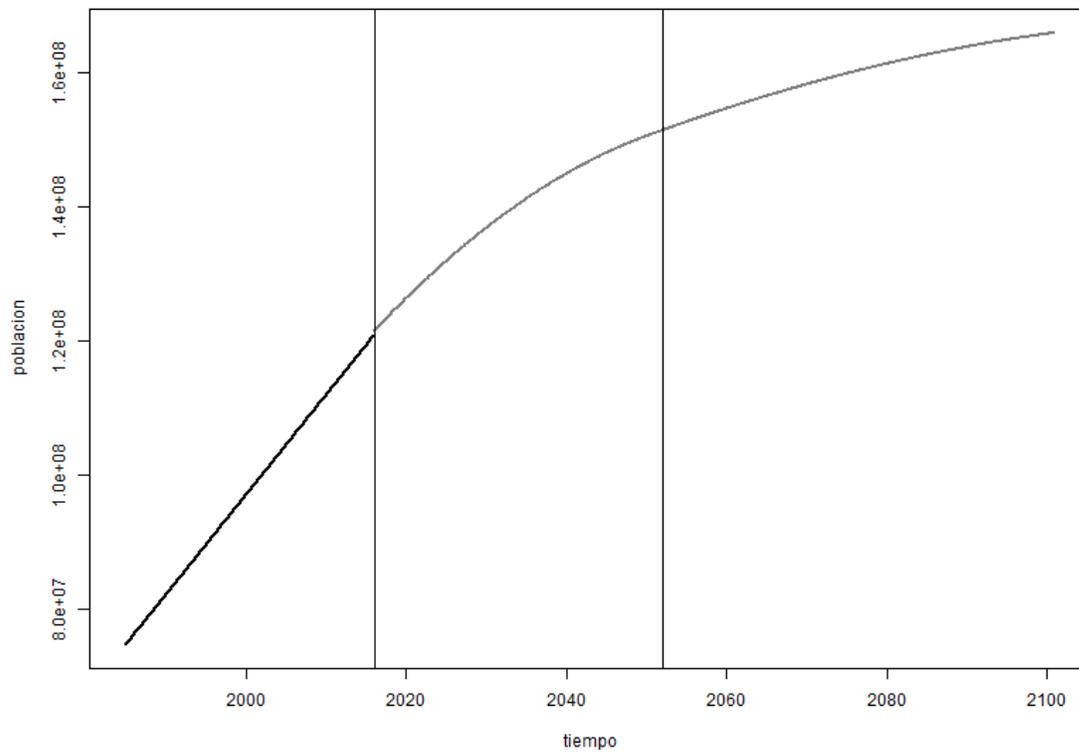
El Consejo Nacional de Población (CONAPO) realizó un escenario de crecimiento poblacional de 2016 a 2051. Este escenario está basado en condiciones demográficas de migración, natalidad y defunciones en el país. Para el presente estudio, se requiere la población del país hasta el año 2100. Si se considera la tasa de crecimiento poblacional, definida como  $Pob_t/Pob_{t-1} - 1$  se puede notar que ésta es de 1.26 por ciento en el año 2011, y llega hasta 0.28 por ciento en el año 2051, de acuerdo con los escenarios de CONAPO. El decremento de las tasas de crecimiento es casi lineal en estos años, por lo que para construir un escenario de la población hasta el 2100 se asume que las tasas de crecimiento poblacional siguen decreciendo de manera lineal hasta llegar a un valor de 0.1 por ciento en el año 2100.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la población observada de 1985 a 2015 (primer bloque), la proyección de CONAPO de 2016 a 2051 (segundo bloque), y la proyección futura propia, con los supuestos antes mencionadas, de 2052 a 2100 (tercer bloque). El supuesto del presente trabajo, resulta en que la población del país se mantiene en crecimiento pero con tasas menores que el supuesto de CONAPO.

Por otro lado, el Instituto Internacional para Análisis de Sistemas Aplicados ha creado una base de datos pública con proyecciones de las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés) y escenarios de apreciación integrados (Riahi & al., 2017). Los SSP, son parte de un marco, que la comunidad de investigación en cambio climático ha adoptado para facilitar un análisis integrado de impactos, vulnerabilidades, adaptación y mitigación de clima futuro. Existen cinco escenarios futuros, SSP1 a SSP5, los cuales combinan condiciones futuras de fertilidad, mortalidad, migración y educación. La población futura para cada uno de estos cinco escenarios, realizada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD), se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** El escenario más adverso en cuanto a crecimiento poblacional es el SSP3, el cual pronostica 237.6 millones de personas en México para el año 2100. Los otros cuatro escenarios son más conservadores, y pronostican un decremento poblacional a partir del año 2050.

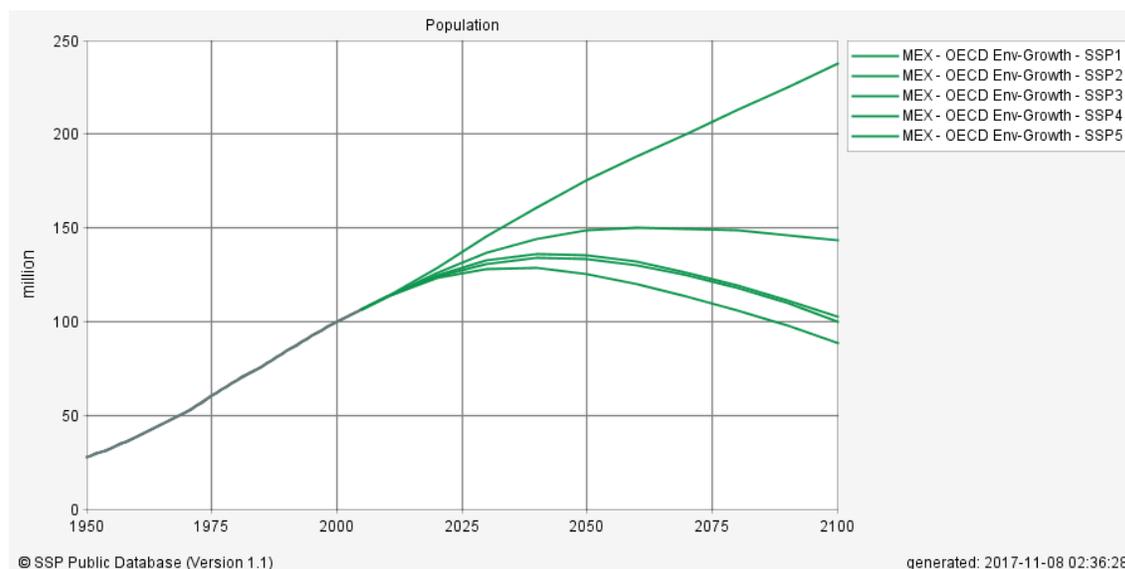
En resumen, se puede ver que el pronóstico basado en los supuestos de CONAPO, presenta un escenario intermedio, comparado con los cinco escenarios SSP. La base de datos con los pronósticos poblacionales es *pobFiN.csv*, la cual estará disponible.

Figura 5-9. Población de México. Observada de 1985 a 2015 (primer bloque), predicha por CONAPO de 2016 a 2051 (segundo bloque) y predicha por nosotros de 1952 a 2100 (tercer bloque).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-10. Población predicha por OECD. De 1950 a 2015 observada y de 2020 a 2100 predicha.



Fuente: SSP public database.

## 5.4 Pronósticos bayesianos

Las predicciones o pronósticos futuros en un contexto bayesiano, se realizan a partir de la distribución predictiva correspondiente, que para el caso del modelo *Poisson* nacional, de la Sección 4.1, es de la forma:

$$f(y_t|datos) = \int Po(y_t|\lambda_t)f(\lambda_t|datos)d\lambda_t$$

- $Po(y_t|\lambda_t)$  representa la distribución condicional del número de casos dadas las tasas
- $f(\lambda_t|datos)$  representa la distribución final de las tasas al tiempo  $t$ , que depende, a su vez, de la distribución final  $f(\alpha, \beta_j|datos)$  y de las variables explicativas  $pp_t$  y  $tp_t$
- $t$  es un tiempo futuro en el cual se quiere realizar el pronóstico

A partir del análisis inferencial de las enfermedades de las Secciones 4.3 a 4.6, se obtuvieron estimadores de los parámetros del modelo. En realidad se tiene caracterizada a la distribución final de los parámetros a partir de una muestra aleatoria obtenida a través de métodos de simulación MCMC. Esta muestra aleatoria de los parámetros, permite tener una muestra al azar de las tasas futuras  $\lambda_t$ , y con ellos es posible obtener una muestra aleatoria del número de casos futuros  $y_t$ , para todos los meses futuros  $t$ , de 2016 a 2100.

Con base en las simulaciones de clima futuros de cada uno de los cuatro institutos, se realizaron pronósticos para los cuatro grupos de enfermedades, y se consideraron, para cada

caso, tres escenarios de clima, escenario base, RCP2.6 y RCP8.5. Para no saturar las figuras, únicamente se presentan los pronósticos puntuales, sin embargo los pronósticos por intervalo también están disponibles.

## 5.5 Pronósticos mensuales para los cuatro grupos de enfermedades

### Enfermedades por calor y luz

La Figura 5.11, 5.12, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestran los pronósticos del número de casos por calor y luz para los cuatro institutos internacionales, GFDL, EMESM, IPSL y MPI, respectivamente. Cada figura contiene tres gráficas, con los escenarios base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). Las escalas de los ejes verticales en las gráficas de las cuatro figuras, se mantuvieron constantes para una mejor comparación visual. En cada gráfica se incluyen el número de casos observados en los periodos que se usaron para su análisis.

En la gráfica de arriba de las cuatro figuras se presenta el escenario base, el cual muestra una tendencia ligeramente creciente a lo largo del tiempo. Esto se debe exclusivamente al crecimiento poblacional, ya que las variables de clima se mantuvieron constantes a lo largo de los años.

En las gráficas de en medio y de debajo de las cuatro figuras, se observa como los escenarios de clima futuros producen un aumento en el número de casos por golpe de calor, comparado con el escenario base. En todos los casos los escenarios RCP8.5 producen un mayor número de casos que con los escenarios RCP2.6. El escenario más adverso, y que produce el mayor número de casos de todos es el RCP8.5 del instituto francés IPSL (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), el cual llega a tener cerca de 6,500 casos en el año 2097.

### ENFERMEDADES GASTROINTESTINALES

Las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestran los pronósticos del número de casos por enfermedad gastrointestinal para los cuatro institutos internacionales, GFDL, EMESM, IPSL y MPI, respectivamente. Cada figura contiene tres gráficas con los escenarios base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). Las escalas de los ejes verticales en las gráficas de las

cuatro figuras se mantuvieron constantes para una mejor comparación visual. En cada gráfica se incluyen el número de casos observados en los periodos que se usaron para su análisis.

Como en el caso de las enfermedades por calor, el escenario base (gráfica de arriba de las cuatro figuras) muestra una tendencia creciente suave a lo largo de los años la cual se debe exclusivamente al aumento de la población. Es de notar que los ciclos anuales se mantienen.

En el panel de en medio de las cuatro figuras se muestra el escenario RCP2.6 el cual no es muy distinto que el escenario base en cuanto al número de casos pronosticados. Incluso comparando el mismo escenario RCP2.6 para los cuatro institutos internacionales, no hay mucha diferencia.

Ahora, si se hace la comparación del escenario RCP8.5 con los otros dos, en todos los institutos se muestra un aumento considerable en el número de casos por enfermedad gastrointestinal, con el mayor número de casos el del instituto francés IPSL, en adición, es el que presenta mayor variabilidad y es creciente en el tiempo. Este mismo escenario RCP8.5 presenta dos picos, uno para el instituto americano GFDL en el año 2036 y otro para el instituto alemán MPI en el año 2098.

## ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestran los pronósticos del número de casos por enfermedad respiratoria para los cuatro institutos internacionales, GFDL, EMESM, IPSL y MPI, respectivamente. Cada figura contiene tres gráficas con los escenarios base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). Las escalas de los ejes verticales en las gráficas de las cuatro figuras se mantuvieron constantes para una mejor comparación visual. En cada gráfica se incluyen el número de casos observados en los periodos que se usaron para su análisis.

Es conveniente recordar que, para las enfermedades respiratorias, el clima y en particular la temperatura promedio, tiene un efecto negativo sobre las tasas de morbilidad, es decir, a mayor temperatura se tienen menos casos. Por lo tanto, el escenario base (panel superior de las cuatro figuras) es el que presenta más casos por enfermedades respiratorias y el cambio climático de los escenarios RCP2.6 y 8.5 disminuyen el número de casos.

En el caso de las enfermedades respiratorias el escenario más adverso en cuanto al número de casos es el RCP2.6 y de los cuatro institutos, el que visualmente parece ser el peor es el proveniente del instituto americano GFDL. Como se mencionó, el escenario que menos casos produce es el RCP8.5 y de ellos, el del instituto francés IPSL es el más bondadoso.

## ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTOR

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestran los pronósticos del número de casos por enfermedad transmitida por vector para los cuatro institutos internacionales, GFDL, EMESM, IPSL y MPI, respectivamente. Cada figura contiene tres gráficas con los escenarios base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). Las escalas de los ejes verticales en las gráficas de las cuatro figuras se mantuvieron constantes para una mejor comparación visual. En cada gráfica se incluyen el número de casos observados en los periodos que se usaron para su análisis.

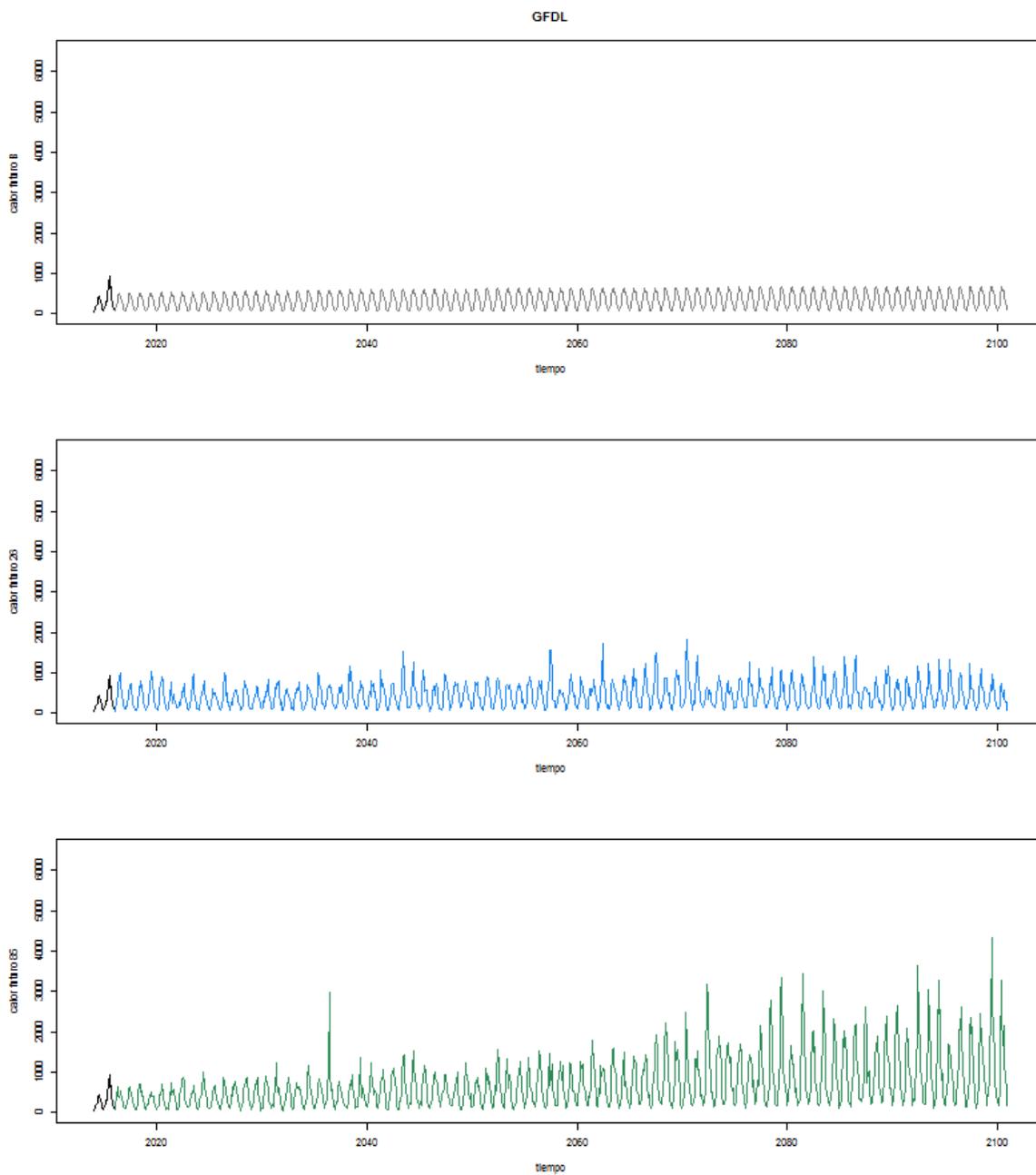
Recordar que para las enfermedades transmitidas por vector, el modelo *Poisson* tiene como variables explicativas las variables de clima en el mes corriente y retrasadas uno y dos meses. Esto hace que en los pronósticos los picos en el número de casos por vector tengan repercusión en los dos meses siguientes.

