



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE CIENCIAS

**Predictibilidad de la violencia colectiva por la
temperatura ambiental:**

**Un análisis de series temporales sobre
mortalidad violenta en adolescentes
mexicanos.**

TESIS

Que para obtener el título de

Físico

P R E S E N T A

Daniel Conde Perea

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Dewi Sharon Hernández Montoya





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

1. Datos del alumno

Conde

Perea

Daniel

55 15 20 52 35

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de ciencias

Física

309037231

2. Datos del tutor

Dra

Dewi Sharon

Hernández

Montoya

3. Datos del sinodal 1

Dra

Donají Xóchitl

Cruz

López

4. Datos de sinodal 2

Dr

Juan Manuel Eugenio

Ramírez de Arellano

Niño Rincón

5. Datos de sinodal 3

Fís

Jorge

Pérez

López

6. Datos del trabajo escrito

Predictibilidad de la Violencia colectiva por la temperatura ambiental:

Un análisis de series temporales sobre mortalidad violenta en adolescentes mexicanos

41 p

2022

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, que ha sido un apoyo en todo este proceso, especialmente a mi madre, quien siempre ha confiado en mí. A mis amigos, quienes han compartido este viaje conmigo, y aunque cada uno ha tomado su rumbo, siguen estando presentes. También quiero agradecer a Norma, quien desafortunadamente ya no podrá leer este trabajo, quien fue una persona fundamental en mi vida.

Quiero agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México por acogerme desde el bachillerato hasta este momento, y sobre todo, por todas las enseñanzas y aprendizajes que obtuve de profesores y compañeros, tanto de clases como de actividades extracurriculares, que de otra manera no hubiera podido obtener. Al Instituto Nacional de Pediatría por permitirme trabajar en esa institución.

Por último, pero no menos importante, a la Dra. Dewi Hernández Montoya, mi asesora de tesis, quien ha sido una guía imprescindible en esta etapa de mi formación, quien también me permitió adentrarme en su campo de conocimiento, antes ajeno para mí, con lo cual me di cuenta que sí se pueden vincular disciplinas que parecieran no tener relación.

Índice

Resumen	5
Marco teórico	5
Parte I. Temperatura ambiental y temperatura de confort térmico	5
Medios de regulación corporal de la temperatura	5
Parte II. Mortalidad: una aproximación cuantitativa	7
Tasas	7
Parte III. Aproximación temporal a la temperatura y la mortalidad	8
Series temporales y modelo ARIMA	8
Predictores significativos	11
La temperatura ambiental y la expresión de la violencia	12
Antecedentes	12
Planteamiento del problema	13
Metodología	16
Diseño	16
Población	16
Universo de estudio	16
Bases de datos	16
Variables	17
Temperatura ambiental máxima mensual	17
Tasa de homicidios por causas violentas en adolescentes mayores	17
Análisis estadístico	18
Resultados	19
Discusión y conclusiones	38
Referencias	39

Resumen

En este trabajo se realizó un estudio observacional, ecológico, de tendencias en el tiempo, para determinar: 1. el comportamiento temporal de las temperaturas máximas ambientales en relación con el intervalo de temperatura de confort térmico hipotético, 2. el comportamiento temporal de la tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años y la temperatura máxima ambiental nacional, 3. la relación entre la tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en la población antes mencionada y la temperatura máxima ambiental nacional. Para determinar el comportamiento temporal se ajustaron modelos ARIMA, mediante la metodología Box-Jenkins. Se realizó el análisis de datos a nivel nacional y, con la finalidad de comprar el comportamiento de las variables entre modelos que representaran mejor la temperatura ambiental en condiciones extremas, se analizó la información de los datos de Chihuahua, que corresponde a un clima muy seco (40% del territorio) y seco y semiseco (33% del territorio), con temperaturas mayores a 30°C, y Tlaxcala, que corresponde a un clima templado y subhúmedo (99.2 % del territorio). Los modelos para las series temporales de las tasas de mortalidad estandarizadas fueron: a nivel nacional $ARIMA(0,1,1)(1,0,0)$, para Chihuahua $ARIMA(3,1,0)(1,0,0)$ y para Tlaxcala $ARIMA(0,0,0)(0,0,0)$. Los modelos para las temperaturas máximas fueron: a nivel nacional $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)$, para Chihuahua $ARIMA(1,0,1)(0,1,1)$ y para Tlaxcala $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)$. Como resultado final se encontró que las temperaturas máximas ambientales, a nivel nacional, en Chihuahua y Tlaxcala explican el 43.8 %, 72.2 % y el 28.5 %, respectivamente, la varianza de las tasas de mortalidad estandarizadas, lo cual no necesariamente relaciona causalmente a las variables.

Marco teórico

Parte I. Temperatura ambiental y temperatura de confort térmico

Medios de regulación corporal de la temperatura

La temperatura corporal es una variable que en los seres humanos debe mantenerse constante, con independencia del clima en el que se encuentren. Para que la temperatura se mantenga constante el cuerpo humano realiza diversos procesos de termorregulación. De acuerdo con Fanger, los factores que tienen una mayor intervención en el proceso de

termorregulación son el calor metabólico, el intercambio de calor por radiación, el intercambio de calor por convección y la pérdida de calor por evaporación del sudor [1].

El calor metabólico engloba a todos los procesos metabólicos que el cuerpo realiza para generar calor, y la cantidad de calor generada varía dependiendo de la actividad que esté realizando la persona. El intercambio de calor por radiación sucede entre la persona y el medio que lo rodea, debido a que las personas tienen una temperatura determinada, emiten constantemente radiación electromagnética, y de la misma forma, reciben radiación electromagnética del medio en el que se encuentran. El aire es un fluido en el que se encuentran inmersas las personas, por lo cual, la diferencia de temperatura entre el aire y la temperatura corporal genera corrientes de convección, generando el intercambio de calor por convección. La evaporación del sudor es uno de los mecanismos más efectivos para regular la temperatura corporal, y debido a que un líquido requiere mucha energía para evaporarse, el sudor toma esa energía de la superficie de la piel, lo que da como resultado la disminución de la temperatura corporal [1].

El modelo de Fanger proporciona un método muy minucioso para determinar el confort térmico, sin embargo los cálculos son muy complejos y los ambientes donde se toman datos están muy controlados, lo cual limita su aplicación práctica. Por otro lado, Humphreys y Nicol proponen que el confort térmico se da a partir de la interacción de las personas con su medio, por lo cual es necesario estudiar el confort en un ambiente cotidiano. Basados en esta idea, Humphreys y Nicol desarrollaron un modelo para determinar la temperatura de neutralidad como función de la temperatura media exterior [2].

El modelo de Humphreys y Nicol se basa en la regresión lineal $T_n = b + mT_m$, donde T_n es la temperatura de neutralidad, b es la ordenada al origen, m es la pendiente de la recta y T_m es la temperatura promedio [2]. En el año 2000, Humphreys y Nicol reportaron valores de $b=13.5$ y $m=0.54$ para este modelo, con lo cual se obtiene la ecuación [2]:

$$T_n = 13.5 + 0.54T_m \quad (1)$$

La temperatura de normalidad es un factor muy complicado de igualar por todas las variaciones en la temperatura que no se pueden controlar, por lo cual proponen un intervalo de confort, dentro del cual las personas se pueden sentir cómodas con la temperatura.

El intervalo de confort térmico propuesto por Humphreys y Nicol se calcula mediante la ecuación

$$T_{dif}(K) = T_m - T_n \quad (2)$$

Esta ecuación calcula la diferencia de temperaturas, la cual es un índice de confort térmico que depende de la constante de Griffiths "K". Esta constante es una relación entre la temperatura que perciben las personas y la temperatura ambiental. Para que la temperatura pueda considerarse como una temperatura de confort, los valores de T_{dif} deben de encontrarse en el intervalo $\pm 4K$ [3].

Parte II. Mortalidad: una aproximación cuantitativa

Tasas

Las tasas (T) se definen como el cociente del número de acontecimientos ocurridos durante un periodo entre la población media existente en el periodo donde ocurrieron los acontecimientos [4] (ecuación 3). Estas tasas pueden interpretarse como la frecuencia relativa con que ocurren determinados acontecimientos en relación con la población que hay durante el tiempo en que ocurrieron dichos acontecimientos. Existen dos tipos de tasas: tasas generales y tasas específicas [4].

$$T = \frac{\text{Número de acontecimientos}}{\text{Población media donde ocurrieron los acontecimientos}} \quad (3)$$

Las tasas brutas se refieren a la población total en la que ocurren los acontecimientos, es decir, no toman en cuenta las diferentes edades de la población. Las tasas específicas sí toman en cuenta las edades de la población, y éstas pueden tomar poblaciones en grupos de diferentes edades. Una de las tasas específicas más utilizadas es la tasa de mortalidad (TM) (ecuación 4) [5].

$$TM = \frac{\text{Número de defunciones}}{\text{Población de } x_0 \text{ a } x_1 \text{ años}} \quad (4)$$

Las tasas específicas de mortalidad muestran el número de defunciones ocurridas en un grupo de edades. Estas tasas también son útiles al tomar en cuenta las muertes causadas por eventos particulares, ya sea por alguna enfermedad o algún otro suceso como los

homicidios. Para calcular las tasas específicas existen diferentes métodos, entre ellos se encuentra el propuesto por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

El método directo para calcular las tasas específicas propuesto por la OMS sugiere utilizar poblaciones de referencia (Pr). Las poblaciones de referencia se realizaron con la idea de eliminar eventos sociales, de tal forma que se puedan comparar tasas de diferentes poblaciones sin grandes sesgos. Las tasas de mortalidad específicas por edad, utilizando el método directo de la OMS [6], se pueden calcular al multiplicar las tasas de mortalidad (ecuación 4) por la población de referencia (ecuación 5):

$$TME = TM \times Pr \quad (5)$$

Parte III. Aproximación temporal a la temperatura y la mortalidad

Series temporales y modelo ARIMA

Las series temporales son secuencias de datos tomadas en intervalos regulares de tiempo, donde los datos usualmente son dependientes entre sí. Este tipo de series son de utilidad en diferentes áreas de estudio como en la economía, por ejemplo, para realizar proyecciones del empleo y desempleo o la evolución de los precios de los productos; en demografía pueden utilizarse para calcular el número de habitantes por año o para calcular tasas de mortalidad; en la ecología son de utilidad para calcular la lluvia recogida en una localidad o para calcular la temperatura media mensual [7]. En general, este tipo de series son de utilidad para el estudio de una variable a través del tiempo.

Las series temporales tienen cuatro características que las diferencian de las demás series. La primera característica es la tendencia, que es la dirección que sigue la serie; la segunda son las variaciones cíclicas, las cuales son los comportamientos ondulantes o periódicos que pueda tener la serie; la tercera son las variaciones estacionales, éstas son oscilaciones que se repiten en una misma fase de ciclo; y la cuarta son las variaciones accidentales, las cuales son oscilaciones debidas al azar [8].