El escenario base (panel superior de las cuatro figuras) es el que presenta menos casos por enfermedades transmitidas por vector y su tendencia creciente es el reflejo exclusivo del crecimiento poblacional. Los escenarios RCP2.6 y 8.5 muestran un mayor número de casos, siendo el RCP8.5 el que más casos genera.

Los escenarios del instituto americano GFDL presentan mucha variabilidad y los picos que se mostraban en la precipitación pluvial se ven reflejados en múltiples picos tanto en el escenario RCP2.6 como en el RCP8.5. Incluso, el mes con más casos ocurre para el escenario RCP2.6 en el año 2021 con alrededor de 8,000 casos.

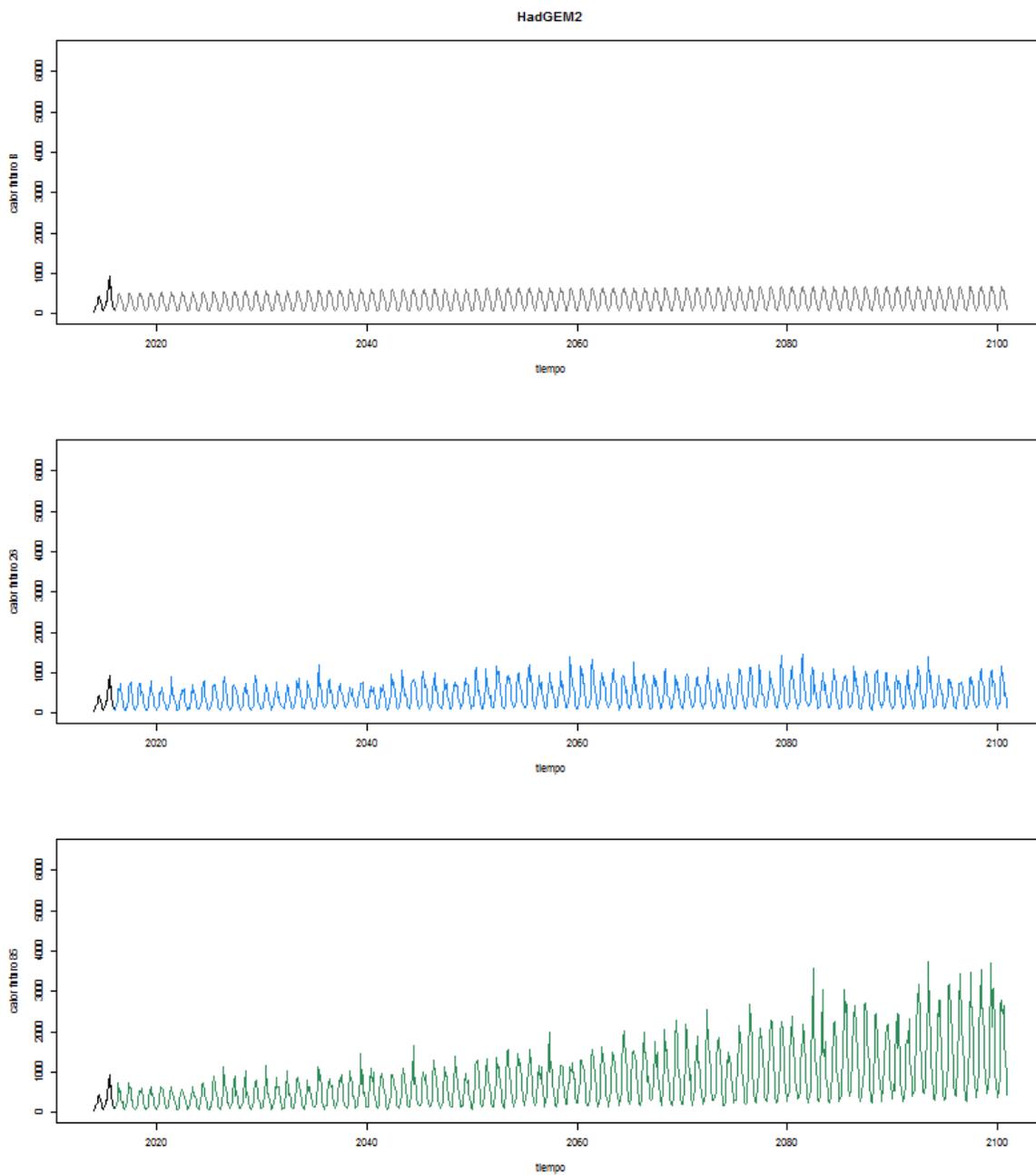
Por otro lado, los escenarios del instituto europeo ENESM – HadGEM2 son los que presentan menor varianza en el número de casos por enfermedad transmitida por vector.

Figura 5-11. Pronóstico total nacional (calor) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



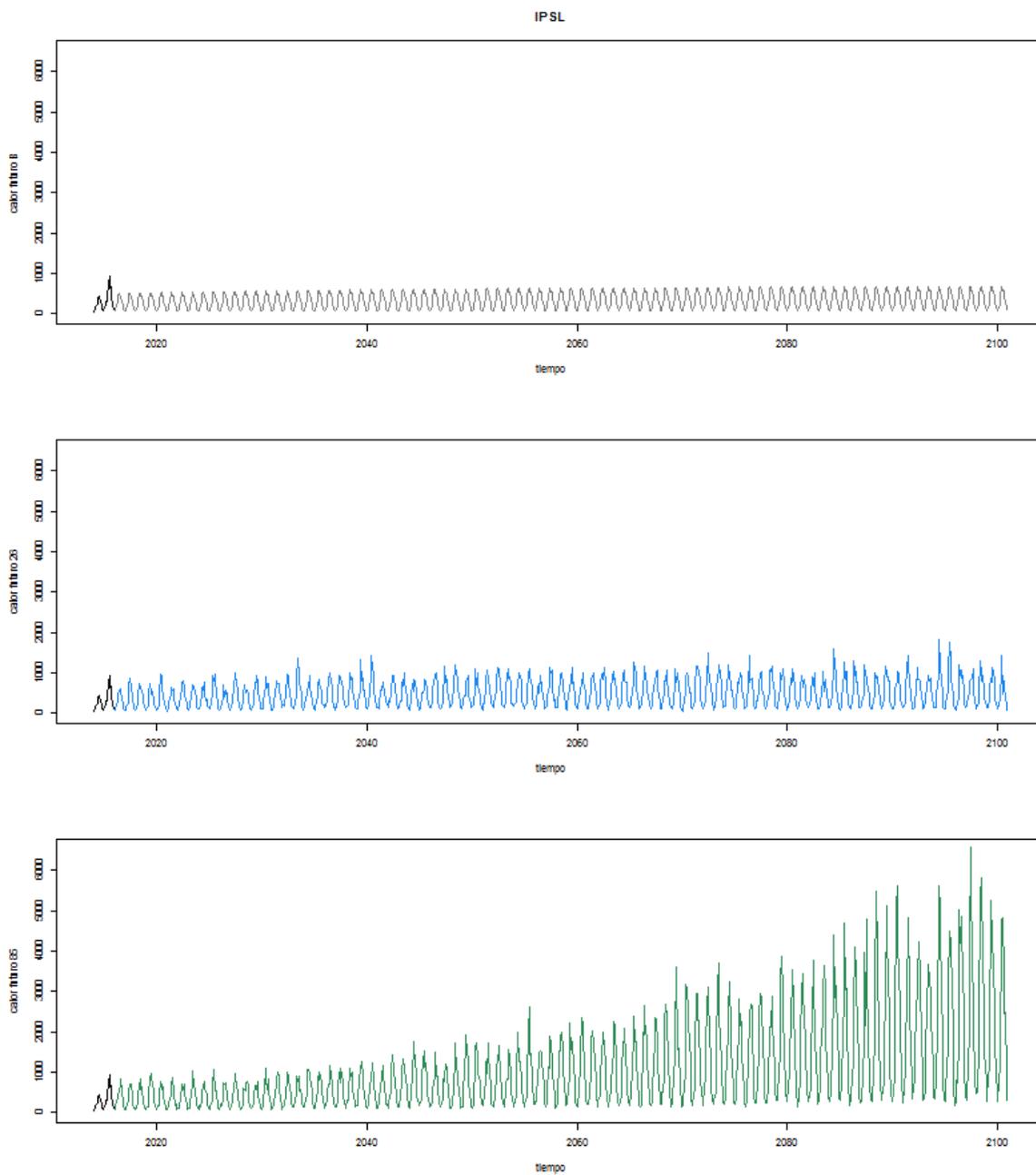
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-12 Pronóstico total nacional (calor) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



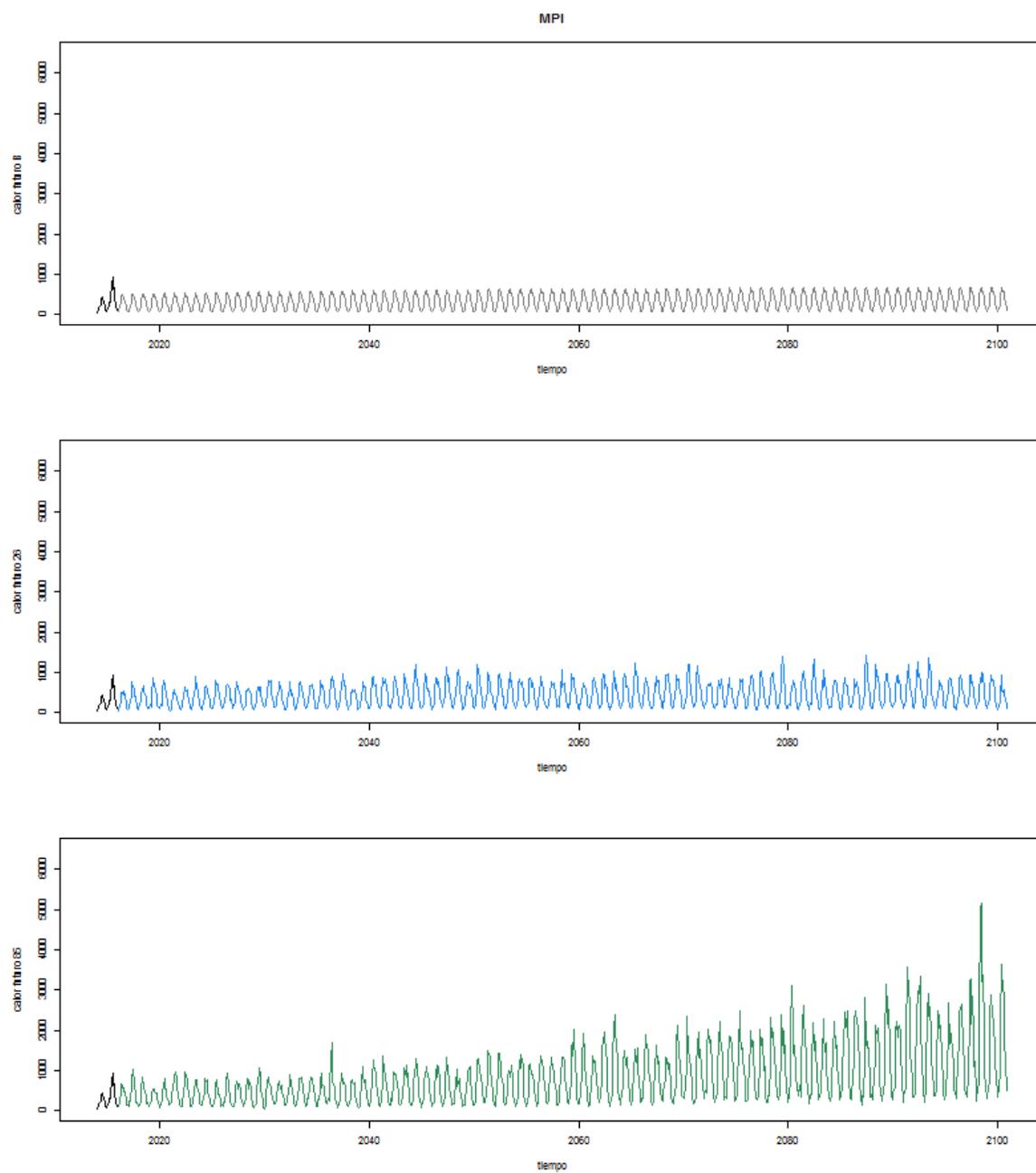
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-13 Pronóstico total nacional (calor) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



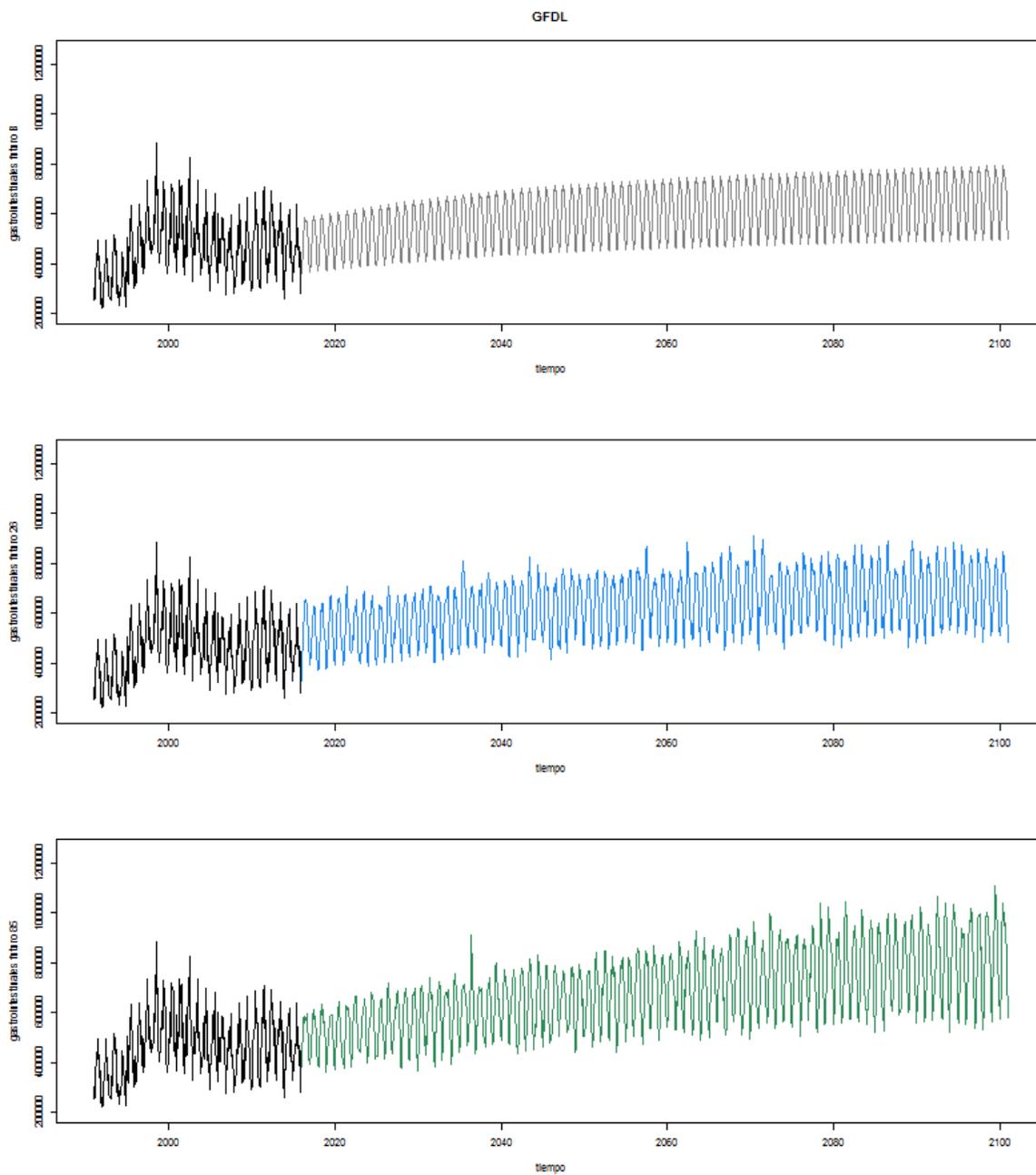
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-14. Pronóstico total nacional (calor) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