Para analizar series temporales existen diferentes procesos, y uno de esos procesos es el proceso autorregresivo integrado de media móvil (ARIMA). Estos modelos son de la forma [9]:

$$Y_t = -(\Delta^d Y_t - Y_t) + \varphi_0 + \sum_{i=1} \varphi_i \Delta^d Y_{t-i} - \sum_{i=1} \theta_i \varepsilon_{t-i} + \varepsilon_t$$

donde $\Delta Y_t = Y_t - Y_{t-1}$.

Los procesos ARIMA poseen tres parámetros, es decir, son de la forma ARIMA (p, d, q). El primer parámetro (p) indica que la serie es autorregresiva (AR), es decir que en determinado momento los datos pueden predecirse a partir de los datos anteriores añadiendo un término de error. El segundo parámetro (d) sirve para que la serie se vuelva estacionaria después de diferenciarla d-veces. El tercer parámetro (q) indica que la media no es constante [8].

En el caso de que las series tengan patrones que se repitan, como las estaciones del año, se utilizan otros tres parámetros (P, D, Q). De esta forma el análisis de la serie temporal sería de la forma ARIMA (p, d, q)(P, D, Q). En este proceso, los tres primeros parámetros (p, d, q) modelan la dependencia que tienen los datos consecutivos, mientras que los parámetros (P, D, Q) modelan la dependencia estacional que puede haber en los datos al ser tomados por periodos [7].

Para seleccionar el modelo que mejor se adecúe a las series analizadas se utilizó la metodología Box-Jenkins. Para aplicar esta metodología se deben de tomar en cuenta las siguientes consideraciones: a) los datos deben de haber sido tomados en intervalos de tiempo regulares; b) esta metodología puede ser utilizada para analizar series estacionarias o no estacionarias; c) se recomienda tener al menos 50 datos para que haya un mejor ajuste del modelo y d) se considera que las perturbaciones aleatorias que pueda presentar la serie no están relacionadas entre sí (10). Para determinar un modelo usando esta metodología se utilizan 5 pasos: 1) estacionariedad, 2) identificación, 3) estimación, 4) evaluación y 5) pronósticos (Imagen 1) [10]. Para fines de este trabajo, solamente se llevaran a cabo los primeros 4 pasos debido a que es un trabajo exploratorio y no se busca realizar pronósticos a partir de los datos analizados.

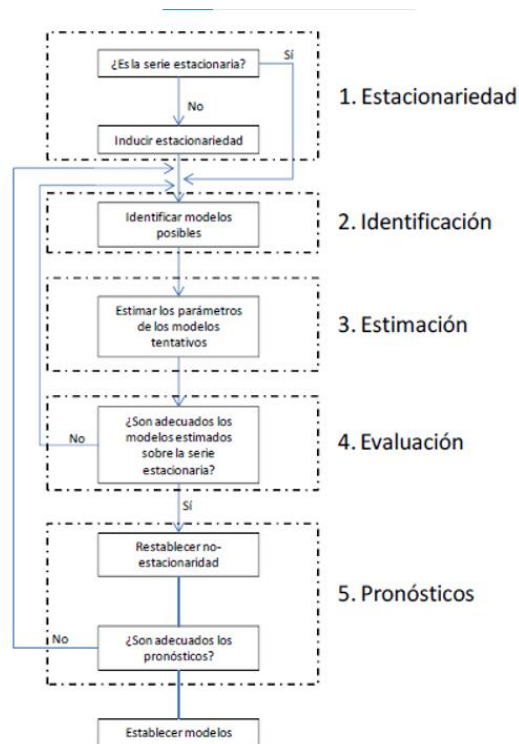


Imagen 1. Diagrama de flujo de la metodología Box-Jenkins [6].

La inducción de la estacionariedad es el primer paso de la metodología Box-Jenkins, en cual se debe revisar que la serie de las observaciones tome características de estacionariedad, es decir, que la serie no presente una tendencia. Un primer análisis se puede realizar observando la gráfica de la serie, si los datos de la serie oscilan alrededor de un valor fijo se puede considerar la serie como estacionaria. Si la serie presenta una tendencia es necesario removerla mediante una diferenciación, con lo cual, se obtiene un proceso de ruido blanco que se considera una serie estacionaria de media cero y varianza constante [11]. De esta forma se obtiene el parámetro de integración d .

Como parte de la identificación también es necesario determinar los parámetros de regresión $AR(p)$ y de media móvil $MA(q)$ posibles. Para esto se analizan las gráficas de Autocorrelación (ACF) y Autocorrelación Parcial (ACFP) de la serie estacionaria. Los retardos significativos en la gráfica de Autocorrelación parcial (ACFP), aquellos que se salgan de los límites de confianza, determinarán el parámetro $AR(p)$. Los retardos significativos en la gráfica de Autocorrelación (ACF), aquellos que se salgan de los límites de confianza, determinarán el parámetro $MA(q)$. Este procedimiento es análogo para determinar los parámetros $AR(P)$ y $MA(Q)$ [11].

En la estimación del modelo se analizan las medidas de la bondad de ajuste del modelo, los cuales se describen a continuación. Los estadísticos Ljung-Box muestran si existe una diferencia significativa entre los datos previstos por el modelo y la serie de observaciones; si este estadístico tiene una significancia $p < 0.05$, el modelo elegido no es el adecuado para representar las observaciones. El valor de R-cuadrado estacionaria muestra la estimación de la proporción de la variación total de la serie que se explica con el modelo y R cuadrado muestra la proporción de la varianza total de la serie que puede ser explicada por el modelo. La Raíz del Error Cuadrático Promedio (RMSE) muestra el error de los datos predichos por el modelo. El error absoluto medio (MAE) muestra el promedio de los errores absolutos y el Error Absoluto Máximo (MaxAE) indica el mayor error que pueden tener las predicciones del modelo [12].

El Error Absoluto Porcentual Promedio (MAPE) muestra la diferencia entre los valores predichos por el modelo y los valores observados. El Criterio de Información Bayesiano Normalizado (BIC normalizado) es un estadístico que indica el ajuste global y permite la comparación entre modelos [12].

La evaluación del modelo consiste en analizar la predictibilidad del modelo ARIMA determinado para la serie dependiente a partir del modelo ARIMA determinado para la serie independiente. Este ajuste se analiza utilizando las medidas de bondad de ajuste. Si las medidas de bondad de ajuste son favorables, indican que la serie dependiente puede ser predicha temporalmente por la serie independiente, de lo contrario, indican que la serie dependiente no puede ser predicha o que el modelo elegido no es el más adecuado [12].

Predictores significativos

Los predictores significativos son una forma de análisis de series temporales basado en los modelos causales temporales [13]. Este método consiste en determinar la predictibilidad temporal de una serie temporal (serie dependiente) a partir de otra (serie independiente) y “únicamente se seleccionan los parámetros que tengan una relación estadísticamente significativa con la serie dependiente” [12]. Para revisar el ajuste del modelo se utilizan las medidas de bondad de ajuste. Si las medidas de bondad de ajuste son favorables, indican que la serie dependiente puede ser predicha temporalmente por la serie independiente, de lo contrario, indican que la serie dependiente no puede ser predicha o que el modelo elegido no es el más adecuado [12].

La temperatura ambiental y la expresión de la violencia

Los factores que influyen en los actos violentos son diversos y tiene un origen diferente. Algunos pueden ser factores sociales, familiares, políticos, entre otros. Recientemente se ha estudiado la influencia del medio ambiente en el comportamiento humano, y se ha hecho énfasis en los climas, principalmente en la temperatura ambiental [14].

Se han realizado diversos estudios enfocados en describir la relación que puede existir entre la violencia y la temperatura ambiental. Uno de los primeros autores en proponer una relación entre la violencia y la temperatura elevada fue Anderson C. en el artículo "Temperatura y agresión". Posteriormente, diversos investigadores han realizado estudios para describir y comprender la relación entre la temperatura ambiental y la violencia, proponiendo diversos modelos que expliquen esa relación.

Antecedentes

La relación entre la temperatura ambiental y la violencia es un fenómeno que se comenzó a estudiar metódicamente a mediados del siglo XX. La asociación que se encontró entre la temperatura elevada y la violencia fue lineal [15]. Anderson observó que al elevar la temperatura en un ambiente controlado las personas, ante un evento adverso, respondían más agresivamente que en condiciones de temperaturas más bajas [15].

También se han realizado estudios en diferentes ciudades para observar la relación entre un aumento en la agresión y la violencia debido a las altas temperaturas. En Ohio se encontró una relación lineal entre la temperatura y los delitos agresivos cuando la temperatura se encontraba alrededor de los 25 °C [16]. En España, durante las olas de calor (Temperatura > 34 °C), se registró un aumento de casos de feminicidios por parte de su pareja y de llamadas a la línea de ayuda telefónica de emergencia [17]. Un estudio realizado en Chicago y Nueva York encontró una asociación lineal entre temperatura y homicidio, donde el aumento de 5 °C en la temperatura media diaria se asociaba con un aumento de los homicidios intencionales [18].

No todas las relaciones que se han encontrado entre la temperatura ambiental y la violencia son lineales, también se han observado relaciones curvilíneas. En 2012, en un

estudio realizado en Texas se observó que los delitos violentos son más frecuentes a una temperatura alrededor de los 26.6 °C y que disminuyen a temperaturas alrededor de 32.2 °C [19]. Otro estudio realizado en Rusia, en 2019, observó que las relaciones lineales entre temperatura y violencia aparecen al no tomar en cuenta el “efecto frío”, así que al tomar en cuenta temperaturas muy bajas o muy altas la relación entre temperatura y agresión sería una función en forma de U, lo cual indicaría que las temperaturas altas no son las únicas que tienen efectos sobre la violencia [20].

Referente a los factores ambientales también se han tomado otros factores climáticos aparte de la temperatura, como la lluvia y la neblina. Los tipos de crímenes que se cometen están relacionados con el clima que hay en el día en que se cometieron. Sin embargo, a pesar de que los crímenes se pueden ver influenciados por la lluvia y la neblina, la relación más fuerte sigue siendo entre temperatura y crímenes violentos [14].

Planteamiento del problema

La violencia es un problema que se ve afectado por múltiples factores, los más comunes son sociales, pero también puede verse influenciada por factores ambientales. A mediados del siglo XX se observó que los factores ambientales pueden tener efectos sobre el comportamiento humano. De los factores ambientales estudiados, el que tuvo una mayor relación con el manejo de la ira y la violencia fue la temperatura ambiental elevada. En estudios realizados en diferentes ciudades, se observó que en las temporadas del año donde la temperatura ambiental era elevada había un aumento en la violencia y los homicidios.

La temperatura ambiental se puede medir de manera cuantitativa utilizando termómetros, sin embargo, una medida numérica no representa la sensación térmica que experimentan las personas. De manera intuitiva se pueden entender los conceptos de “caliente” y “frío”, pero estos conceptos son subjetivos. Para poder incluir la sensación térmica en un modelo numérico es necesario cuantificarla.

La temperatura, vista desde una perspectiva física, es el intercambio de energía que hay entre dos cuerpos, o entre un cuerpo y el medio que lo rodea. Para que exista el intercambio de energía los dos cuerpos, o el cuerpo y el medio, deben de tener temperaturas diferentes. Las personas tienen una temperatura que puede considerarse constante, sin embargo, el medio ambiente presenta muchas variaciones de temperatura diariamente y

anualmente, lo que genera un intercambio de energía en todo momento entre las personas y el medio ambiente.

Desde esta perspectiva física, puede calcularse el intercambio de energía que ocurre entre las personas y el medio en el que se encuentran. El cálculo de este cambio energético, en primera instancia, describe, a nivel energético, la manera en que interactúan las personas con el medio en el que se encuentran, es decir, no toma en cuenta la parte subjetiva. La importancia de esto es que es una primera aproximación de manera cuantitativa, lo que permite su uso en diferentes modelos teóricos.

Para que el intercambio energético pueda tener una interpretación en cuanto a la sensación térmica, es necesario agregar la parte cualitativa del problema. El intercambio de energía entre las personas y el medio ambiente es mayor si la diferencia de temperaturas es mayor, por lo cual, es importante cuantificar de alguna manera el intervalo en el que el intercambio de energía no causa incomodidad en las personas. Al combinar la parte cuantitativa y cualitativa de la temperatura ambiental, se podría interpretar de manera más completa la sensación de confort o incomodidad que pueden presentar las personas a diferentes temperaturas.

La sensación de confort o incomodidad que puede presentar la temperatura ambiental varía de persona a persona, sin embargo, existen teorías que mencionan que podría generalizarse dentro de un intervalo. Haciendo uso de un intervalo de confort térmico hipotético podría observarse la influencia de la temperatura en el comportamiento de las personas. De manera más particular, algunas teorías mencionan que, dentro de un intervalo de temperaturas, se podría observar la influencia de las temperaturas elevadas en las conductas violentas de los adolescentes. Así mismo, en las temporadas más calurosas se ha reportado un aumento en los homicidios en diferentes ciudades [14-20].

Pregunta de investigación

- ¿Cuál es el comportamiento de las temperaturas máximas ambientales en relación con el intervalo de temperatura de confort hipotético a nivel nacional y en diferentes entidades federativas?
- ¿Cuál es el comportamiento temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres adolescentes mayores y el de las temperaturas

ambientales máximas nacionales entre 1998 y 2019 a nivel nacional y en diferentes entidades federativas?

- ¿Cuál es la relación entre la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres adolescentes mayores y la serie de temperatura máxima ambiental nacional y en diferentes entidades federativas en el periodo de 1998 y 2019?

Objetivos principales

- Determinar el comportamiento temporal de las temperaturas máximas ambientales en relación con el intervalo de temperatura de confort térmico hipotético.
- Determinar el comportamiento temporal de la tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años y la temperatura máxima ambiental nacional y en diferentes entidades federativas.
- Determinar la relación entre la tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años y la temperatura máxima ambiental nacional y en diferentes entidades federativas.

Hipótesis

- Las temperaturas máximas ambientales en México, y en diferentes entidades federativas, rebasan el intervalo de temperatura de confort hipotético.
- La tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres adolescentes mayores y la temperatura máxima ambiental han ido en incremento de 1998 a 2019 en México y en diferentes entidades federativas.
- La tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en adolescentes mayores puede predecirse a partir de la temperatura máxima ambiental en el periodo de 1998 a 2019 en México y en diferentes entidades federativas.

Metodología

Diseño

Se trata de un estudio observacional, ecológico, de tendencias en el tiempo.

Población

Universo de estudio

La población de todos los adolescentes mexicanos residentes de las entidades de la República Mexicana registrados en el Consejo Nacional de Población entre 15 y 19 años de edad.

Bases de datos

Los datos se obtuvieron de fuentes secundarias.

Las temperaturas ambientales medias y máximas se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional perteneciente a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) tomadas de los enlaces <https://datos.gob.mx/busca/dataset/temperatura-promedio-excel>¹, <https://datos.gob.mx/busca/dataset/temperatura-maxima-excel>¹, respectivamente. Estos datos han sido tomados desde 1985, se actualizan mensualmente, y se descargaron en septiembre del 2020. Las temperaturas fueron tomadas a través de estaciones convencionales y automáticas. La temperatura es registrada por la Red Sinóptica de Altura que consta de 16 estaciones de radiosondeo, cuya función es la observación de las capas altas de la atmósfera. Cada estación realiza mediciones de presión, temperatura, humedad y viento mediante una sonda que se eleva por medio de un globo dos veces al día [21].

El número de defunciones por homicidios en adolescentes se obtuvo mediante la plataforma de Cubos Dinámicos de la Dirección General de Información en Salud (DGIS) mediante el enlace http://pwidgis03.salud.gob.mx/cubos/defunciones/seed_98_2018_hist.htm¹. Estos datos abarcan el periodo de 1998 a 2019 y han sido capturados mensualmente mediante los componentes institucional y comunitario de la Secretaría de Salud. Para la construcción de la base de datos se solicitó la información mediante la aplicación de los siguientes filtros disponibles en la plataforma: sexo, edad quinquenal de 15 a 19 años, año de defunción,

¹ Las bases de datos fueron descargadas en agosto del 2020 mediante el buscador Internet Explorer. Debido a que las bases de datos se actualizan continuamente, es posible que haya dificultades al acceder directamente mediante los enlaces.

entidad de defunción y causa de defunción por agresiones (homicidios), operaciones de guerra y otras lesiones intencionales.

Para realizar las tasas de mortalidad por muertes violentas se utilizaron las Proyecciones de la Población de los Municipios de México de los años 1950-2050 a mitad de año, publicadas en la página del Consejo Nacional de Población (CONAPO) mediante el enlace.

<https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050/resource/6bfe6281-f7dc-4661-b7b0-04ba0f2aff4e>¹.

La última actualización de esta base de datos fue el 23 de agosto de 2019.

Variables

Temperatura ambiental máxima mensual

Definición conceptual. Propiedad de un sistema que se iguala a la de otro sistema cuando los dos sistemas están en equilibrio térmico [22].

Definición Operacional. Temperatura diaria más alta registrada entre las 14:00 y las 16:00 horas [23] registrada por la Red Sinóptica de Altura de las 16 estaciones de radio-sondeo mediante sonda [24].

Tasa de homicidios por causas violentas en adolescentes mayores

Definición conceptual. Indicador que relaciona el número de defunciones ocurridas en una región, con el tamaño de la población en la que ocurrieron [4].

Definición operacional. Es la cantidad de homicidios ocurridos en una entidad federativa en un mes en proporción a la población de dicha entidad expresada por 100,000 habitantes para cada entidad federativa del país durante el periodo de 1998 a 2019 y estandarizada directamente para población adolescente. Las tasas fueron calculadas por el método directo de la Organización Mundial de la Salud (OMS) utilizando el número de defunciones por homicidios obtenidos de la plataforma de Cubos Dinámicos, el tamaño poblacional del grupo etario reportado por el Consejo Nacional de Población (CONAPO) para cada año y la Distribución Mundial Estándar de la Población con un valor de 8.47 % para las edades de 15 a 19 años. Se utilizó esta población estándar para facilitar la comparación de tasas de mortalidad entre diferentes grupos compuestos por edad y/o demografía, ya que elimina los efectos de eventos históricos [25].

El número de muertes para construir las tasas de mortalidad por muertes violentas en adolescentes mayores se obtuvieron mediante la plataforma de Cubos Dinámicos utilizando el filtro de la plataforma de acuerdo con la clasificación del Global Burden Disease (GBD 165) e incluyendo los códigos III. B. 2. Agresiones (homicidios), 3. Operaciones de guerra y 4. Otras lesiones intencionales.

El tamaño poblacional para el grupo etario de CONAPO de las proyecciones 1950-2050 fueron calculadas con Censos de Población y vivienda o un Censo de Población, y la base de datos fue tomada del siguiente enlace <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050/resource/b73a8fdc-a3c8-4861-b830-863e1d245db3>¹.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis estadístico correspondiente para alcanzar los objetivos establecidos y señalados en la metodología. Se analizaron los datos a nivel nacional y con la finalidad de comparar el comportamiento de las variables entre modelos que representaran mejor la temperatura ambiental en condiciones extremas, se analizó la información de los estados de Chihuahua, que corresponde a un clima muy seco (40% del territorio) y seco y semiseco (33% del territorio), y que presenta temperaturas mayores a 30 °C en los meses más calurosos, y de Tlaxcala que responde a un clima templado y subhúmedo en el 99.2 % de su territorio, y que en la temporada de calor no presenta temperaturas mayores a 30 °C. Con la información de 264 meses, perteneciente a 22 años, obtenida de las bases de datos de temperatura descritas previamente en la sección de metodología, se realizaron los siguientes procedimientos:

A. Análisis Descriptivo

1. Se calculó la temperatura de confort térmico y el intervalo de temperatura con base en el modelo propuesto por Humphreys y Nicol.
2. Se calcularon las tasas de mortalidad específicas mediante el método directo de la Organización Mundial de la Salud (OMS).
3. Se determinaron los mejores modelos ARIMA, siguiendo la metodología Box-Jenkins, de las series temporales de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en

hombres de 15^a 19 años de edad y la temperatura máxima nacional mediante el software *IBM SPSS Statistics 21*.

B. Análisis Inferencial

4. Para determinar si la serie temporal de la temperatura máxima ambiental puede predecir temporalmente la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres se realizó el método de *predictores significativos*.

5. Para determinar qué porcentaje de la varianza de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas es explicado por la serie temporal de las temperaturas máximas ambientales se realizó una regresión lineal entre estas dos variables.

El error de los datos predichos por el modelo (RMSE), se calculó mediante la ecuación:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Donde n es el número de periodos, X_{obs} son los valores observados X_{model} son los valores modelados para el periodo i [26].

Resultados

Nacional

Temperatura

Al realizar el análisis de las temperaturas nacionales se encontró que la temperatura máxima de mayor magnitud fue de 34.2 °C en junio del 2017 y la de menor magnitud fue de 21.8 °C en febrero de 2010. La diferencia de entre las temperaturas de mayor y menor magnitud registradas es de 12.4 °C. El promedio de la temperatura en los 22 años analizados fue de 29.1 °C. De manera general, se puede observar que la temperatura ha incrementado en 2°C en todas las estaciones en los 22 años analizados, es decir, las temperaturas en las estaciones del año 2019 son 2 °C más altas que en las estaciones del año 1998. En la gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas ambientales se puede observar este incremento en el aumento de la amplitud en los periodos (imagen 2a).