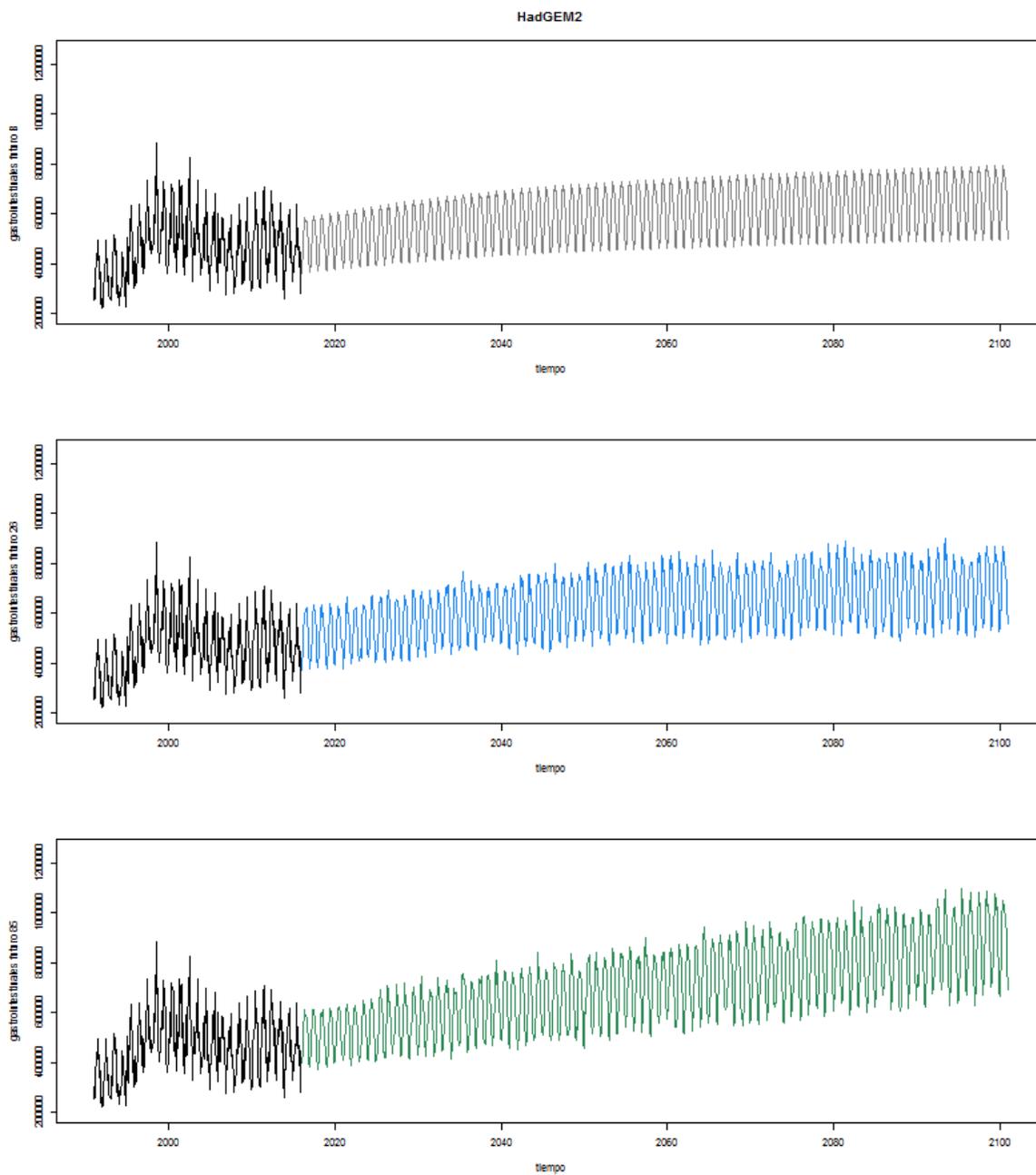
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-15. Pronóstico total nacional (gastro) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



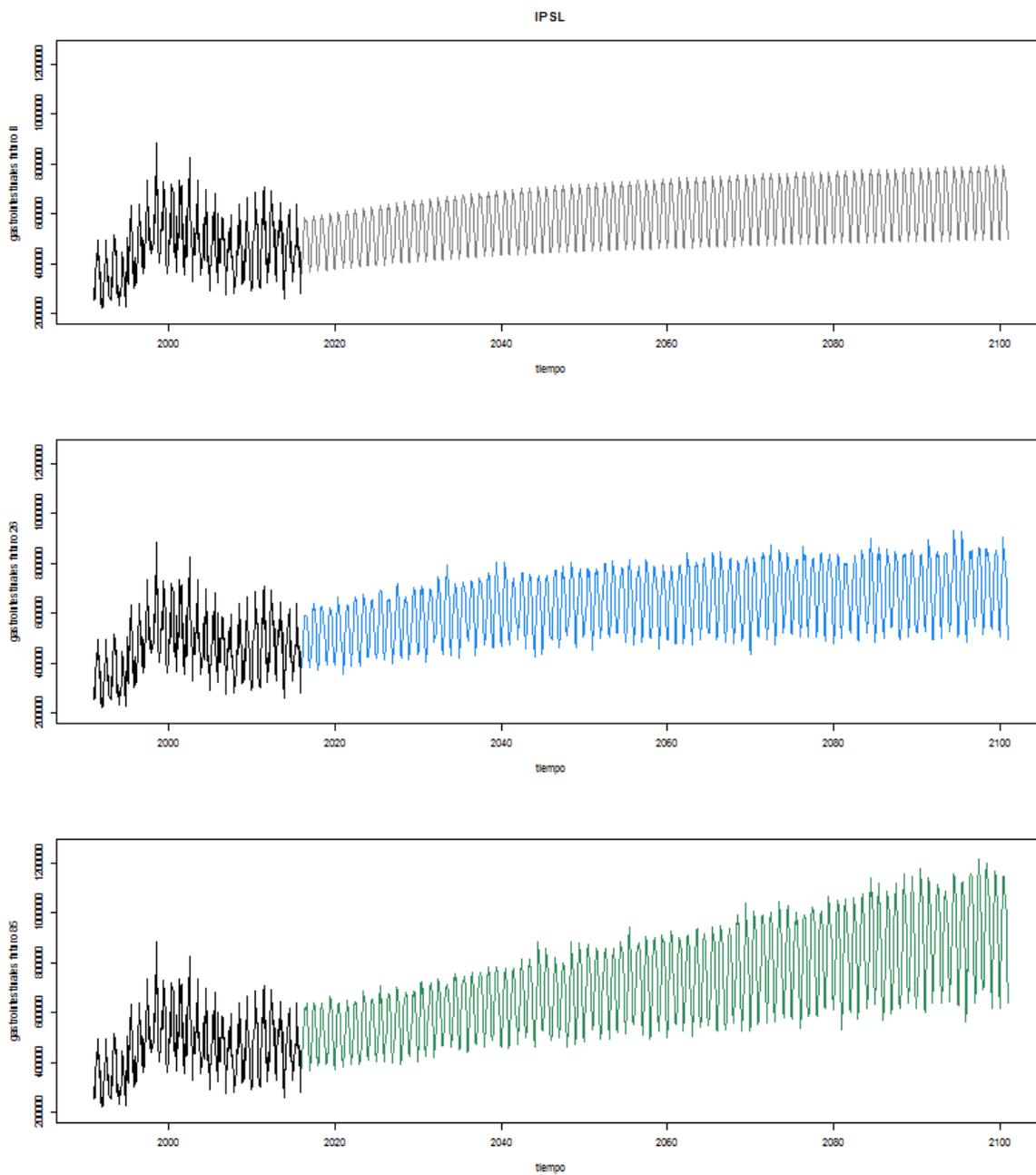
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-16. Pronóstico total nacional (gasto) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



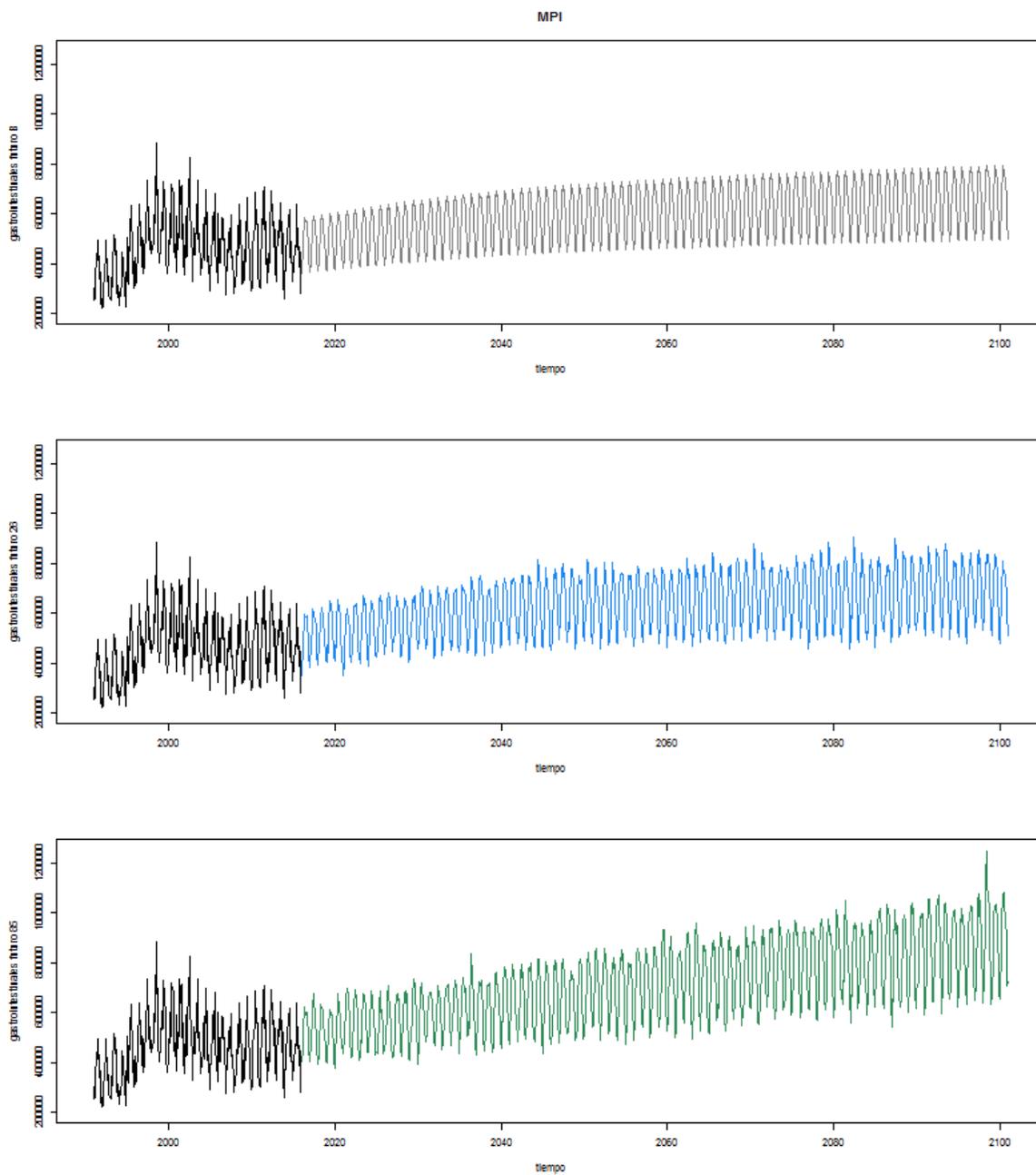
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-17. Pronóstico total nacional (gastro) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



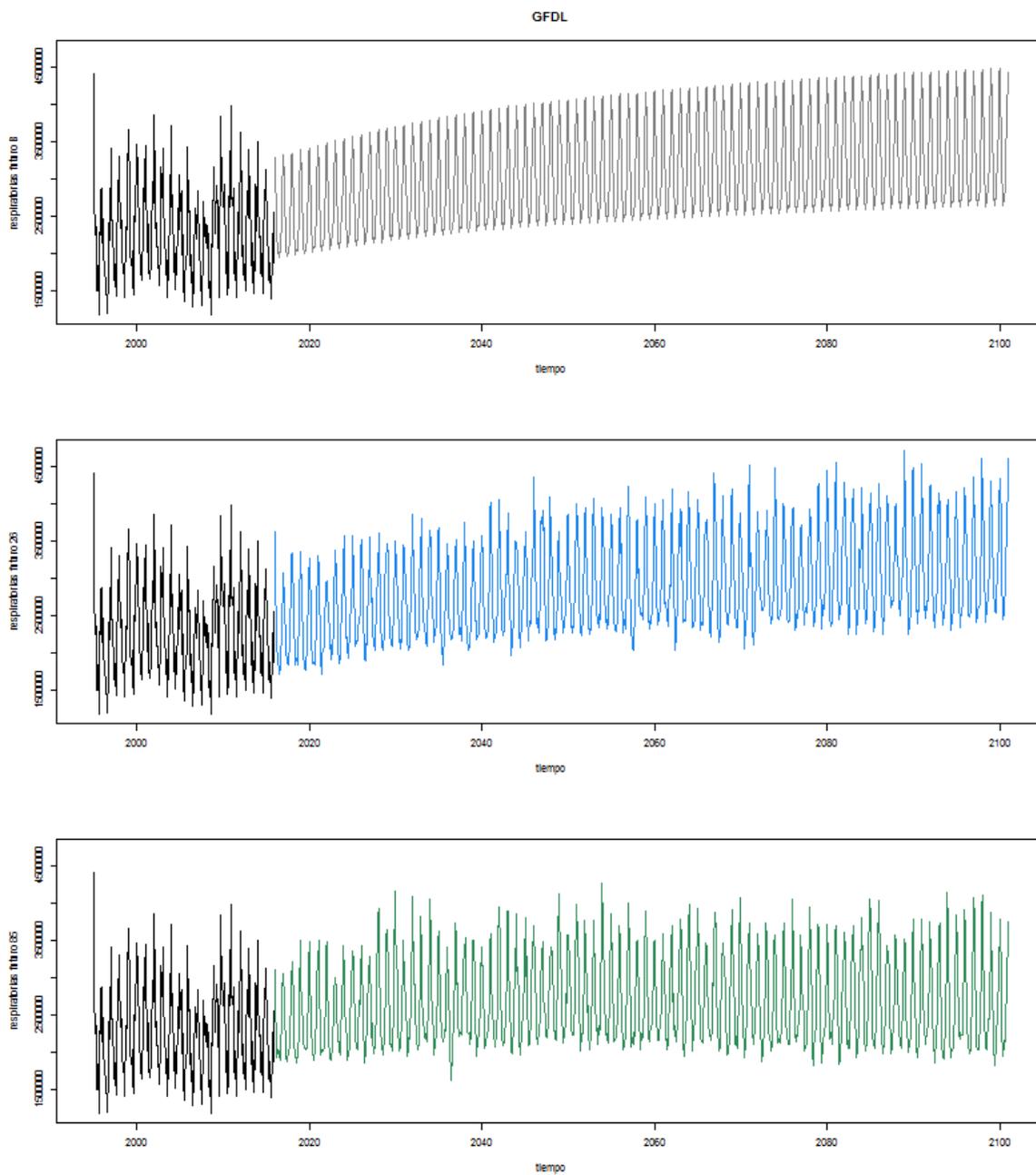
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-18. Pronóstico total nacional (gastro) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



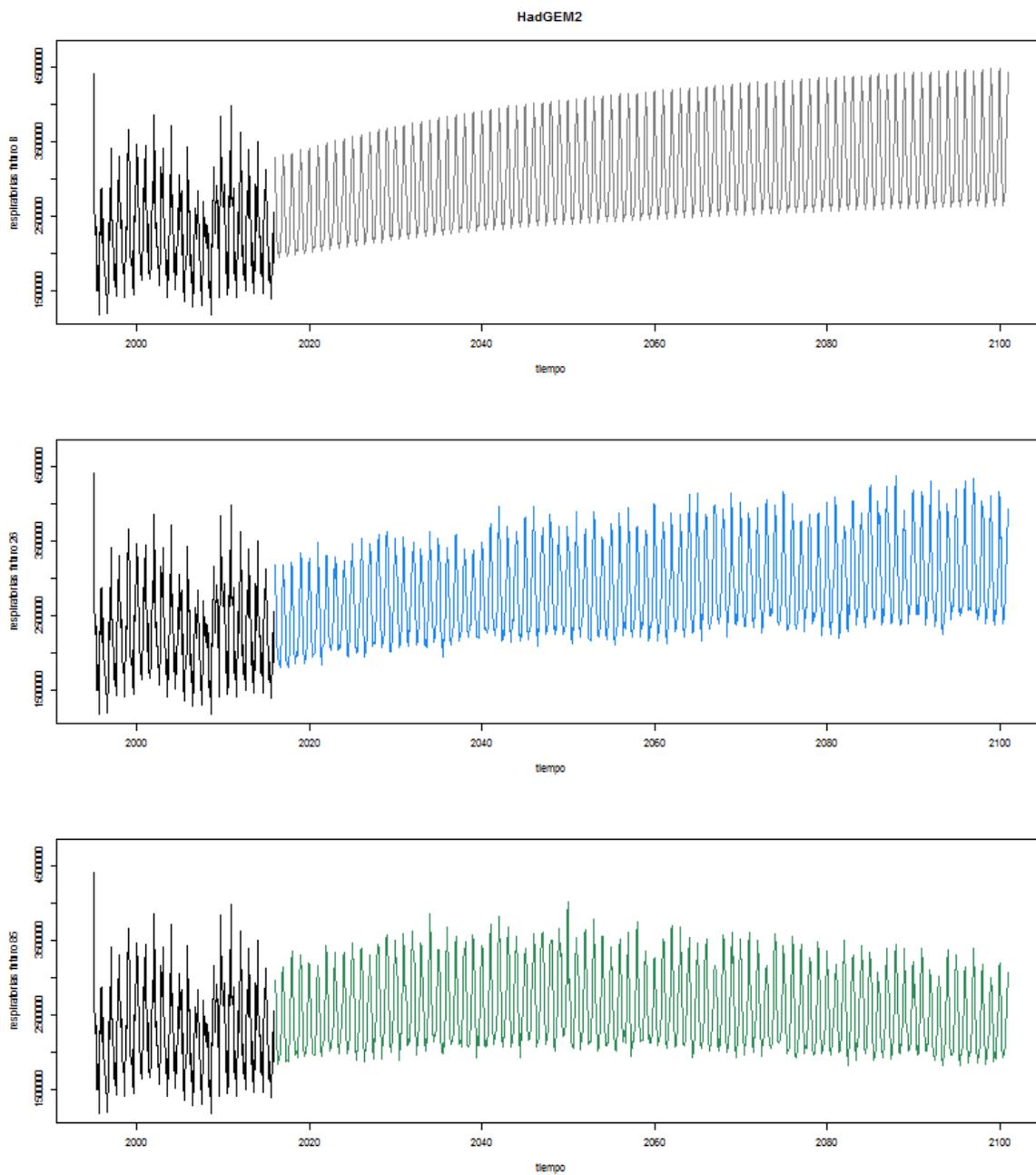
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-19. Pronóstico total nacional (resp) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



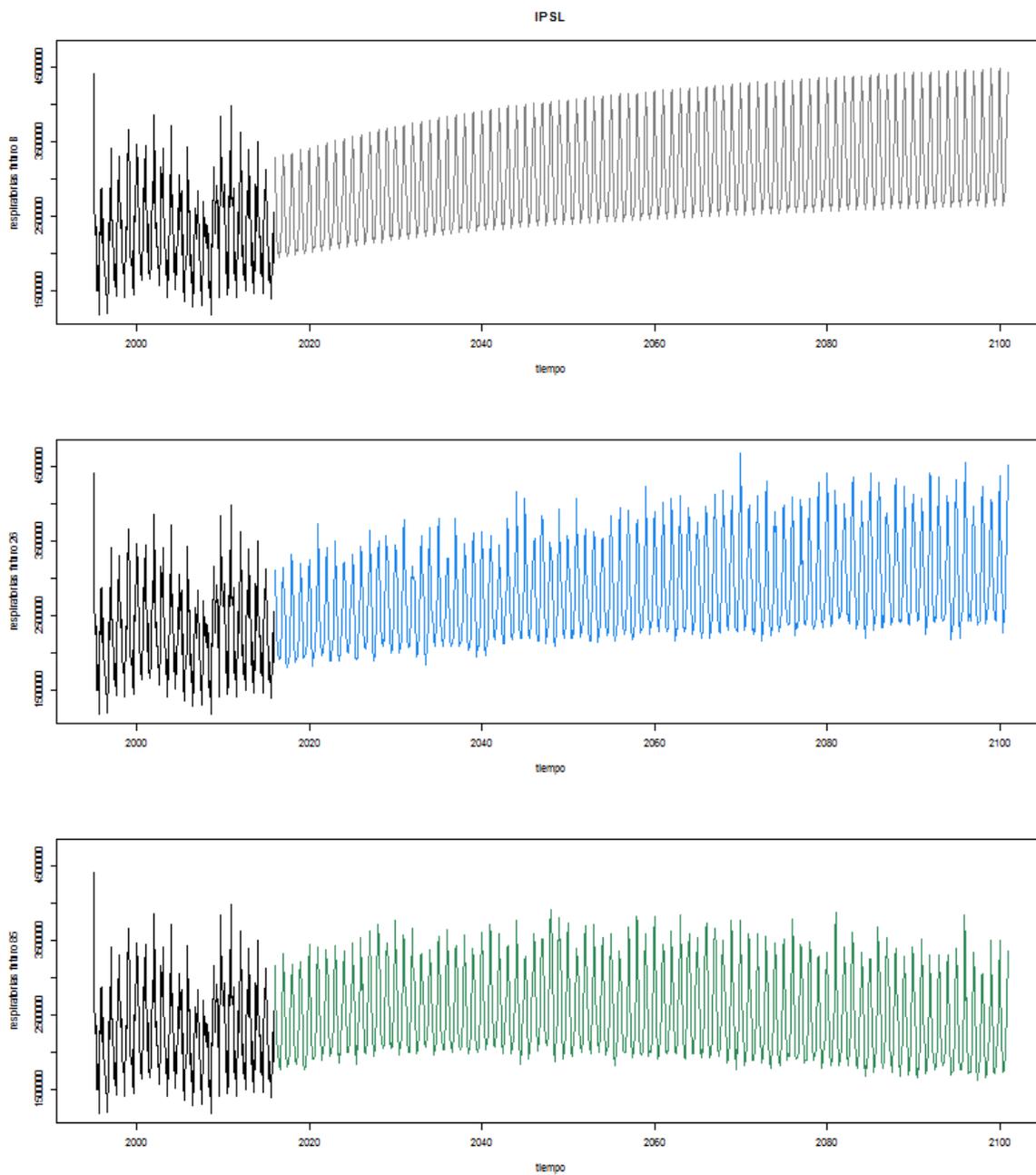
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-20. Pronóstico total nacional (resp) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



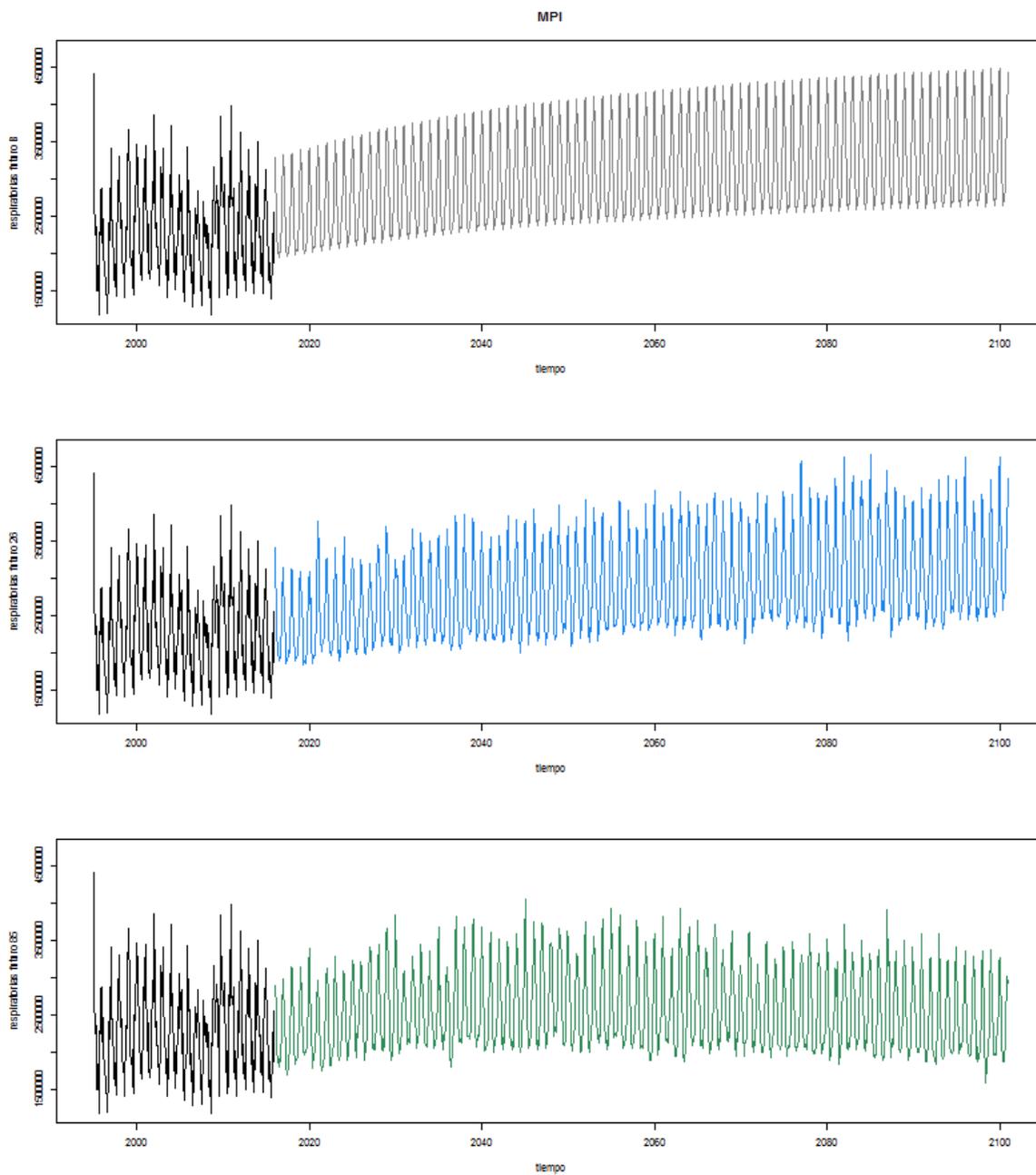
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-21. Pronóstico total nacional (resp) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



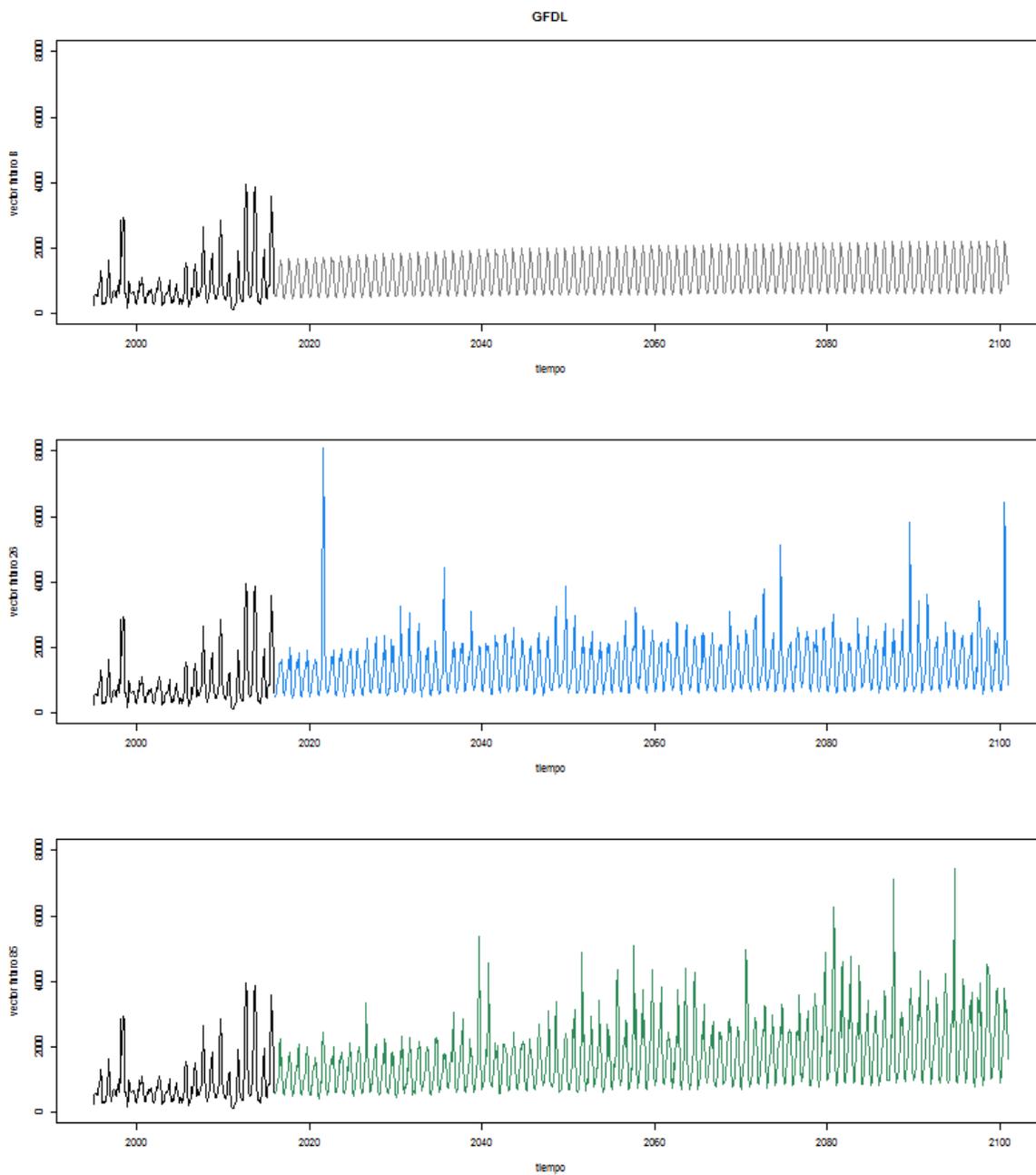
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-22. Pronóstico total nacional (resp) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