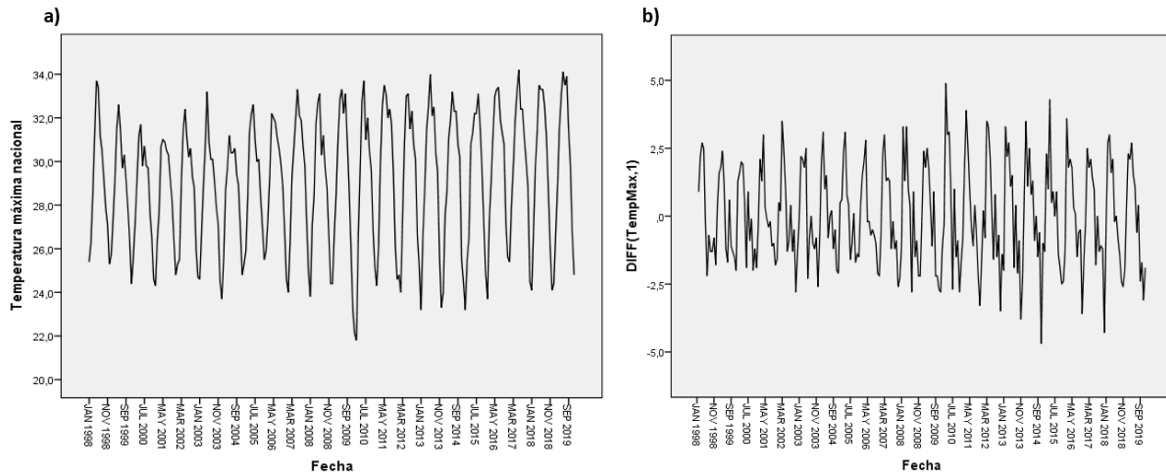


Imagen 2. a) Gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas nacionales de 1998 a 2019. b) Gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas nacionales de 1998 a 2019 diferenciada.

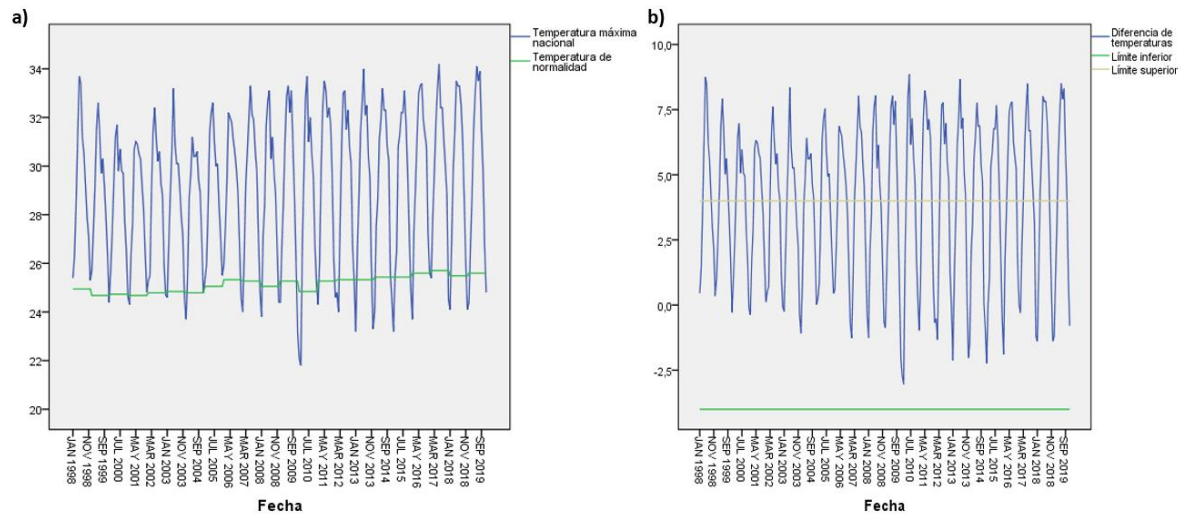


Imagen 3. a) Temperatura máxima nacional de 1998 a 2019 y temperatura de normalidad calculada para ese periodo. b) Intervalo de temperatura de confort hipotético.

La temperatura de normalidad calculada (imagen 3a) mensualmente para el país mediante la ecuación (1) va de 24.67 °C, en enero de 1999, a 25.67 °C, en diciembre de 2017. Para obtener las temperaturas que se salen del intervalo de confort térmico, $\pm 4K$, se utilizó la ecuación (2). Al realizar este análisis se encontró que las temperaturas en los meses de abril a agosto superan el valor de 4K (imagen 3b).

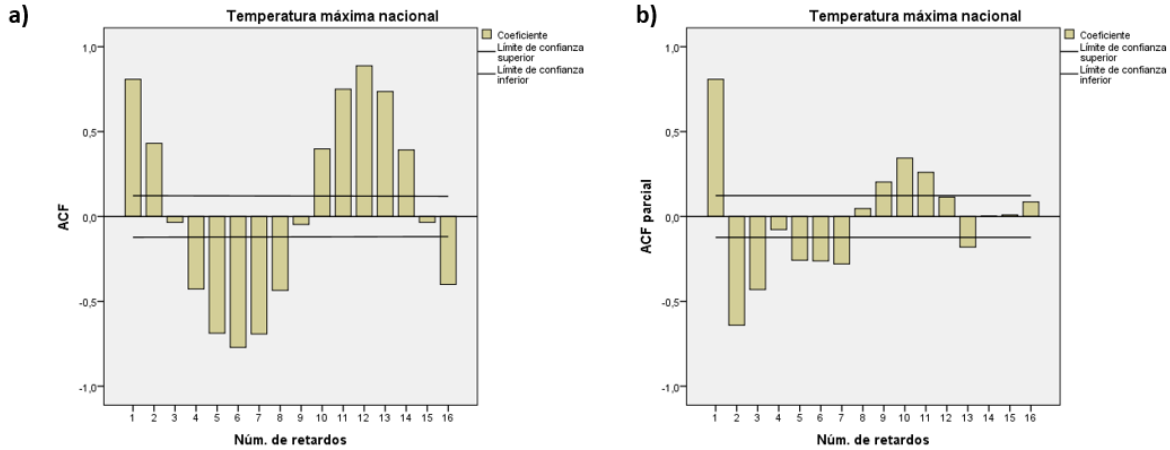


Imagen 4. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de la temperatura máxima nacional. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de la temperatura máxima nacional.

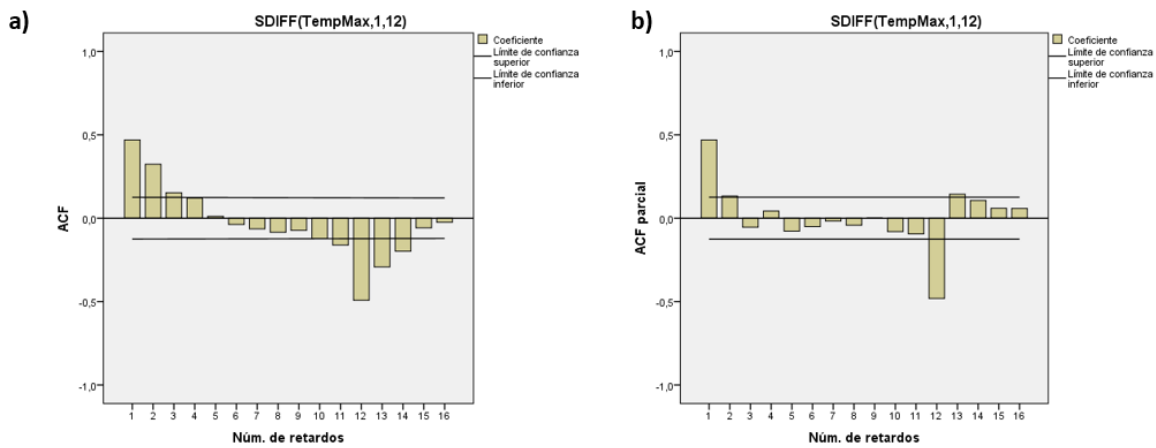


Imagen 5. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de la temperatura máxima nacional diferenciada estacionalmente una vez. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de la temperatura máxima nacional diferenciada estacionalmente una vez.

En la gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas nacionales (imagen 1a) se puede apreciar que las observaciones oscilan alrededor de un valor constante, con lo cual se puede considerar que es una serie estacionaria, por lo que el parámetro de integración es $d=0$. Al revisar la significancia de los retardos que aparecen en la gráfica ACFP (imagen 4b), solamente se encontró uno, con lo cual el término autorregresivo es $p=1$. En la gráfica de la Función de Autocorrelación (ACF) (imagen 4a) presenta ciclos más

definidos que la gráfica ACFP y no se observa un retardo sobresaliente, así que el término de media móvil es $q=0$.

Las gráficas ACFP y ACF presentan un comportamiento cíclico que no decrece, por tal motivo es necesario diferenciar la serie estacionalmente una vez (imagen 2b), con lo cual el parámetro de integración estacional es $D=1$. Al analizar los retardos en la gráfica ACFP de esta nueva serie (imagen 5b) se observa que es cíclica y no presenta algún retardo significativo en alguno de los ciclos, por tal motivo, el término de autorregresión estacional es $P=0$. Analizando la gráfica ACF (imagen 5a), se observa un retardo que no se repite en todos los ciclos, así que el término de media móvil estacional es $Q=1$. Al tomar los parámetros estimados, el modelo para la temperatura máxima nacional es **ARIMA (1, 0, 0)(0, 1, 1)** (Ljung-Box=17.444, $p=0.357$) (imagen 9a). Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 1. Este modelo indica que a partir de las observaciones de un mes anterior se pueden predecir las siguientes; además, muestra que la temperatura, en términos estacionales, ha ido incrementado de forma lineal a lo largo de la serie.

Mortalidad

Al realizar el análisis de las tasas de mortalidad (imagen 7a) se encontró que la tasa de mortalidad de mayor magnitud fue de 0.359 muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad en julio del 2018 y la de menor magnitud fue de 0.040 muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad en febrero de 2007. La diferencia de entre las tasas de mortalidad de mayor y menor magnitud fue de 0.319 muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. El promedio de las tasas de mortalidad en los 22 años analizados fue de 0.165 muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad.

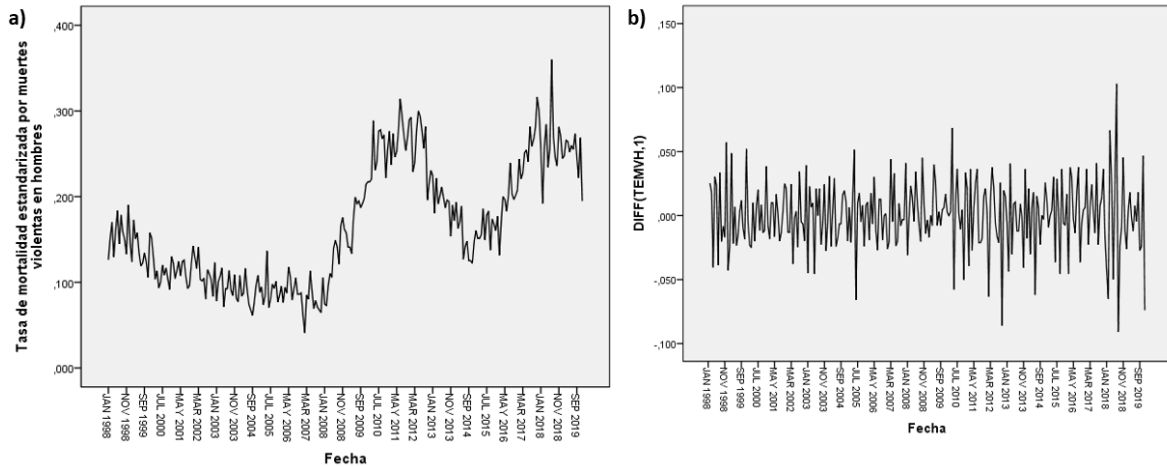


Imagen 7. a) Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años nacional. b) Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años nacional diferenciada una vez.

La gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas del país, visualmente presenta una tendencia lineal creciente (imagen 7a), por lo cual, la serie no es estacionaria. La serie se transformó en un proceso de ruido blanco (imagen 7b) con media de 0.00026 y varianza de 0.001 (tabla 1) (con lo cual se puede considerar que la media es cero y la varianza constante). Este proceso determinó el parámetro $d=1$.

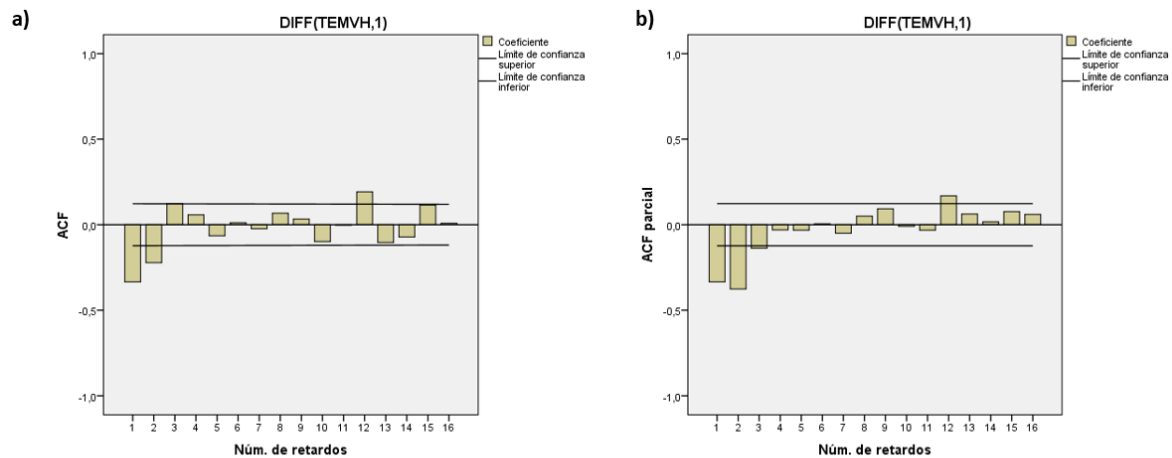


Imagen 8. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años.

Al revisar la significancia estadística (Tabla 1) de los retardos que aparecen en la gráfica ACFP (imagen 8b) se observó que no presentan significancia estadística, por lo cual

el término de autorregresión $p=0$. De los retardos que aparecen en la gráfica ACF (imagen 8a) solamente uno tiene significancia, con lo cual el término de media móvil toma el valor de $q=1$. De los retardos referentes a la autorregresión estacional solamente uno presentó significancia, por lo cual el parámetro de autorregresión estacional es $P=1$. Los retardos referentes a la media móvil estacional no presentaron significancia, por lo tanto el término de media móvil estacional toma el valor de $Q=0$. Basado en este análisis, el modelo que puede representar las tasas de mortalidad estandarizadas nacional es **ARIMA (0, 1, 1)(1, 0, 0)** (Ljung-Box=12.238, $p=0.727$) (imagen 9b). Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 1. Este modelo muestra que la mortalidad no puede ser predicha a partir de datos anteriores, aunque, en términos estacionales, los ciclos son previsibles tomando en consideración un ciclo previo. Además, la mortalidad ha incrementado linealmente a lo largo de la serie sin un patrón estacional definido.

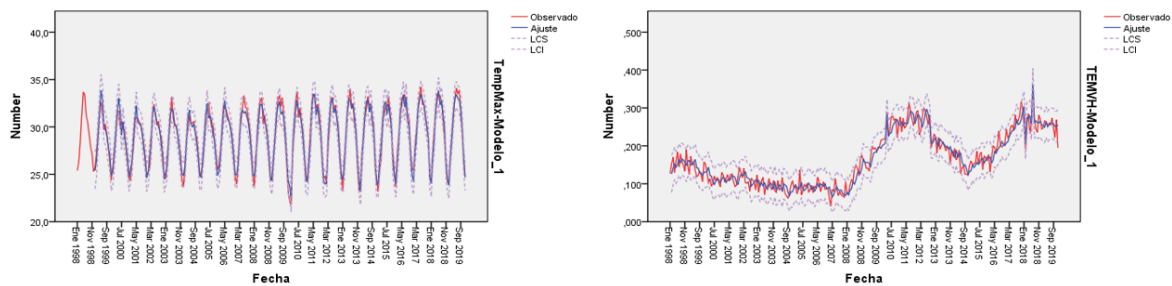


Imagen 9. a) Gráfica de la serie temporal de la temperatura máxima nacional (en rojo) y el modelo ajustado ARIMA(1,0,0)(0,1,1) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI). b) Gráfica de la serie temporal de la tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres (en rojo) y el modelo ajustado ARIMA(0,1,1)(1,0,0) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI).

Tabla 1. Índices de bondad de ajuste y parámetros ARIMA nacionales.

Medidas de Bondad de Ajuste	TMEMVH*	TMN**	Predictores Significativos	Predictores Significativos***
	(0,1,1)(1,0,0)	(1,0,0)(0,1,1)	(0,1,1)(1,0,0)	(0,1,1)(1,0,0)
Número de predictores	0	0	1	1
Media	0.00026	29.12	—	—
Varianza	0.001	8.989	—	—
Ljung-Box Q(18)	12.238 (p=0.727)	17.444 (p=0.357)	15.565 (p=0.484)	18.252 (p=0.309)
R-cuadrado estacionaria	0.432	0.582	0.438	0.439
R cuadrado	0.914	0.946	0.914	0.922
RMSE	0.021	0.704	0.021	0.021
MAE	0.016 (0.040,0.359)	0.554	0.016	0.016
MaxAE	0.061	1.889	0.062	0.061
MAPE	11.688	1.925	11.780	11.657
BIC normalizado	-7.610	-0.592	-7.592	-7.543
Parámetros del modelo ARIMA				
Autorregresivo				
Retardo 1	0	0.475 (p=0.000)	0	0
Diferencia	1	0	1	1
Media móvil				
Retardo 1	0.632 (p=0.000)	0	0.621 (p=0.000)	0.602 (p=0.000)
Autorregresivo estacional				
Retardo 1	0.224 (p=0.000)	0	0.252 (p=0.000)	0.252 (p=0.000)
Diferencia estacional	0	1	0	0
Media móvil estacional				
Retardo 1	0	0.689 (p=0.000)	0	0

*Tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años.
 **Temperatura máxima nacional.
 ***Predictores significativos determinados por el software.

Predictores significativos

Al realizar el análisis de la predictibilidad temporal de las tasas de mortalidad por las temperaturas máximas (imagen 10) se encontró que la temperatura sí es un predictor significativo. El estadístico Ljung-Box, el cual hace referencia a la reproducibilidad que tiene el modelo de los datos observados y tuvo una significancia de 0.484, indica que ambas series, la observada y la proyectada, no muestran diferencias estadísticamente significativas. El modelo seleccionado explica el 43.8 % de la variación total de las tasas de mortalidad. El promedio de los errores absolutos que tiene este modelo es de 0.021 muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. El máximo error pronosticado por el modelo es de 0.062 muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. La desviación porcentual promedio entre las tasas de mortalidad observadas y las predichas por el modelo es de 11.780 %. Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 1.

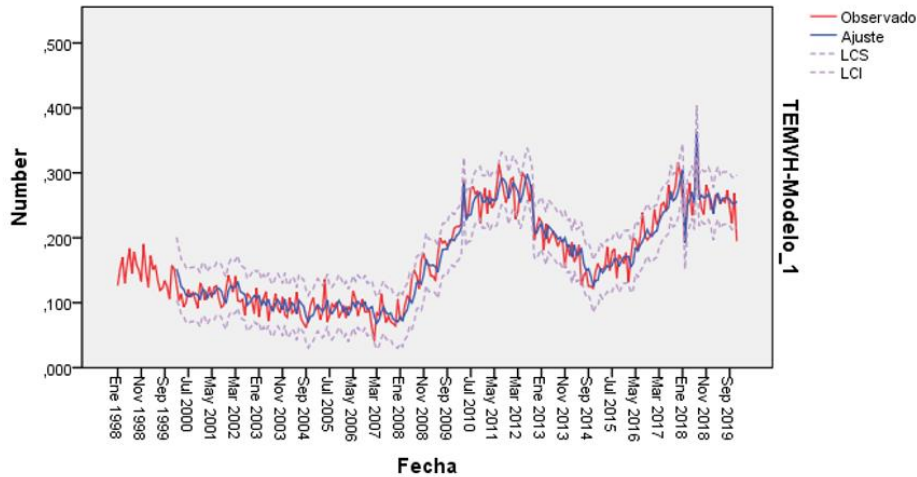


Imagen 10. Gráfica del modelo de predictores significativos de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas nacionales por la serie temporal de las temperaturas máximas nacionales. La serie temporal de las tasas de mortalidad se encuentra en rojo y el modelo ajustado ARIMA(0,1,1)(1,0,0) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI).

Chihuahua

Temperatura

Al realizar el análisis de las temperaturas de Chihuahua (imagen 11a) se encontró que la temperatura máxima de mayor magnitud fue de 36.3 °C en junio del 2002 y la de menor magnitud fue de 16.0 °C en enero de 2007. La diferencia entre las temperaturas de mayor y menor magnitud registradas es de 20.3 °C. El promedio de la temperatura en los 22 años analizados fue de 27.1 °C.

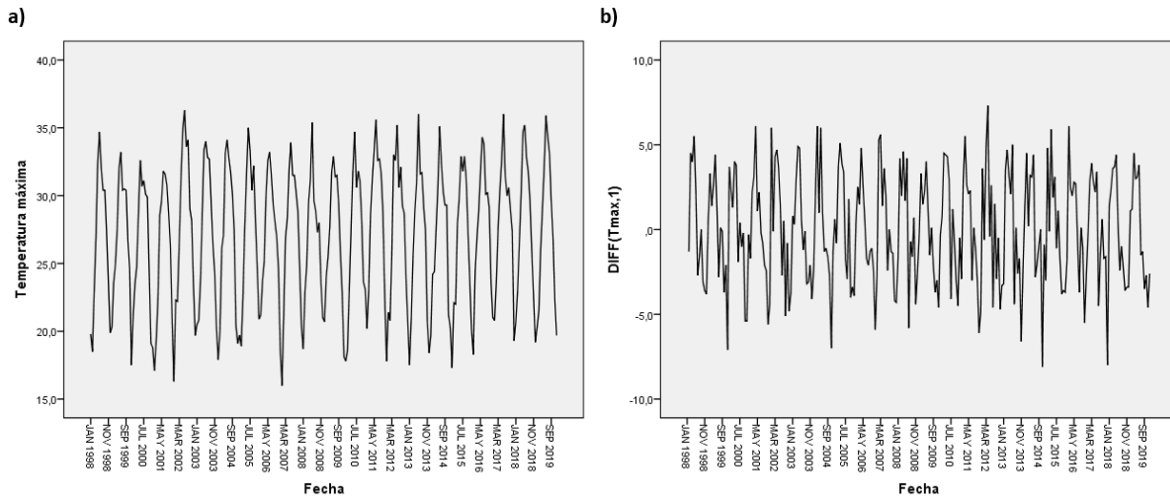


Imagen 11. a) Gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas de Chihuahua de 1998 a 2019. b) Gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas de Chihuahua de 1998 a 2019 diferenciada.