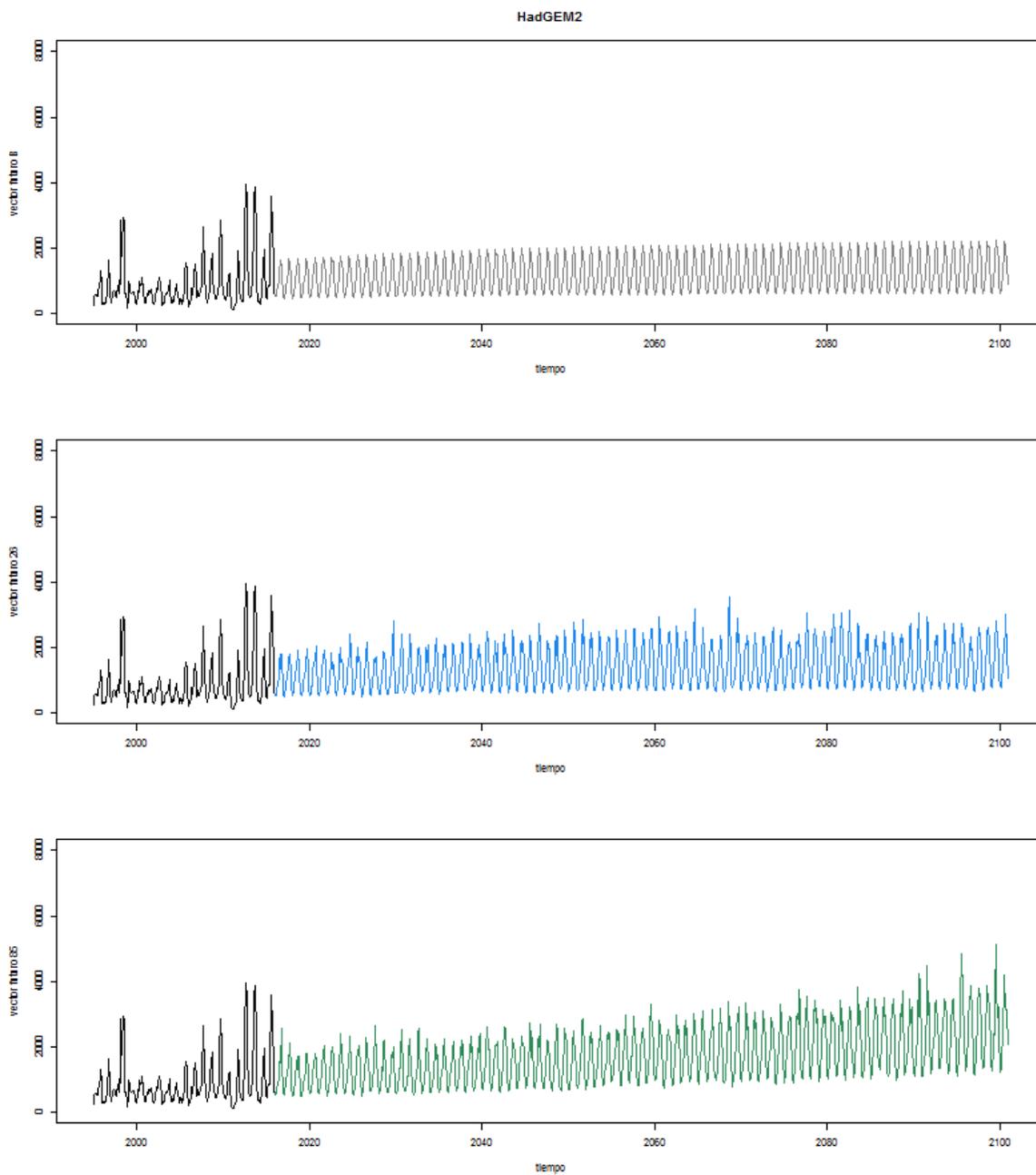
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-23. Pronóstico total nacional (vector) bajo GFDL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



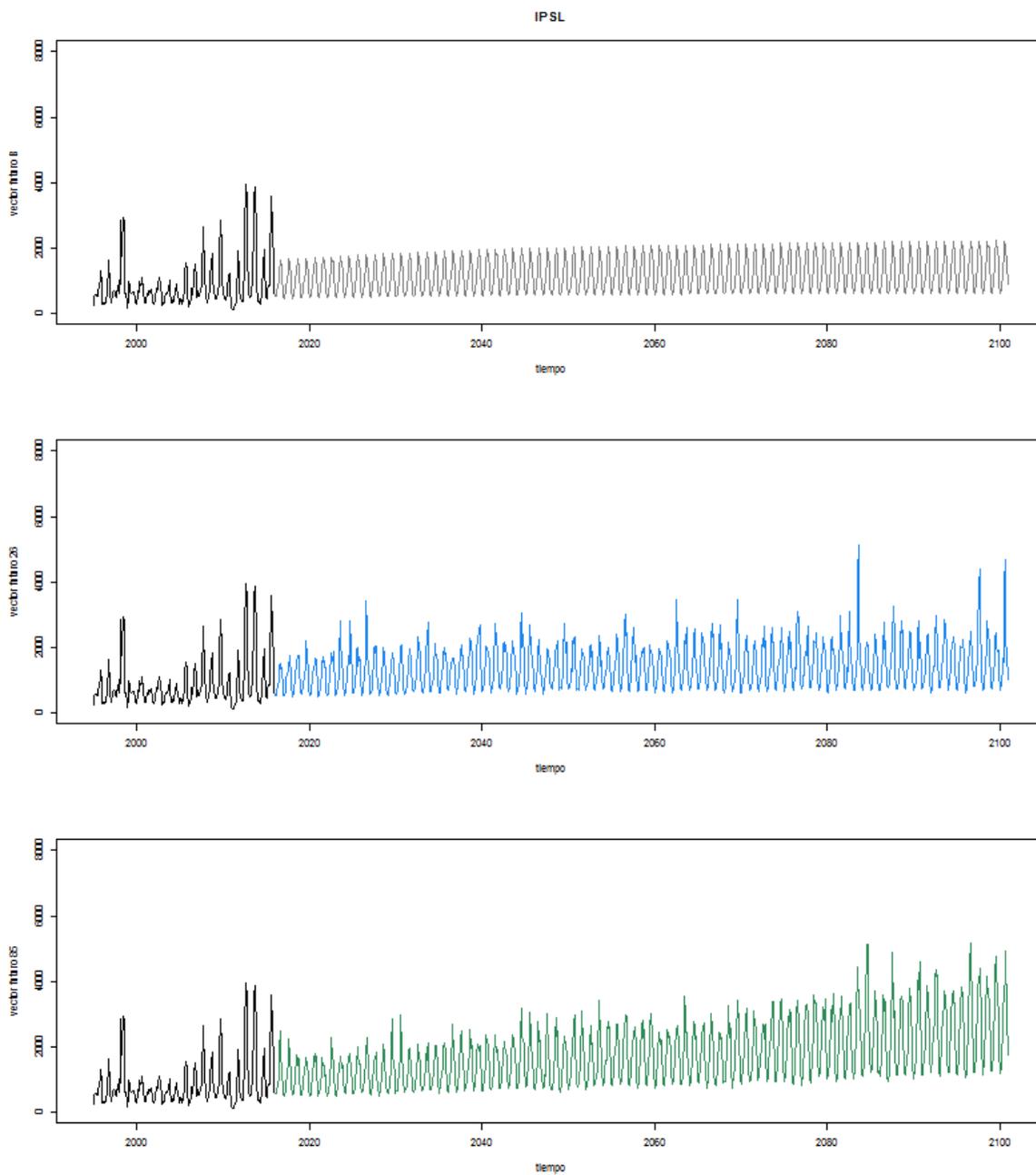
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-24. Pronóstico total nacional (vector) bajo ENESM – HadGEM2. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



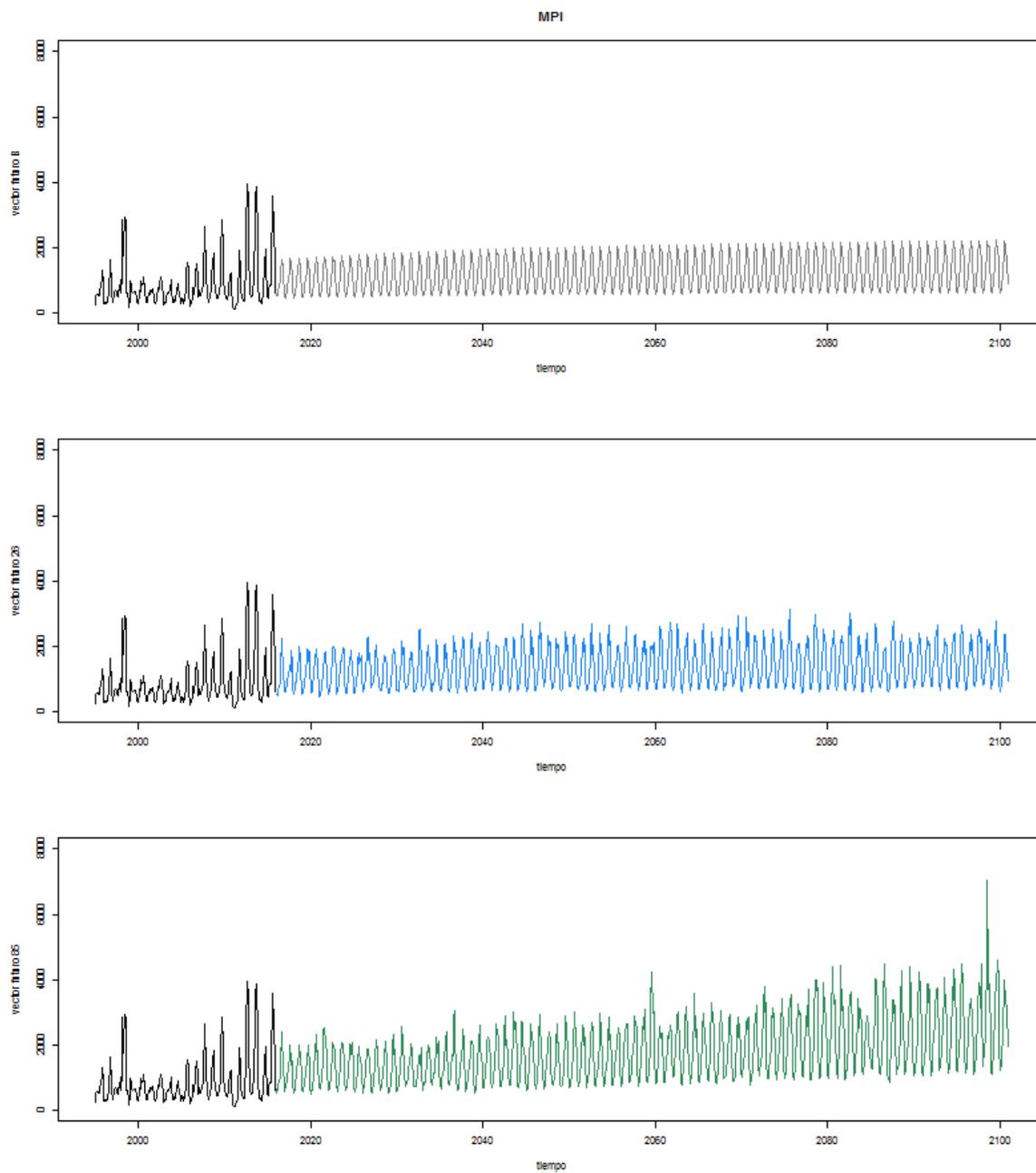
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-25. Pronóstico total nacional (vector) bajo escenario IPSL. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-26. Pronóstico total nacional (vector) bajo escenario MPI. Escenario base (arriba), RCP2.6 (en medio) y RCP8.5 (abajo). En negro (histórico) y en color (futuro).



Fuente: Elaboración propia.

## 5.6 Pronósticos agregados futuros por enfermedad

En la Sección anterior se presentaron los pronósticos, de forma puntual, mensuales para los años de 2016 a 2100. En total, se tienen los pronósticos de nuevos casos para 1,020 meses futuros. Los pronósticos presentados corresponden a la predicción puntual del número de casos, sin embargo, se cuenta con información para caracterizar toda la distribución predictiva para cada uno de los meses y, en particular, es posible obtener intervalos de pronóstico a cierta probabilidad deseada, por ejemplo, 95 por ciento.

Si se define a  $Y_t^F$ , como el número de casos por enfermedad para los meses futuros  $t = 1, \dots, 1020$ , entonces es posible agregar todas estas variables aleatorias de tal manera que:

$$W_{TOT}^F = \sum_{t=1}^{1020} Y_t^F$$

represente el número total de casos futuros.  $W_{TOT}^F$  es una variable aleatoria cuya distribución predictiva es posible caracterizar a través de una muestra MCMC.

Para cada uno de los cuatro grupos de enfermedades, se calculó la distribución predictiva de  $W_{TOT}^F$  con los escenarios de clima futuros producidos por cada una de los cuatro institutos internacionales ya citados. Como las distribuciones predictivas son muy similares en forma, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia., ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. y ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presentan las distribuciones predictivas para los cuatro grupos de enfermedades, respectivamente, obtenidas con los escenarios del instituto europeo ENESM – HadGEM2, ya que se podría pensar como uno de los más conservadores. En cada figura se incluyen tres distribuciones predictivas, la correspondiente al escenario base (gris), la correspondiente al escenario RCP2.6 (azul) y la correspondiente al escenario RCP8.5 (verde).

Para los casos agregados futuros por calor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), se observa que el escenario base presenta una distribución predictiva localizada en valores alrededor de los 300,000 casos, seguida de la distribución predictiva del escenario RCP2.6, con valores alrededor de los 400,000 casos. Estas dos distribuciones tienen dispersiones similares, sin embargo, la distribución predictiva correspondiente al escenario RCP8.5, se localiza alrededor de los 800,000 casos, casi el doble de los obtenidos con el escenario RCP2.6, y además presenta una dispersión mucho mayor.

Las distribuciones predictivas de los casos agregados por enfermedad gastrointestinal, se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En ésta, observamos que la diferencia principal en las tres distribuciones predictivas presentadas es la localización y no la dispersión. La correspondiente al escenario base se localiza alrededor de los 600 millones

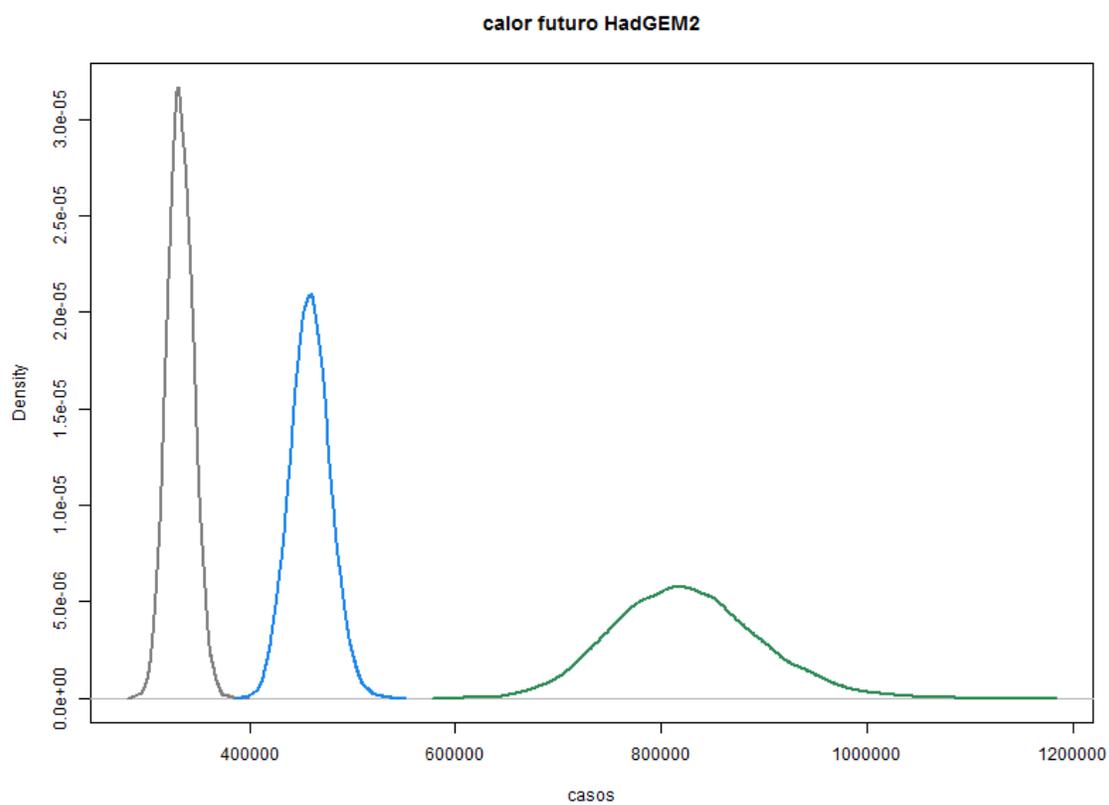
de casos, la del escenarios RCP2.6 alrededor de los 650 millones, mientras que la correspondiente al escenario RCP8.5, se localiza alrededor de los 735 millones de nuevos casos.

Con respecto a las enfermedades respiratorias, es conveniente recordar que los escenarios de clima futuro RCP 2.6 y 8.5, producen un número menor de casos que el escenario base, debido a que aumentos de la temperatura son benéficos para estas enfermedades. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa que las tres distribuciones predictivas tienen una dispersión similar, y que la correspondiente al escenario base se localiza alrededor de los 3,150 millones de nuevos casos, la distribución del escenario RCP2.6, se localiza alrededor de los 2,900 millones de nuevos casos, y finalmente la correspondiente al escenario RCP8.5, se localiza alrededor de los 2,600 millones de nuevos casos.

Para las enfermedades transmitidas por vector, sus correspondientes distribuciones predictivas, se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Al igual que en el caso de las enfermedades por golpe de calor, la distribución predictiva del escenario RCP8.5, presenta una dispersión mucho mayor que las obtenidas con los otros dos escenarios. La distribución predictiva obtenida con el escenario base, se centra alrededor de los 1.2 millones, la correspondiente con el escenario RCP2.6, se localiza alrededor de los 1.4 millones, y finalmente la obtenida con el escenario RCP8.5, además de tener mayor dispersión, se localiza alrededor de los 1.75 millones de nuevos casos.

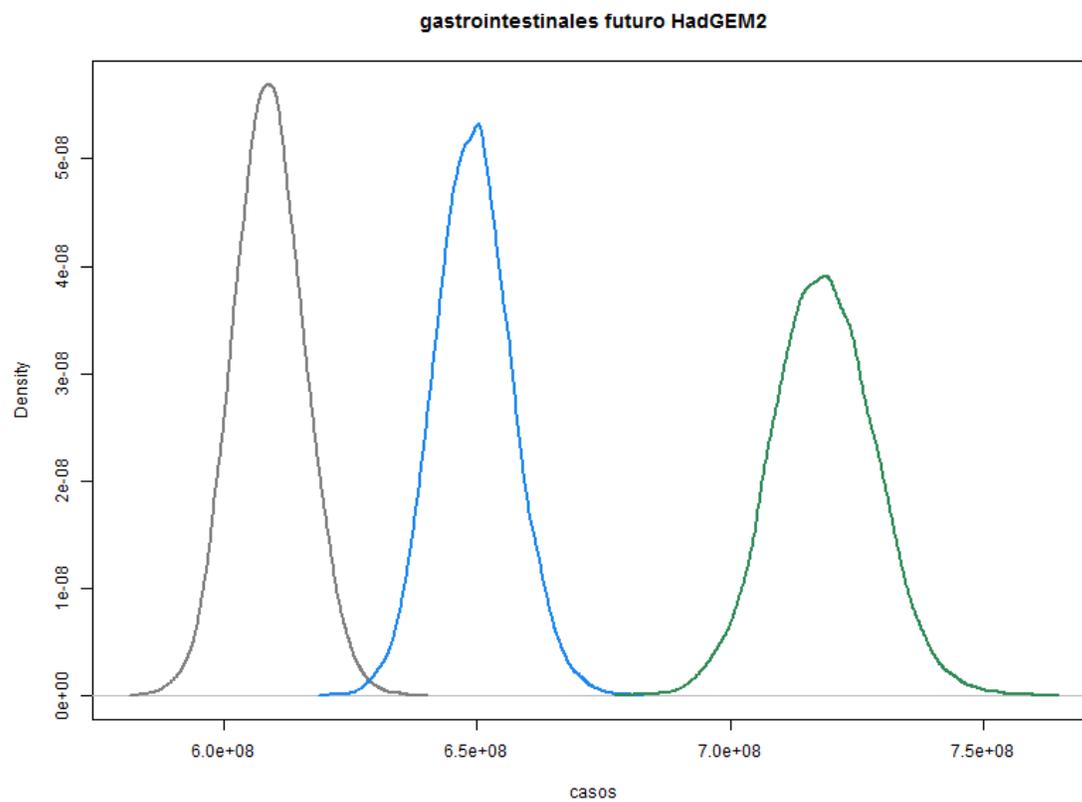
Resúmenes numéricos de estas distribuciones predictivas, para los tres escenarios de los cuatro institutos internacionales y de las cuatro enfermedades, se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En específico, se reporta la media de la distribución predictiva que se puede tomar como un predictor o pronóstico puntual, la desviación estándar, para tener una idea de la dispersión de la distribución, y los cuantiles de orden 2.5 por ciento y 97.5 por ciento, los cuales forman un intervalo de pronóstico al 95 por ciento de probabilidad. En la tabla, se observan las diferencias en los pronósticos obtenidos con las simulaciones de los cuatro institutos, por lo general los pronósticos puntuales no discrepan mucho, sin embargo las predicciones por intervalo pueden llegar a ser muy distintas. En particular, las predicciones obtenidas con el instituto francés (IPSL), son las que tienen mayor variabilidad (desviación estándar grande), lo que implica que sus respectivos intervalos predictivos sean más anchos que los de los demás institutos.

Figura 5-27. Distribución predictiva del número de casos totales futuros  $W_{TOT}^F$  por calor basado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde).



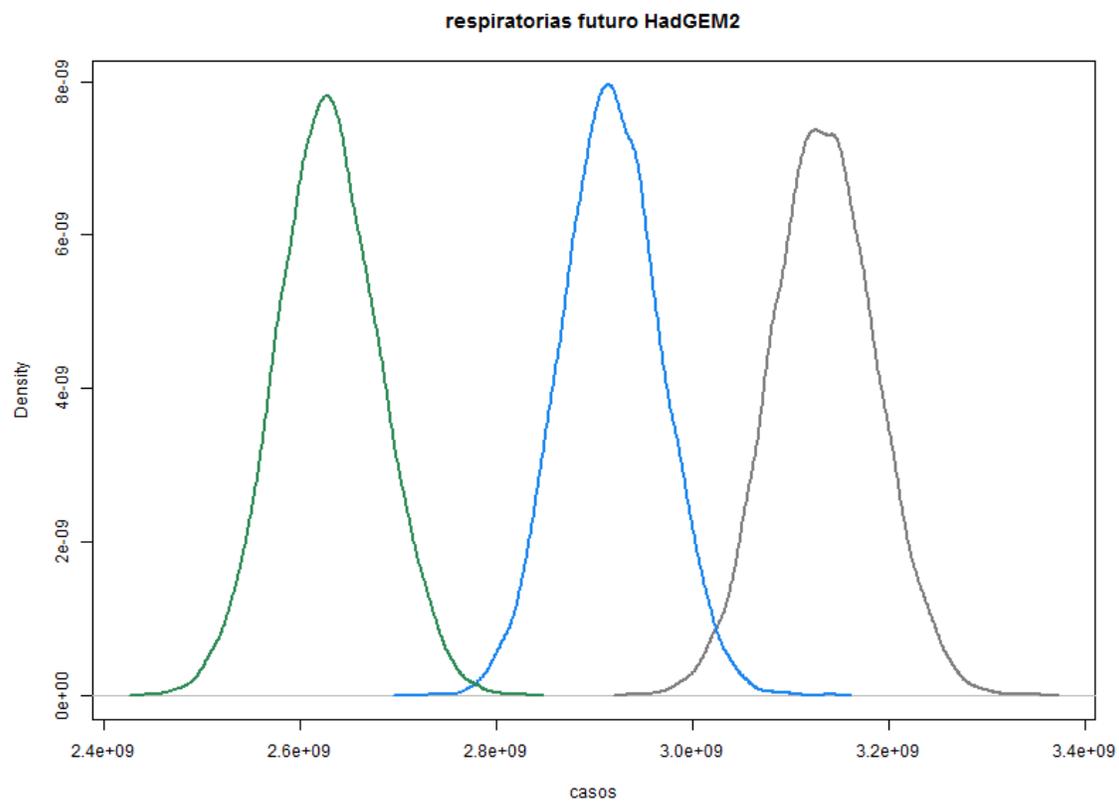
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-28. Distribución predictiva del número de casos totales futuros  $W_{TOT}^F$  (gastro) basado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde).



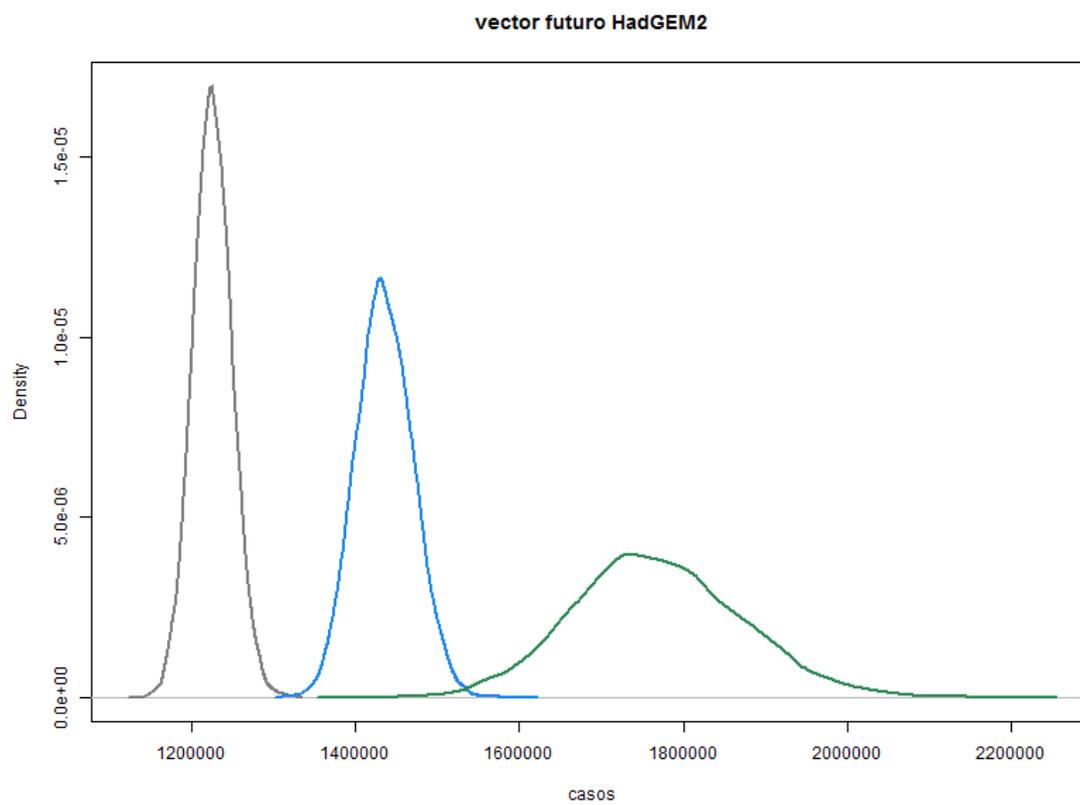
Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-29. Distribución predictiva del número de casos totales futuros  $W_{TOT}^F$  (resp) basado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 5-30. Distribución predictiva del número de casos totales futuros  $W_{TOT}^F$  (vector) asado en escenarios de ENESM – HadGEM2. Escenario base (gris), RCP2.6 (azul), y RCP8.5 (verde).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5-1. Resúmenes numéricos del número casos totales futuros  $W_{TOT}^F$  para los escenarios base, RCP2.6 y RCP8.5 y para los cuatro institutos internacionales.

Instituto	Escenario	Media	Des.Est.	Q2.5%	Q97.5%
<b>Enfermedades por calor</b>					
GFDL	Base	333,186	12,731	308,970	358,591
	RCP2.6	447,482	18,550	411,910	485,010
	RCP8.5	710,327	51,609	615,719	817,472
ENESM	RCP2.6	459,345	19,304	422,380	498,410
	RCP8.5	824,017	69,604	697,579	969,322
IPSL	RCP2.6	505,790	24,941	458,400	556,311
	RCP8.5	1,106,967	134,268	871,088	1,396,020
MPI	RCP2.6	458,800	19,272	421,790	497,900
	RCP8.5	854,590	71,425	724,550	1,002,991
<b>Enfermedades gastrointestinales</b>					
GFDL	Base	608,897,576	7,039,587	595,540,000	623,000,000
	RCP2.6	644,396,227	7,527,542	630,179,750	659,580,250
	RCP8.5	698,627,887	9,271,149	680,909,750	717,390,750
ENESM	RCP2.6	649,336,657	7,649,624	634,739,750	664,820,250
	RCP8.5	718,629,139	10,065,155	699,000,000	738,610,250
IPSL	RCP2.6	657,148,919	7,862,782	642,050,000	673,030,750
	RCP8.5	742,854,933	11,359,205	720,759,750	765,300,250
MPI	RCP2.6	648,230,032	7,600,136	633,669,750	663,400,250
	RCP8.5	726,218,311	10,387,438	705,790,000	746,970,000
<b>Enfermedades respiratorias</b>					
GFDL	Base	3,134,582,633	53,000,175	3,031,697,500	3,240,100,000
	RCP2.6	2,950,483,906	50,300,252	2,854,097,500	3,050,800,000
	RCP8.5	2,717,622,856	50,632,561	2,618,497,500	2,817,700,000
ENESM	RCP2.6	2,918,032,283	50,084,334	2,821,400,000	3,016,502,500
	RCP8.5	2,629,857,506	51,846,730	2,529,500,000	2,733,200,000
IPSL	RCP2.6	2,889,812,244	50,273,533	2,792,700,000	2,989,702,500
	RCP8.5	2,564,367,394	52,169,439	2,463,200,000	2,668,500,000
MPI	RCP2.6	2,928,859,572	50,333,329	2,831,400,000	3,029,302,500
	RCP8.5	2,601,383,200	52,197,326	2,499,800,000	2,705,702,500
<b>Enfermedades transmitidas por vector</b>					
GFDL	Base	1,226,527	23,985	1,180,000	1,274,800
	RCP2.6	1,439,344	33,231	1,377,898	1,505,700
	RCP8.5	1,735,609	74,113	1,597,300	1,886,200
ENESM	RCP2.6	1,436,114	34,639	1,370,400	1,505,603
	RCP8.5	1,767,976	101,061	1,577,595	1,975,003
IPSL	RCP2.6	1,435,136	47,394	1,345,795	1,532,000
	RCP8.5	1,808,548	151,884	1,531,500	2,122,900
MPI	RCP2.6	1,417,498	36,057	1,349,100	1,490,300
	RCP8.5	1,847,037	105,943	1,648,900	2,061,703

Fuente: Elaboración propia.

## 6. Cuantificación de las pérdidas monetarias futuras

El objetivo final de este proyecto es cuantificar, en términos monetarios, las pérdidas en salud debidas al cambio climático, en los años 2016 - 2100. Para ello, se necesita conocer el costo de diagnóstico y tratamiento de cada una de las enfermedades consideradas en este estudio.

No existe información oficial de los institutos de salud en México que indiquen cuáles serían los costos por enfermedad. Al realizar una búsqueda exhaustiva en la red sobre posibles fuentes en este sentido, se encontraron algunos documentos que presentan los costos por morbilidad asociadas a las principales enfermedades vinculadas con el cambio climático.

Por ejemplo, (Nigenda, Cifuentes, & Duperval, 2002), realizaron un estudio en donde estiman el valor económico asociado el riesgo de morbilidad y mortalidad por exposiciones ambientales. En particular, ellos estudian enfermedades asociadas a la contaminación del agua y deficiencias sanitarias, contaminación atmosférica, por metales pesados, y por plaguicidas. Las enfermedades específicas estudiadas, contemplan enfermedades gastrointestinales, respiratorias, y las transmitidas por vector. Estos autores, basan sus costos en dos estudios, uno realizado por la Secretaría de Salud en el año 2002, del cual no existe referencia, y otro realizado por la Fundación Mexicana para la Salud, Funsalud (Frenk, 1994).

Por otro lado, (Ibarrarán & Rodríguez, 2007), en su estudio sobre economía del cambio climático en México, citan algunos costos por morbilidad en el año 2005, y se basan a su vez en (Hammitt & Ibarrarán, 2005).

Algunas enfermedades de las que no se reportan costos en los documentos anteriores, por tratarse de enfermedades más recientes, son: Influenza, cuyos costos se obtuvieron de (González-Canudas, y otros, 2011); zika, enfermedad de la cual se conoce poco y los costos que se tienen contemplan los costos asociados a microcefalia y al síndrome de Guillain-Barré, que son el resultado de malformaciones en el embarazo (Alfaro-Murillo, y otros, 2016); para chikungunya, se obtuvieron costos aproximados en un estudio realizado en la Universidad de Yale en E.U. (Bloch, 2016); para los casos de golpe de calor, el único estudio de costos que se encontró es de California, E.U. (Schmeltz, Petkova, & Gamble, 2016).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resume todos estos costos con sus respectivas unidades y el año de medición.

Tabla 6-1. Lista de costos para las enfermedades individuales de los cuatro grupos.