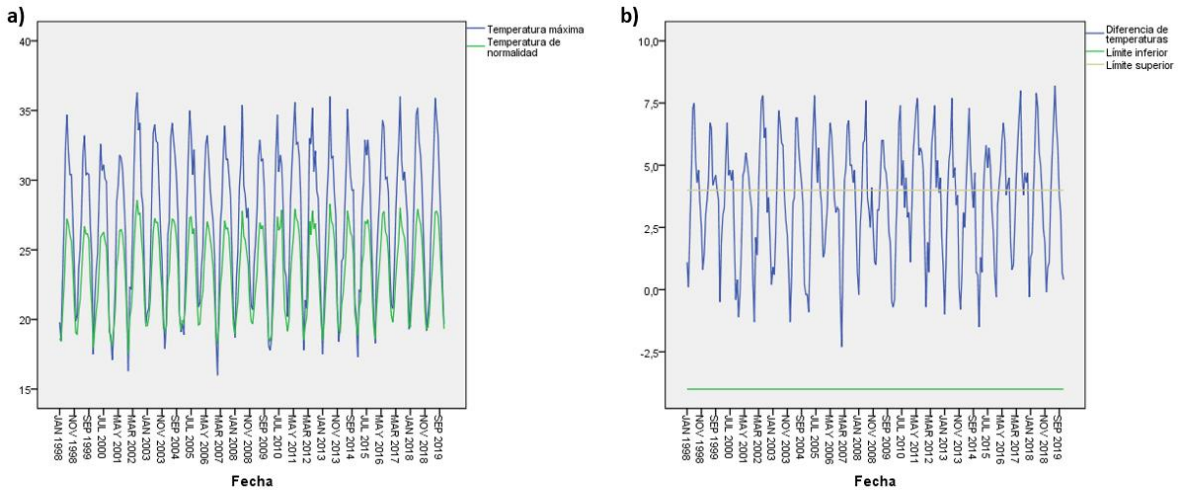


Imagen 12. a) Temperatura máxima de Chihuahua de 1998 a 2019 y temperatura de normalidad calculada para ese periodo. b) Intervalo de temperatura de confort hipotético calculada para Chihuahua.

La temperatura de normalidad calculada mensualmente para Chihuahua mediante la ecuación (1) va de 17.5 °C, en diciembre de 2001, a 28.5 °C, en junio de 2002. Para obtener las temperaturas que se salen del intervalo de confort térmico, $\pm 4K$, se utilizó la ecuación (2). Al realizar este análisis se encontró que las temperaturas en los meses de marzo a octubre superan el valor de 4K (imagen 12a).

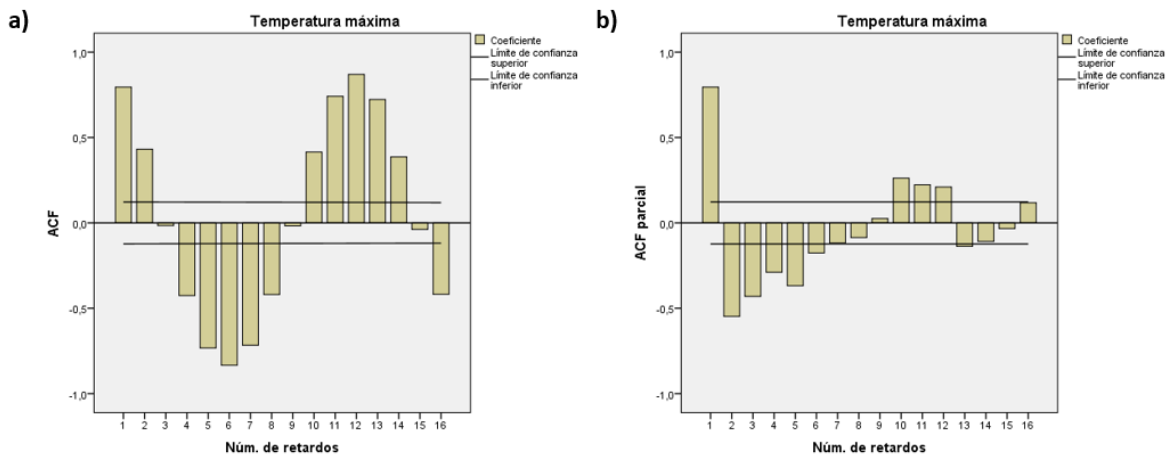


Imagen 13. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de la temperatura máxima de Chihuahua. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de la temperatura máxima de Chihuahua.

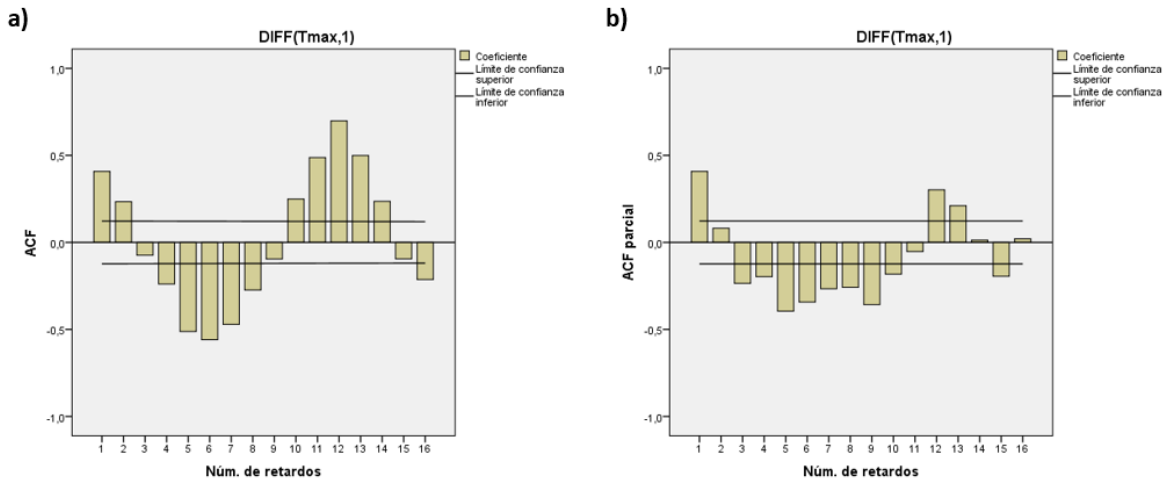


Imagen 14. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de la temperatura máxima de Chihuahua diferenciada. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de la temperatura máxima de Chihuahua diferenciada.

En la gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas de Chihuahua (imagen 11a) se puede apreciar que las observaciones oscilan alrededor de un valor constante, con lo cual se puede considerar que es una serie estacionaria, por lo que el parámetro de integración es $d=0$. Al revisar la significancia de los retardos que aparecen en la gráfica ACFP (imagen 13b), solamente uno presentó significancia, con lo cual el término autorregresivo es $p=1$. En la gráfica de la Función de Autocorrelación (ACF) (imagen 13a) se observan un retardo sobresaliente, así que el término de media móvil es $q=1$.

Las gráficas ACFP y ACF presentan un comportamiento cíclico que no decrece, por tal motivo es necesario diferenciar la serie estacionalmente una vez (imagen 11b), con lo cual el parámetro de integración estacional es $D=1$. Al analizar los retardos de la gráfica ACFP de esta nueva serie (imagen 14b) ninguno presentasignificancia, por tal motivo, el término de autorregresión estacional es $P=0$. Analizando los retardos de la gráfica ACF (imagen 14a), solamente un retardo presentó significancia, así que el término de media móvil estacional es $Q=1$. Al tomar los parámetros estimados, el modelo para la temperatura máxima de Chihuahua es **ARIMA (1, 0, 1)(0, 1, 1)** (Ljung-Box=14.425, $p=0.494$) (imagen 17a). Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 3. Este modelo indica que a partir de la observación de un mes anterior se puede predecir la del siguiente; además, muestra que la temperatura, en términos estacionales, ha ido incrementado de forma lineal a lo largo de la serie.

Mortalidad

Al realizar el análisis de las tasas de mortalidad se encontró que la tasa de mortalidad de mayor magnitud fue de 3.063×10^{-5} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad en agosto del 2010 y la de menor magnitud fue de 5.175×10^{-7} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad en septiembre de 2005. La diferencia de entre las tasas de mortalidad de mayor y menor magnitud fue de 3.011×10^{-5} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. El promedio de las tasas de mortalidad en los 22 años analizados fue de 6.138×10^{-6} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad.

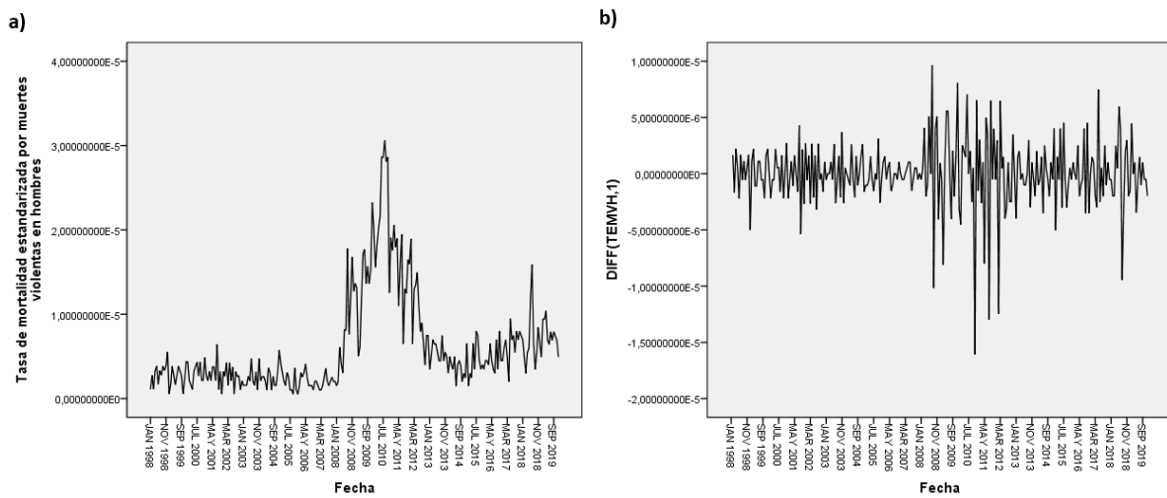


Imagen 15. a) Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Chihuahua. b) Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Chihuahua diferenciada una vez.