Enfermedad	Alias	Costos	Unidad-Año	Costos 2015	Peso
<b>Efectos del calor y de la luz</b>	calor	5956.00	USD 2010	8938.73	100%
<b>Amebiasis intestinal</b>	amebiasis	2474.76	MXN 2002	4133.84	16.39%
<b>Cólera</b>	cólera	2404.52	MXN 2002	4016.51	0.03%
<b>Fiebre tifoidea</b>	tifoidea	2474.76	MXN 2002	4133.84	0.48%
<b>Infecciones intestinales por otros organismos y las mal definidas</b>	infecciones	296.93	MXN 2002	495.99	81.84%
<b>Intoxicación alimentaria bacteriana</b>	intoxicación	1706.72	MXN 2005	2522.36	0.77%
<b>Otras salmonelosis</b>	salmonelosis	296.93	MXN 2002	495.99	0.11%
<b>Shigelosis</b>	shigelosis	2474.76	MXN 2002	4133.84	0.38%
<b>Asma y estado asmático</b>	asma	9417.14	MXN 2002	15730.39	1.00%
<b>Faringitis y amigdalitis estreptocócicas</b>	faringitis	629.51	MXN 2002	1051.53	0.65%
<b>Infecciones respiratorias agudas</b>	infresp	629.51	MXN 2002	1051.53	97.63%
<b>Influenza todas</b>	influenza	986.10	USD 2009	14001.04	0.08%
<b>Neumonías y bronconeumonías</b>	neumonía	12183.01	MXN 2002	20350.50	0.64%
<b>Enfermedad por virus chikungunya</b>	chikungunya	4408.00	USD 2016	77892.58	43.58%
<b>Fiebre hemorrágica por dengue</b>	dengue	34053.21	MXN 2002	56882.48	49.27%
<b>Leishmaniasis cutánea, americana y visceral</b>	leishmaniasis	182.00	MXN 1992	1264.50	3.09%
<b>Paludismo por plasmodium falciparum y vivax</b>	paludismo	2435.11	MXN 2005	3598.85	3.99%
<b>Virus zika</b>	zika	34053.21	MXN 2002	56882.48	0.06%

Fuente: Elaboración propia.

Para hacer comparables todos estos costos, se utiliza el índice nacional de precios al consumidor, para calcular la inflación de un año a otro. El Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), junto con el Banco de México, crearon una calculadora de inflación que permite conocer la inflación en cualquier periodo, a partir de 1969 y hasta el 2017. El año base, que maneja la calculadora de inflación, es el año 2010, más precisamente, diciembre de 2010.

El objetivo, es llevar los costos al año 2015. Los valores de la inflación, necesarios para ese cálculo, se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 6-2 Valores de inflación (base 2010).

Periodo	Inflación
diciembre 1992 a diciembre 2015	594.78%
diciembre de 2002 a diciembre 2015	67.04%
diciembre de 2005 a diciembre 2015	47.79%
diciembre de 2015 a diciembre 2016	3.36%

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, es necesario convertir los costos que se obtuvieron en dólares a pesos. Para ello, se usa el tipo de cambio promedio diario reportado para cada uno de los años de interés. Estos se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 6-3 Tipos de cambio promedio peso-dólar.

Año	USD	MXN
2009	1	13.5983
2010	1	12.6286
2016	1	17.6707

Fuente: Elaboración propia.

Los nuevos costos en el 2015 se presentan en la penúltima columna de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

De acuerdo con (Nigenda, Cifuentes, & Duperval, 2002), los costos de tratamiento es un método que busca, una vez calculada la función dosis-respuesta, valorar económicamente la pérdida de bienestar a través de cinco componentes: (i) Los derivados del costo de hospitalización y tratamiento en la misma; (ii) los días de trabajo perdido o de actividad restringida, con el consiguiente perjuicio económico; (iii) incapacidad para disfrutar del tiempo libre; (iv) el costo que el propio malestar supone para la persona enferma; y (v) el costo, que para la familia y sus amigos, representa el malestar del individuo. El método de costos de tratamiento ha sido ampliamente utilizado, sin embargo, subestima el costo real, ya que el costo de tratamiento no es el costo total de la enfermedad.

Si se considera exclusivamente el costo de tratamiento de la enfermedad, se procede a cuantificar las pérdidas económicas en salud por cambio climático en México. Dado que los pronósticos de nuevos casos futuros, se realizaron por grupo de enfermedad, se define un costo promedio ponderado de los costos individuales de las enfermedades dentro del grupo.

Para esto, se toma como ponderador a la proporción de casos observados en todos los meses considerados en el estudio de cada enfermedad, con respecto al total de casos del grupo. En la última columna de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se presenta el ponderador o peso, que tiene cada enfermedad, en los casos totales del grupo. Los costos promedio ponderados, de cada grupo de enfermedad, se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Tabla 6-4 Costos promedio ponderados por grupo de enfermedad. Unidades en precios del 2015.

Grupo de Enfermedad	Costos promedio
Calor	8,938.73
Gastrointestinales	1,140.15
Respiratorias	1,332.24
Por vector	62,196.77

Fuente: Elaboración propia.

Con la información de los pronósticos mensuales de casos futuros de cada uno de los cuatro grupos de enfermedad, cuyos valores agregados se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, y la referente a los costos promedio por caso (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), es posible cuantificar los costos, que los efectos del cambio climático traerán al país, en los siguientes 85 años (de 2016 a 2100). Si se define a  $C_{PROM}$  como el costo promedio de tratamiento, por nuevo caso de enfermedad, entonces los costos totales futuros,  $C_{TOT}^F$ , por enfermedad, traídos a valor presente a diciembre del 2015, se calculan como

$$C_{TOT}^F = C_{PROM} \sum_{t=1}^{1020} \frac{Y_t^F}{(1 + r/12)^t}$$

donde  $r$  es una tasa de descuento anual cuyo valor se fija en  $r = 4\%$ .

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los costos totales futuros hasta el año 2100,  $C_{TOT}^F$ , para el escenario base de cada uno de los cuatro grupos de enfermedad. Adicionalmente, se incluyen los costos adicionales en que se incurriría, para los escenarios RCP2.6 y RCP8.5, para los cuatro institutos internacionales. Un símbolo de “+” o “-” indica un costo mayor o menor, respectivamente, con respecto al escenario base. Los costos se presentan en millones de pesos. Además del costo medio, se incluye un intervalo de probabilidad al 95 por ciento, para apreciar la incertidumbre en la estimación.

Por ejemplo, para el caso de las enfermedades producidas por golpe de calor, se tiene un costo medio base de 786 millones de pesos, y si se consideran las simulaciones del instituto europeo ENESM, en su escenario RCP2.6, se incurriría en un costo adicional, por cambio climático, de 243 millones de pesos, y en su escenario RCP8.5, el costo adicional sería de 546 millones de pesos.

Es importante notar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, que el caso de las enfermedades respiratorias, se beneficia por el calentamiento global, obteniéndose un número menor de casos. Por esta razón, el cambio climático en esta enfermedad, produciría un ahorro en los gastos de salud. Por ejemplo, en el escenario base, se incurrirían en un gasto de 1.102 billones de pesos, mientras que por cambio climático, de acuerdo con el instituto europeo ENESM, se tendría un ahorro de casi 64 mil millones de peso, bajo RCP2.6, y de 103 mil millones, con RCP8.5.

Para fines de política pública y de planeación, se incluyen los costos totales futuros hasta los años 2050 (420 meses futuros) y 2030 (180 meses futuros). Estos costos, traídos a valor presente a diciembre del 2015, se incluyen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, respectivamente. Vale la pena notar que los costos hasta el 2050 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) reflejan el mismo patrón que los costos obtenidos hasta el 2100, en el sentido que el escenario RCP2.6 produce costos adicionales o ahorros, dependiendo de la enfermedad, más moderados que los que se obtienen con el escenario RCP8.5. Este comportamiento no se mantiene en los costos obtenidos hasta el 2030 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) ya que dependiendo de la agencia internacional algunas veces los costos con el escenario RCP2.6 son más adversos que los del escenario RCP8.5. Se recomienda leer estos costos hasta el 2030 con cautela.

Finalmente, es posible repartir los costos por cambio climático en salud, para cada uno de los estados de la República Mexicana. Para ello, se sugiere hacerlo de manera proporcional, al considerar el número de casos históricos, que cada estado ha presentado por grupo de enfermedades. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestran estas proporciones de casos, por estado, para las enfermedades de golpe de calor, gastrointestinales, respiratorias, y las transmitidas por vector, respectivamente. Para facilitar su cálculo, los valores numéricos de estas proporciones se incluyen en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 6-5 Valor presente de los costos, base y excedentes, (en millones de pesos) por cambio climático hasta el 2100 en los cuatro grupos de enfermedades.

Instituto	Escenario	Media	Q2.5%	Q97.5%
<b>Enfermedades por calor</b>				
GFDL	Base	786	728	846
	RCP2.6	+270	+242	+298
	RCP8.5	+489	+420	+569
ENESM	RCP2.6	+243	+220	+266
	RCP8.5	+546	+462	+644
IPSL	RCP2.6	+358	+314	+406
	RCP8.5	+840	+658	+1,055
MPI	RCP2.6	+274	+247	+301
	RCP8.5	+659	+557	+774
<b>Enfermedades gastrointestinales</b>				
GFDL	Base	183,109	178,856	187,597
	RCP2.6	+10,604	+10,337	+10,909
	RCP8.5	+16,909	+16,320	+17,500
ENESM	RCP2.6	+10,114	+9,866	+10,433
	RCP8.5	+18,012	+17,407	+18,647
IPSL	RCP2.6	+13,148	+12,688	+13,558
	RCP8.5	+22,534	+21,560	+23,470
MPI	RCP2.6	+11,352	+11,038	+11,606
	RCP8.5	+22,293	+21,366	+23,134
<b>Enfermedades respiratorias</b>				
GFDL	Base	1,102,020	1,064,618	1,141,075
	RCP2.6	-63,801	-61,987	-66,397
	RCP8.5	-97,514	-96,075	-99,937
ENESM	RCP2.6	-63,923	-62,376	-66,366
	RCP8.5	-103,191	-101,555	-105,214
IPSL	RCP2.6	-79,155	-78,026	-80,619
	RCP8.5	-121,717	-120,050	-124,148
MPI	RCP2.6	-70,621	-69,070	-72,443
	RCP8.5	-127,357	-126,038	-129,678
<b>Enfermedades transmitidas por vector</b>				
GFDL	Base	20,071	19,250	20,922
	RCP2.6	+3,534	+3,257	+3,841
	RCP8.5	+5,072	+4,413	+5,821
ENESM	RCP2.6	+2,940	+2,729	+3,175
	RCP8.5	+4,975	+4,214	+5,822
IPSL	RCP2.6	+3,134	+2,572	+3,759
	RCP8.5	+4,958	+3,290	+6,861
MPI	RCP2.6	+3,082	+2,787	+3,414
	RCP8.5	+6,285	+5,194	+7,487

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-6 Valor presente de los costos, base y excedentes, (en millones de pesos) por cambio climático hasta el 2050 en los cuatro grupos de enfermedades.

Instituto	Escenario	Media	Q2.5%	Q97.5%
<b>Enfermedades por calor</b>				
GFDL	Base	591	547	637
	RCP2.6	+199	+180	+220
	RCP8.5	+243	+216	+274
ENESM	RCP2.6	+154	+141	+167
	RCP8.5	+216	+194	+241
IPSL	RCP2.6	+249	+221	+280
	RCP8.5	+339	+287	+396
MPI	RCP2.6	+199	+180	+219
	RCP8.5	+316	+280	+356
<b>Enfermedades gastrointestinales</b>				
GFDL	Base	137,716	134,309	141,315
	RCP2.6	+7,886	+7,654	+8,102
	RCP8.5	+9,309	+9,039	+9,563
ENESM	RCP2.6	+6,600	+6,403	+6,797
	RCP8.5	+8,385	+8,111	+8,579
IPSL	RCP2.6	+9,366	+9,049	+9,646
	RCP8.5	+11,152	+10,789	+11,455
MPI	RCP2.6	+8,388	+8,137	+8,580
	RCP8.5	+12,414	+12,009	+12,761
<b>Enfermedades respiratorias</b>				
GFDL	Base	828,843	799,037	859,591
	RCP2.6	-47,379	-46,228	-48,924
	RCP8.5	-56,269	-55,434	-57,466
ENESM	RCP2.6	-42,253	-41,413	-43,852
	RCP8.5	-51,009	-49,590	-52,330
IPSL	RCP2.6	-56,719	-55,895	-57,374
	RCP8.5	-64,776	-63,514	-66,406
MPI	RCP2.6	-52,463	-51,319	-53,696
	RCP8.5	-75,032	-73,983	-76,662
<b>Enfermedades transmitidas por vector</b>				
GFDL	Base	15,098	14,421	15,804
	RCP2.6	+2,746	+2,530	+2,968
	RCP8.5	+2,626	+2,346	+2,939
ENESM	RCP2.6	+1,964	+1,839	+2,091
	RCP8.5	+2,460	+2,274	+2,658
IPSL	RCP2.6	+2,344	+1,993	+2,721
	RCP8.5	+2,302	+1,664	+2,984
MPI	RCP2.6	+2,304	+2,105	+2,526
	RCP8.5	+3,495	+3,067	+3,955

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-7. Valor presente de los costos, base y excedentes, (en millones de pesos) por cambio climático hasta el 2030 en los cuatro grupos de enfermedades.

Instituto	Escenario	Media	Q2.5%	Q97.5%
<b>Enfermedades por calor</b>				
GFDL	Base	338	312	365
	RCP2.6	+114	+102	+127
	RCP8.5	+97	+89	+106
ENESM	RCP2.6	+78	+71	+84
	RCP8.5	+76	+70	+82
IPSL	RCP2.6	+116	+104	+128
	RCP8.5	+123	+108	+140
MPI	RCP2.6	+100	+91	+109
	RCP8.5	+151	+135	+167
<b>Enfermedades gastrointestinales</b>				
GFDL	Base	78,759	76,470	81,149
	RCP2.6	+4,289	+4,189	+4,405
	RCP8.5	+4,014	+3,890	+4,085
ENESM	RCP2.6	+3,123	+3,029	+3,180
	RCP8.5	+3,289	+3,209	+3,328
IPSL	RCP2.6	+4,356	+4,222	+4,451
	RCP8.5	+4,161	+4,055	+4,244
MPI	RCP2.6	+4,325	+4,208	+4,408
	RCP8.5	+6,201	+6,072	+6,371
<b>Enfermedades respiratorias</b>				
GFDL	Base	473,954	454,206	494,072
	RCP2.6	-25,513	-24,719	-26,075
	RCP8.5	-24,992	-24,582	-25,340
ENESM	RCP2.6	-19,299	-18,939	-19,923
	RCP8.5	-20,729	-19,874	-21,177
IPSL	RCP2.6	-26,245	-25,709	-26,566
	RCP8.5	-24,497	-23,835	-25,243
MPI	RCP2.6	-27,493	-26,895	-28,013
	RCP8.5	-38,024	-37,384	-38,638
<b>Enfermedades transmitidas por vector</b>				
GFDL	Base	8,638	8,154	9,143
	RCP2.6	+1,527	+1,407	+1,658
	RCP8.5	+1,105	+1,024	+1,194
ENESM	RCP2.6	+943	+885	+989
	RCP8.5	+1,172	+1,113	+1,234
IPSL	RCP2.6	+1,124	+994	+1,253
	RCP8.5	+840	+672	+1,012
MPI	RCP2.6	+1,188	+1,106	+1,279
	RCP8.5	+1,840	+1,674	+2,026

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6-8 Porcentajes de casos para cada uno de los 32 estados del país por enfermedad.