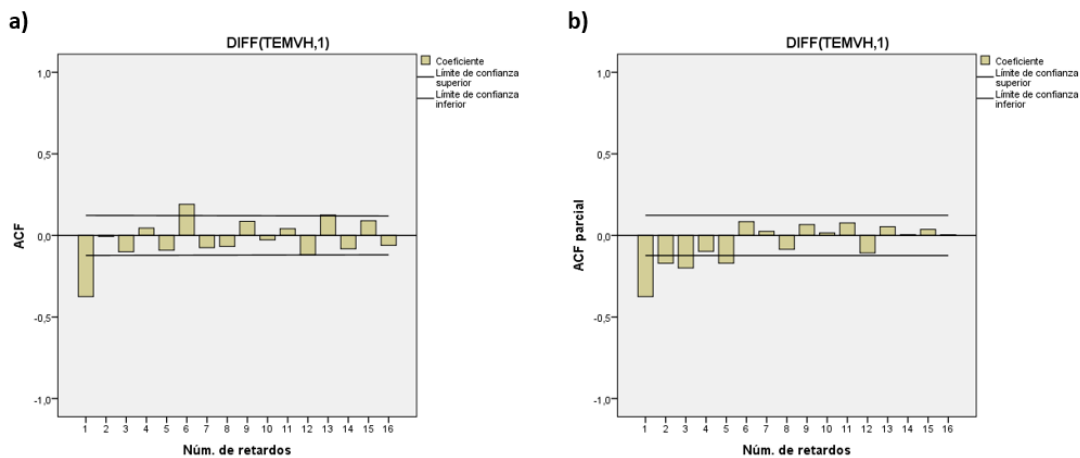


Imagen 16. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Chihuahua. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Chihuahua.

La gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas de Chihuahua (imagen 15a) no es una serie estacionaria. La serie se transformó en un proceso de ruido blanco (imagen 15b) con media de 0.00026 y varianza de 0.001 (tabla 2) (con lo cual se puede considerar que la media es cero y la varianza constante). Este proceso determinó el parámetro $d=1$.

Al revisar la significancia estadística de los retardos que aparecen en la gráfica ACFP (imagen 16b) se observaron tres retardos que presentan significancia estadística, por lo cual el término de autorregresión $p=3$. De los retardos que aparecen en la gráfica ACF (imagen 16a) ninguno tiene significancia, con lo cual el término de media móvil toma el valor de $q=0$. De los retardos referentes a la parte estacional ninguno presentó significancia (tabla 2), con lo cual esos parámetros toman los valores $P=D=Q=0$. Basado en este análisis, el modelo que puede representar las tasas de mortalidad estandarizadas de Chihuahua es **ARIMA (3, 1, 0)(0, 0, 0)** (Ljung-Box=11.731, $p=0.699$) (imagen 17b). Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 3. Este modelo muestra que la mortalidad puede ser predicha a partir de los datos de 3 periodos anteriores y que la mortalidad ha incrementado linealmente a lo largo de la serie sin un patrón estacional definido.

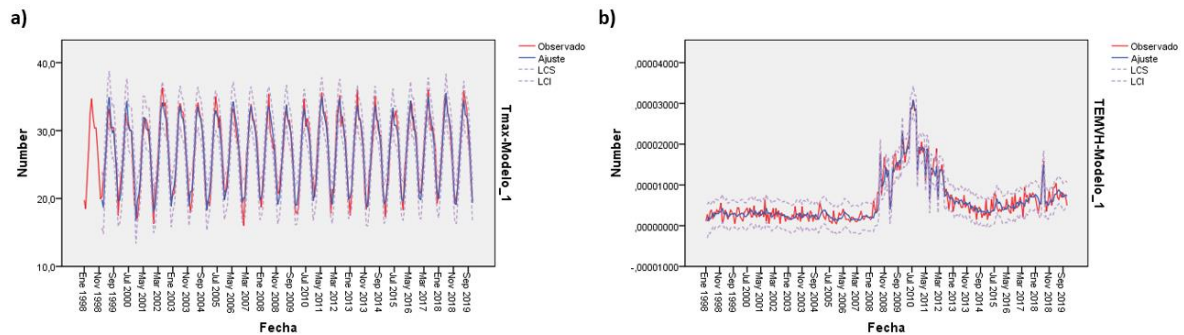


Imagen 17. a) Gráfica de la serie temporal de la temperatura máxima de Chihuahua (en rojo) y el modelo ajustado ARIMA(1,0,1)(0,1,1) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI). b) Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas de Chihuahua (en rojo) y el modelo ajustado ARIMA(3,1,0)(0,0,0) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI).

Tabla 3. Índices de bondad de ajuste y parámetros ARIMA de Chihuahua.

Medidas de Bondad de Ajuste	TMEMVH-CH* (3,1,0)(0,0,0)	TMCH** (1,0,1)(0,1,1)	Predictores Significativos (3,1,0)(0,0,0)	Predictores Significativos*** (3,1,0)(0,0,0)
Número de predictores	0	0	1	1
Media	1.46x10 ⁻⁸	-	-	-
Varianza	0.000	-	-	-
Ljung-Box Q(18)	11.731 (p=0.699)	14.425 (p=0.494)	19.618 (p=0.187)	16.712 (p=0.336)
R-cuadrado estacionaria	0.706	0.498	0.722	0.715
R cuadrado	0.919	0.915	0.923	0.921
RMSE	1.72x10 ⁻⁶	1.507	1.681x10 ⁻⁶	1.77x10 ⁻⁶
MAE	1.27x10 ⁻⁶	1.204	1.244x10 ⁻⁶	1.30x10 ⁻⁶
MaxAE	5.74x10 ⁻⁶	4.932	4.983x10 ⁻⁶	5.27x10 ⁻⁶
MAPE	42.006	4.759	43.299	39.567
BIC normalizado	-26.149	0.885	-26.105	-25.965
Parámetros del modelo ARIMA				
Autorregresivo				
Retardo 1	-0.680 (p=0.000)	0.784 (p=0.000)	-0.621 (p=0.000)	-0.632 (p=0.000)
Retardo 2	-0.480 (p=0.000)	-	-0.408 (p=0.000)	-0.413 (p=0.000)
Retardo 3	-0.287 (p=0.000)	-	-0.300 (p=0.000)	-0.325 (p=0.000)
Diferencia	1	0	1	1
Media móvil				
Retardo 1	-	0.513 (p=0.000)	-	-
Autorregresivo estacional				
Retardo 1	-	-	-	-
Diferencia estacional	0	1	0	0
Media móvil estacional				
Retardo 1	-	0.929 (p=0.000)	-	-

*Tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Chihuahua.
 **Temperatura máxima en Chihuahua.
 ***Predictores significativos determinados por el software.

Predictores significativos

Al realizar el análisis de la predictibilidad temporal de las tasas de mortalidad por las temperaturas máximas (imagen 18) se encontró que la temperatura sí es un predictor significativo. El estadístico Ljung-Box, el cual hace referencia a la reproducibilidad que tiene el modelo de los datos observados y tuvo una significancia de 0.187, indica que ambas series, la observada y la proyectada, no muestran diferencias estadísticamente significativas. El modelo seleccionado explica el 72.2 % de la variación total de las tasas de mortalidad. El promedio de los errores absolutos que tiene este modelo es de 1.681×10^{-6} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. El máximo error pronosticado por el modelo es de 4.938×10^{-6} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. La desviación porcentual promedio entre las tasas de mortalidad observadas y las predichas por el modelo es de 43.299 %. Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 3.

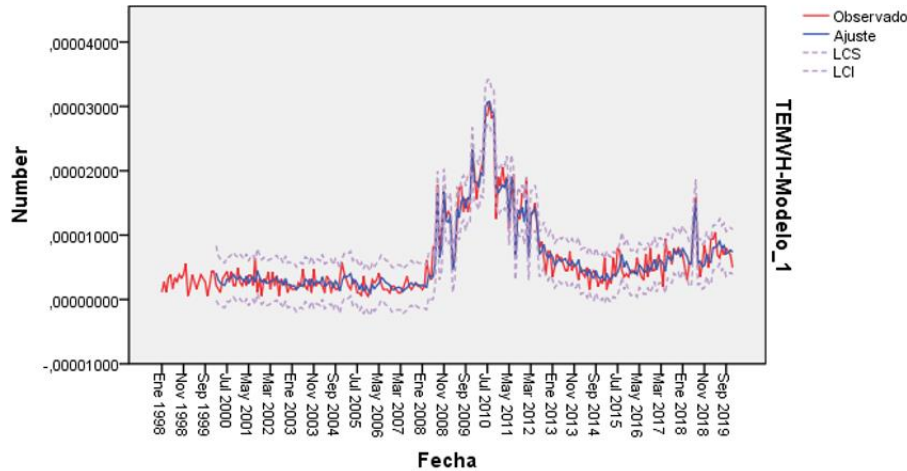


Imagen 18. Gráfica del modelo de predictores significativos de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas de Chihuahua por la serie temporal de las temperaturas máximas de Chihuahua. La serie temporal de las tasas de mortalidad se encuentra en rojo y el modelo ajustado ARIMA(3,1,0)(0,0,0) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI).

TLaxcala

Temperatura

Al realizar el análisis de las temperaturas de Tlaxcala (imagen 19a) se encontró que la temperatura máxima de mayor magnitud fue de 30.1 °C en mayo del 1998 y la de menor magnitud fue de 18.0 °C en enero de 2010. La diferencia entre las temperaturas de mayor y menor magnitud registradas es de 12.1 °C. El promedio de la temperatura en los 22 años analizados fue de 23.5 °C.

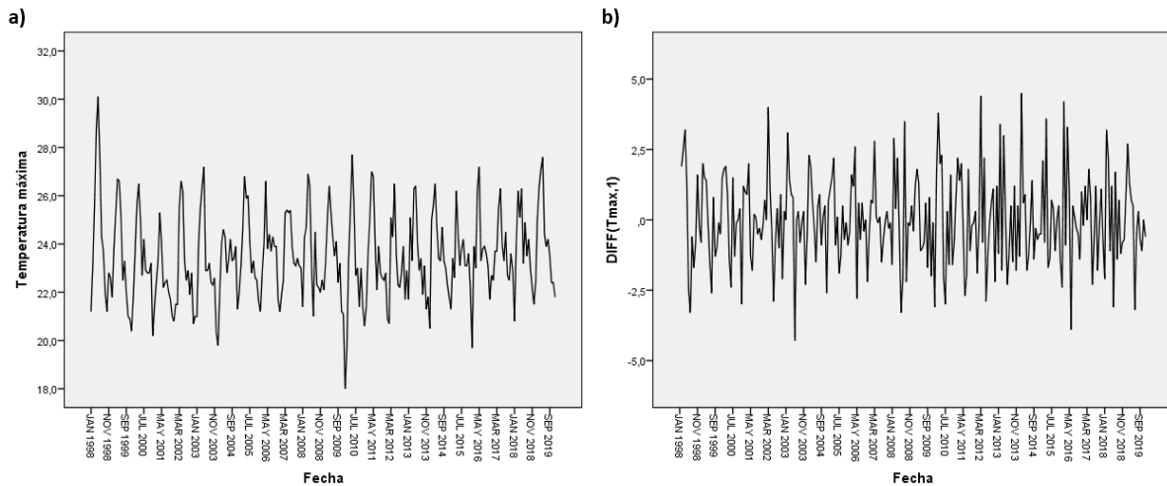


Imagen 19. a) Gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas de Tlaxcala de 1998 a 2019. b) Gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas de Tlaxcala de 1998 a 2019 diferenciada.