ID	Estado	calor	gastro	resp	vector
1	Aguascalientes	0.20%	1.43%	1.49%	0.00%
2	Baja California	10.30%	2.03%	2.01%	0.00%
3	Baja California Sur	1.27%	0.69%	0.65%	0.45%
4	Campeche	0.25%	1.06%	1.00%	1.94%
5	Coahuila	1.19%	2.99%	3.07%	0.09%
6	Colima	3.19%	0.71%	0.74%	2.25%
7	Chiapas	13.19%	3.56%	2.25%	18.06%
8	Chihuahua	0.90%	3.23%	3.27%	2.14%
9	Distrito Federal	1.45%	8.20%	9.66%	0.00%
10	Durango	0.03%	1.91%	2.05%	0.73%
11	Guanajuato	0.41%	4.06%	4.80%	0.01%
12	Guerrero	0.52%	3.67%	2.88%	7.00%
13	Hidalgo	0.00%	2.12%	2.85%	0.23%
14	Jalisco	7.11%	6.31%	6.30%	1.68%
15	México	4.61%	10.84%	11.19%	0.03%
16	Michoacán	2.58%	3.36%	3.69%	1.70%
17	Morelos	0.61%	2.18%	1.75%	3.48%
18	Nayarit	0.89%	1.46%	1.20%	3.46%
19	Nuevo León	2.78%	4.61%	4.84%	1.33%
20	Oaxaca	9.30%	3.75%	2.90%	14.90%
21	Puebla	1.47%	4.07%	3.91%	0.14%
22	Querétaro	0.49%	1.60%	1.73%	0.01%
23	Quintana Roo	0.55%	1.16%	1.10%	6.05%
24	San Luis Potosí	0.27%	2.27%	2.34%	0.26%
25	Sinaloa	8.47%	3.39%	3.61%	5.88%
26	Sonora	18.09%	2.47%	2.71%	1.52%
27	Tabasco	4.78%	2.65%	2.12%	5.41%
28	Tamaulipas	2.30%	3.29%	3.28%	2.92%
29	Tlaxcala	0.11%	1.12%	1.23%	0.00%
30	Veracruz	0.61%	5.40%	4.95%	12.90%
31	Yucatán	0.56%	2.79%	2.62%	5.41%
32	Zacatecas	1.51%	1.63%	1.83%	0.00%

Fuente: Elaboración propia.

## 7. Conclusiones y recomendaciones

Sin duda, el clima, representado mediante las variables de precipitación pluvial y temperatura, tiene un impacto importante sobre la salud de la población en México. El efecto de dichas variables sobre la morbilidad de los cuatro tipos de enfermedades aquí analizadas, fue cuantificado a través de modelos estadísticos de regresión *Poisson*, los cuales pertenecen a la clase de modelos lineales generalizados. Esta cuantificación del impacto se realizó a dos niveles, nacional y estatal. En algunos casos, como en las enfermedades transmitidas por vector, se requirió de rezagos de hasta dos meses en las variables de clima, para que explicaran adecuadamente el fenómeno bajo estudio.

Los modelos estadísticos aquí presentados, aíslan el efecto que tienen las variables de clima sobre la morbilidad, mas no pretenden caracterizar por completo el mecanismo de evolución de las enfermedades. Para ello, se hubieran requerido modelos mucho más elaborados que contemplaran variables de otra índole (no climáticas, como variables ecológicas, o biológicas, por ejemplo), que no se encuentran disponibles al nivel que se realizó el análisis. Sin embargo, un alto porcentaje de la variabilidad de la morbilidad, se puede atribuir a las variables de clima. Esto se concluye al ver que las correlaciones entre el número de casos observados, y los casos predichos por el modelo, son superiores al 50 por ciento.

No fue fácil la realización de predicciones de la morbilidad futura mensual, en una ventana de tiempo de 85 años, ya que se requirió de la consideración de escenarios de clima futuro, como lo son, los escenarios RCP2.6 y RCP8.5. Adicional a esto, se hizo uso de las predicciones de la población en México realizadas por CONAPO, del 2016 al 2051, las cuales tuvieron que ser complementadas con proyecciones elaboradas por este equipo de trabajo, para los años 2052 a 2100.

Como se usó un enfoque bayesiano de inferencia estadístico, fue posible cuantificar toda la incertidumbre asociada a la morbilidad, a través de distribuciones posteriores de los parámetros de los modelos, y a través de distribuciones predictivas para la morbilidad futura. Con esto, es posible reportar, además de estimaciones y predicciones puntuales, estimaciones y predicciones por intervalo con un nivel alto de confiabilidad (95 por ciento).

Para la cuantificación de las pérdidas monetarias debidas al cambio climático, se requirió de información de los costos de tratamiento de las distintas enfermedades consideradas. Desafortunadamente, no existen estudios recientes en México que establezcan estos costos, y se tuvo que recurrir a estudios antiguos de los años 2002 y 1994. Los costos de dichos años, fueron apropiadamente ajustados al año 2015.

En resumen, se puede decir que los cuatro grupos de enfermedades estudiadas son fuertemente afectados por cambio climático. Tres de estos grupos, enfermedades por golpe de calor, enfermedades gastrointestinales y enfermedades transmitidas por vector, son afectados

de manera negativa, en el sentido de que los escenarios futuros de clima producirían un aumento en el número de casos. En específico, al considerar las simulaciones hechas por el instituto europeo ENESM, con el escenario RCP2.6, se tendría en promedio un aumento de 38 por ciento, 7 por ciento y 17 por ciento, respectivamente, en estos tres grupos de enfermedades, y con el escenario RCP8.5, se tendría, en promedio, un aumento de 47 por ciento, 18 por ciento y 44 por ciento, respectivamente.

Por otro lado, las enfermedades respiratorias se verían influenciadas de manera positiva por cambio climático, en el sentido de que se tendrían menos casos de esta enfermedad en el futuro. En específico, nuevamente, al considerar las simulaciones hechas por el instituto europeo ENESM, se tendría, en promedio, una disminución de 7 por ciento, con el escenario RCP2.6, y una disminución de 16 por ciento, con el escenario RCP8.5.

Es de notar, que el grupo de enfermedades más común, de las cuatro estudiados, es el grupo de enfermedades respiratorias, cuyo número de casos anuales corresponde a 5.13 veces los casos de las enfermedades agregadas de los otros tres grupos (enfermedades por golpe de calor, enfermedades gastrointestinales y enfermedades transmitidas por vector). Aunque el costo de tratamiento de las enfermedades respiratorias no es el más alto, la supremacía en el número de casos, hace que este sea el grupo con mayor impacto monetario. Debido a que el cambio climático impactaría de manera positiva, con la disminución del número de casos de enfermedades respiratorias, se incurriría en un ahorro importante para el sistema de salud en México. Para los otros tres grupos de enfermedades, por golpe de calor, gastrointestinales y las transmitidas por vector, el cambio climático, traería un gasto adicional considerable, sin embargo, este no sería superior, al ahorro que se tendría, por las enfermedades respiratorias. En específico, al considerar las simulaciones hechas por el instituto europeo ENESM y los cuatro grupos de enfermedades, el ahorro global promedio por cambio climático, hasta el 2100, sería de 50,626 millones de pesos, con el escenario RCP2.6, y de 79,658 millones de pesos, con el escenario RCP8.5.

El hecho de que las enfermedades respiratorias presenten un número menor de casos, se debe esencialmente a que los escenarios futuros de cambio climático presentan, en general, temperaturas mayores a las observadas en el pasado. Sin embargo, escenarios que muestren temperaturas más extremas a las observadas, es decir, meses más fríos y más calientes, tal vez anularía la disminución en el número de casos futuros.

Dándole la importancia que se debe a la salud, es conveniente que la política pública esté encaminada a concientizar a la población, para prevenir el mayor número de casos posibles de estos cuatro grupos de enfermedades, con especial atención, a los grupos de enfermedades por golpe de calor, enfermedades gastrointestinales y las enfermedades transmitidas por vector.

Tanto los pronósticos futuros de morbilidad, como los costos incurridos por tratamientos, pueden ser desagregados para cada uno de los 32 estados del país. De esta manera, es posible focalizar adecuadamente los esfuerzos de adaptación y mitigación.

Las conclusiones aquí presentadas se basan en un análisis estadístico que considera el crecimiento demográfico, las variables de clima (temperatura y precipitación), así como una variable socioeconómica. Sin embargo, otros modelos que consideren a la salud humana como parte de un ecosistema en donde interactúen variables de contaminación, calidad del agua y de los alimentos, podrían llevar a otro tipo de conclusiones. Más aún, algo que no es posible pronosticar, son las posibles mutaciones que puedan sufrir los virus y bacterias causantes de estas enfermedades, en cuyo caso, los costos de tratamiento, podrían ser muy distintos a los aquí presentados, y por lo tanto, los impactos monetarios también serían muy diferentes.

## 8. Anexos

Los anexos electrónicos que se adjuntan a este reporte son los siguientes:

- I. *base\_sinave\_v19102017.csv* : Contiene todos los casos de morbilidad de muchas enfermedades para todos los estados del país y para los años de 1985 a 2016.
- II. *base\_saeh\_300917.csv* : Contiene los egresos hospitalarios para los institutos de salud pública y para los 32 estados de país.
- III. *Base\_Indice\_de\_marginacion:estatal\_90-15.csv* : Variables de marginación.
- IV. *calorNM.csv* : Casos de morbilidad por calor y luz a nivel nacional.
- V. *gastroNM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedades gastrointestinales a nivel nacional.
- VI. *respNM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedades respiratorias a nivel nacional.
- VII. *vectorNM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedades transmitidas por vector a nivel nacional.
- VIII. *cardioNM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedad cardiovascular a nivel nacional.
- IX. *calorEM.csv* : Casos de morbilidad por calor y luz a nivel estatal.
- X. *gastroEM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedad gastrointestinal a nivel estatal.
- XI. *respEM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedad respiratoria a nivel estatal.
- XII. *vectorEM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedad transmitida por vector a nivel estatal.
- XIII. *cardioEM.csv* : Casos de morbilidad por enfermedad cardiovascular a nivel estatal.
- XIV. *ppEM.csv* : Precipitación pluvial mensual por estado.
- XV. *tpEM.csv* : Temperatura promedio mensual por estado.
- XVI. *tmEM.csv* : Temperatura máxima mensual por estado.
- XVII. *imiN.csv* : Indicar de marginación a nivel nacional.
- XVIII. *pobiN.csv* : Población nacional.
- XIX. *imiE.csv* : Indicador de marginación a nivel estatal.
- XX. *pobiE.csv* : Población estatal.
- XXI. *ppBASE.csv* y *tpBASE.csv* : Precipitación pluvial y temperatura promedio para la base de comparación futura.
- XXII. *ppGFDLrnp26.csv* y *ppGFDLrnp85.csv* : precipitación pluvial futura producida por el instituto americano GFDL en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.
- XXIII. *ppHadGEM2rnp26.csv* y *ppHadGEM2rnp85.csv* : precipitación pluvial futura producida por el instituto europeo ENESM en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.
- XXIV. *ppIPSLrnp26.csv* y *ppIPSLrnp85.csv* : precipitación pluvial futura producida por el instituto francés IPSL en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.
- XXV. *ppMPIrnp26.csv* y *ppMPIrnp85.csv* : precipitación pluvial futura producida por el instituto alemán MPI en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.

- XXVI. *tpGFDLrcp26.csv* y *tpGFDLrcp85.csv* : temperatura promedio futura producida por el instituto americano GFDL en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.
- XXVII. *tpHadGEM2rcp26.csv* y *tpHadGEM2rcp85.csv* : temperatura promedio futura producida por el instituto europeo ENESM en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.
- XXVIII. *tpIPSLrcp26.csv* y *tpIPSLrcp85.csv* : temperatura promedio futura producida por el instituto francés IPSL en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.
- XXIX. *tpMPIrcp26.csv* y *tpMPIrcp85.csv* : temperatura promedio futura producida por el instituto alemán MPI en los escenarios RCP2.6 y RCP8.5.

## 9. Referencias

- Alfaro-Murillo, J., Parpia, A., Fitzpatrick, M., Tamagnan, J., Medlock, J., & Ndeffo-Mbah, M. (2016). A Cost-Effectiveness Tool for Informing Policies on Zika Virus Control. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 10 (5): e0004743.
- Bloch, D. (2016). *The cost and burden of chikungunya in the Americas. Public Health Thesis 1022*. University of Yale, USA: School of Public Health.
- Bosello, F., Roson, R., & Tol, R. (2006). Economy-wide estimates of the implications of climate change: Human health. *Ecological Economics*, 58, 579–591.
- Frenk, J. (1994). *Economía y salud. Propuestas para el avance del sistema de salud en México*. México: Fundación mexicana para la salud (Funsalud).
- Galindo, L. (2009). *La economía del cambio climático en México*. México: Gobierno Federal, Secretaría de Hacienda y Crédito Público y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- González-Canudas, J., Iglesias-Chiesa, J., Romero-Antonio, Y., Chávez-Cortés, C., Gay-Molina, J., & RivasRuiz, R. (2011). Costo-efectividad en la detección de influenza H1N1: datos clínicos versus pruebas rápidas. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 29, (1), 1-8.
- Haines, A., Kovats, R., Campbell-Lendrum, D., & Corvalan, C. (2006). Climate change and human health: impacts, vulnerability, and mitigation. *The Lancet*, 367, 2101-2109.
- Hammit, J., & Ibararán, M. (2005). The Economic Value of Fatal and Non-Fatal Occupational Risks in Mexico City Using Actuarial- and Perceived-Risk Estimates. *Health Economics*, 15, Issue 12, 1329-1335.
- Ibararán, M. E., & Rodríguez, M. (2007). *Estudio sobre economía del cambio climático en México*. México: Universidad Iberoamericana de Puebla e Instituto Nacional de Ecología.
- IPCC. (2007). *The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland.
- IPCC. (2013). *The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, Switzerland.
- Magaña, V. (2012). *Guía Metodológica para la Evaluación de la Vulnerabilidad ante Cambio Climático*. México: Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- Martens, W. (1998). Climate change, thermal stress and mortality changes. *Social Science and Medicine*, 46, 331-344.
- Martínez, J., & Fernández, A. (2004). *Cambio climático: Una visión desde México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- McMichael, A., Woodruff, R., & Hales, S. (2006). Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet*, 367: 859–869.
- Meléndez-Herrada, E., Ramírez Pérez, M., Sánchez Dorantes, B., & Cravioto, A. (2008). Cambio climático y sus consecuencias en las enfermedades infecciosas. *Revista de la Facultad de Medicina de la UNAM*, 51, No. 5, Septiembre-Octubre.
- Nieto Barajas, L., & de Alba, E. (2014). Bayesian regression models. En R. D. E.W. Frees, *Predictive Modeling Applications in Actuarial Science* (págs. 334-366). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nieto-Barajas, L., & Sinha, T. (2015). Bayesian interpolation of unequally spaced time series. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29, 577-587.
- Nigenda, G., Cifuentes, E., & Duperval, P. (2002). *Estimación del valor económico de reducciones en el riesgo de morbilidad y mortalidad por exposiciones ambientales*. México: Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, Serie Estudios.
- Patz, J., Campbell-Lendrum, D., Holloway, T., & Foley, J. (2005). Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438. doi:10.1038/nature04188.
- Pérez, C. (2017). *Análisis jerárquico dinámico de las emisiones GEI en México durante 1990-2012*. México: Tesis de Licenciatura en Matemáticas Aplicadas. ITAM.
- Riahi, K., & al., e. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.
- Riojas Rodríguez, H., Hurtado Díaz, M., Idrovo Velandia, J., & Vázquez Grameix, H. (2006). *Estudio diagnóstico sobre los efectos del cambio climático en la salud humana de la población en México*. México: Instituto Nacional de Ecología e Instituto Nacional de Salud Pública.
- Riojas Rodríguez, H., Hurtado Díaz, M., Litai Moreno, G., Santos Luna, R., & Texcalac Sangrador, J. (2007). *Estudio Piloto sobre Escenarios de Riesgos en Salud asociados al Cambio Climático en Regiones Seleccionadas de México*. México: Instituto Nacional de Ecología e Instituto Nacional de Salud Pública.

Schmeltz, M., Petkova, E., & Gamble, J. (2016). Economic Burden of Hospitalizations for Heat-Related Illnesses in the United States, 2001–2010. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(9), 894. <http://doi.org/10.3390>.

SEMARNAT. (2009). *Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones*. México: Gobierno Federal, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.



Plataforma de colaboración sobre  
**CAMBIO CLIMÁTICO  
Y CRECIMIENTO VERDE**  
entre Canadá y México

Este documento fue desarrollado en el marco de la Plataforma de  
Colaboración sobre Cambio Climático y Crecimiento Verde entre Canadá y  
México, todos los derechos reservados

Derechos reservados © 2018

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Montes Urales 440, Lomas de Chapultepec, Delegación Miguel Hidalgo, CDMX C.P. 11000

[www.mx.undp.org](http://www.mx.undp.org)

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC)

Blvd. Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Colonia Jardines en la Montaña, Delegación Tlalpan, CDMX CP. 14210

[www.gob.mx/inecc](http://www.gob.mx/inecc)



Environment  
Canada

Environnement  
Canada

**SEMARNAT**  
SECRETARÍA DE  
MEDIO AMBIENTE  
Y RECURSOS NATURALES



**INECC**  
INSTITUTO NACIONAL  
DE ECOLOGÍA  
Y CAMBIO CLIMÁTICO



Al servicio  
de las personas  
y las naciones