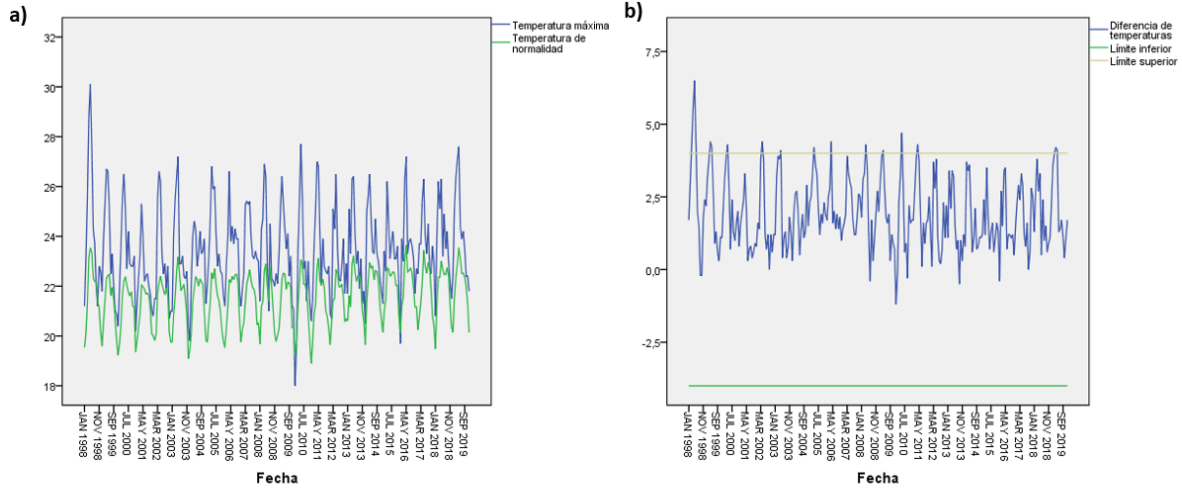


Imagen 20. a) Temperatura máxima de Tlaxcala de 1998 a 2019 y temperatura de normalidad calculada para ese periodo. b) Intervalo de temperatura de confort hipotético calculada para Tlaxcala.

La temperatura de normalidad (imagen 20a) calculada mensualmente para Tlaxcala mediante la ecuación (1) va de 18.8 °C, en diciembre de 2010, a 23.6 °C, en mayo de 2016. Para obtener las temperaturas que se salen del intervalo de confort térmico, $\pm 4K$, se utilizó la ecuación (2). Al realizar este análisis se encontró que las temperaturas en marzo, abril y mayo, y únicamente 15 meses de los 264 meses analizados, superan el valor de 4K (imagen 20b).

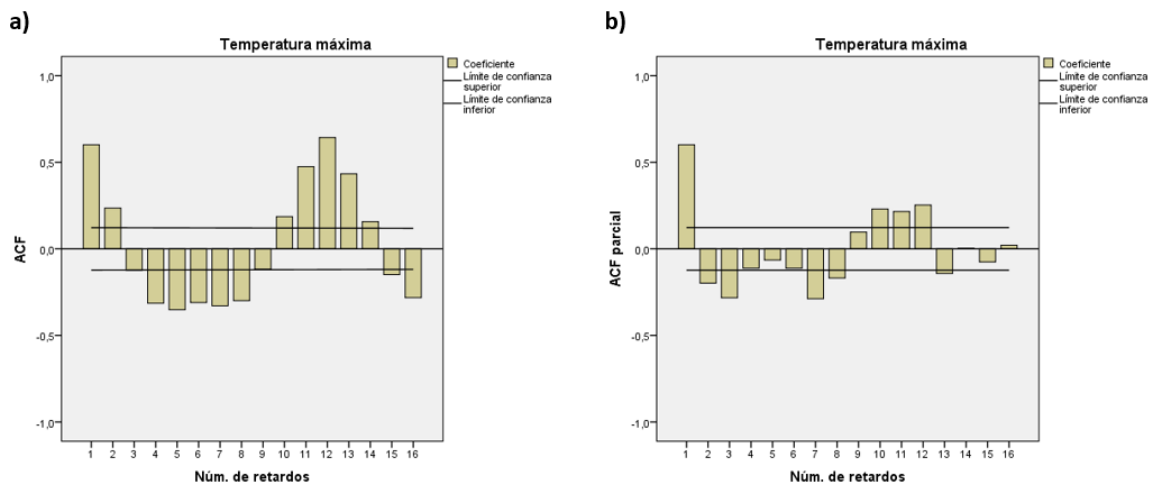


Imagen 21. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de la temperatura máxima de Tlaxcala. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de la temperatura máxima de Tlaxcala.

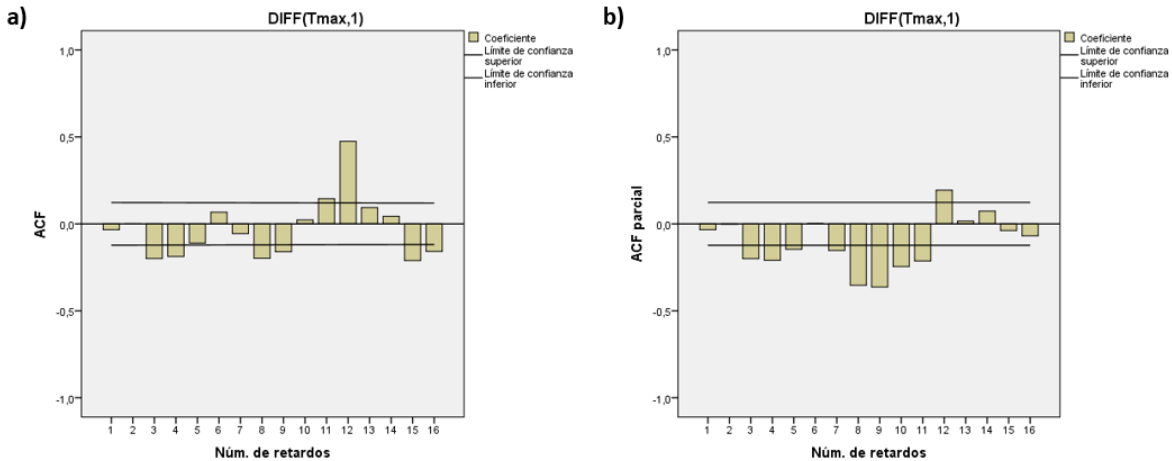


Imagen 22. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de la temperatura máxima de Tlaxcala diferenciada. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de la temperatura máxima de Tlaxcala diferenciada.

En la gráfica de la serie temporal de las temperaturas máximas de Tlaxcala (imagen 19) se puede apreciar que las observaciones oscilan alrededor de un valor constante, con lo cual se puede considerar que es una serie estacionaria, por lo que el parámetro de integración es $d=0$. Al revisar la significancia de los retardos que aparecen en la gráfica ACFP (imagen 21b), solamente uno presentó significancia, con lo cual el término autorregresivo es $p=1$. En la gráfica de la Función de Autocorrelación (ACF) (imagen 21a) ningún retardo presentó significancia, así que el término de media móvil es $q=0$.

Las gráficas ACFP y ACF presentan un comportamiento cíclico que no decrece, por tal motivo es necesario diferenciar la serie estacionalmente una vez (imagen 19b), con lo cual el parámetro de integración estacional es $D=1$. Al analizar los retardos de la gráfica ACFP de esta nueva serie (imagen 22b) ninguno presentasignificancia, por tal motivo, el término de autorregresión estacional es $P=0$. Analizando los retardos de la gráfica ACF (imagen 22a), solamente un retardo presentó significancia, así que el término de media móvil estacional es $Q=1$. Al tomar los parámetros estimados, el modelo para la temperatura máxima de Chihuahua es **ARIMA (1, 0, 0)(0, 1, 1)** (Ljung-Box=17.945, $p=0.327$) (imagen 25a). Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 5. Este modelo indica que a partir de la observación de la temperatura de un mes anterior se puede predecir la del siguiente; además, muestra que la temperatura, en términos estacionales, ha ido incrementado de forma lineal a lo largo de la serie.

Mortalidad

En la gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas de Tlaxcala, no se observa una tendencia, por lo cual se puede considerar una serie estacionaria (imagen 23). Al ser una serie estacionaria no es necesario diferenciarla. Al no ser necesario que la serie sea diferenciada queda determinado el parámetro $d=0$.

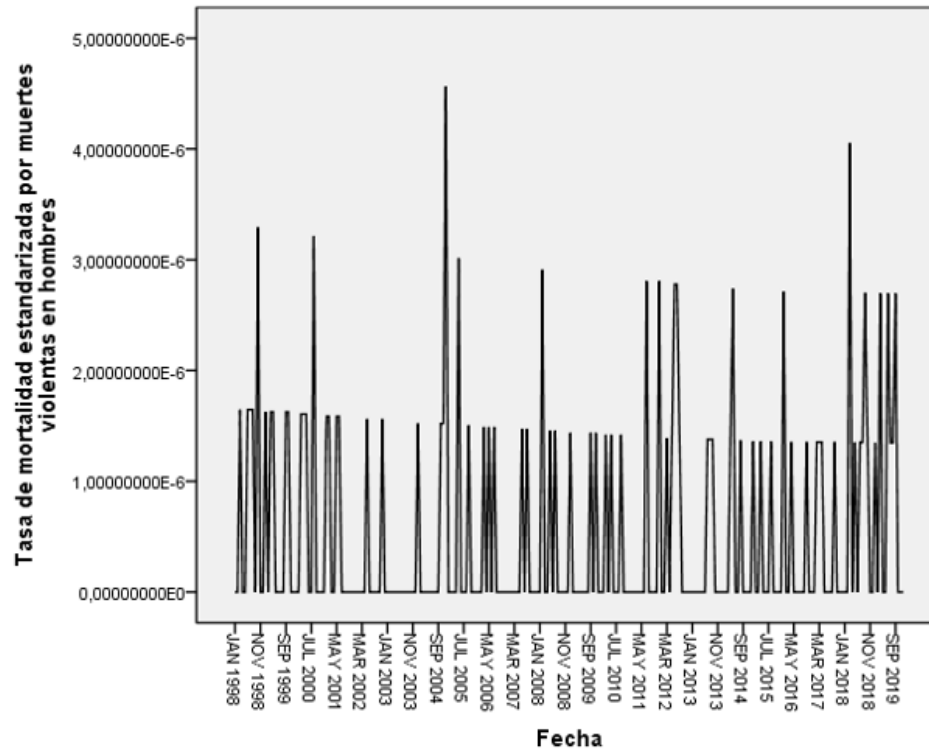


Imagen 23. Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Tlaxcala.

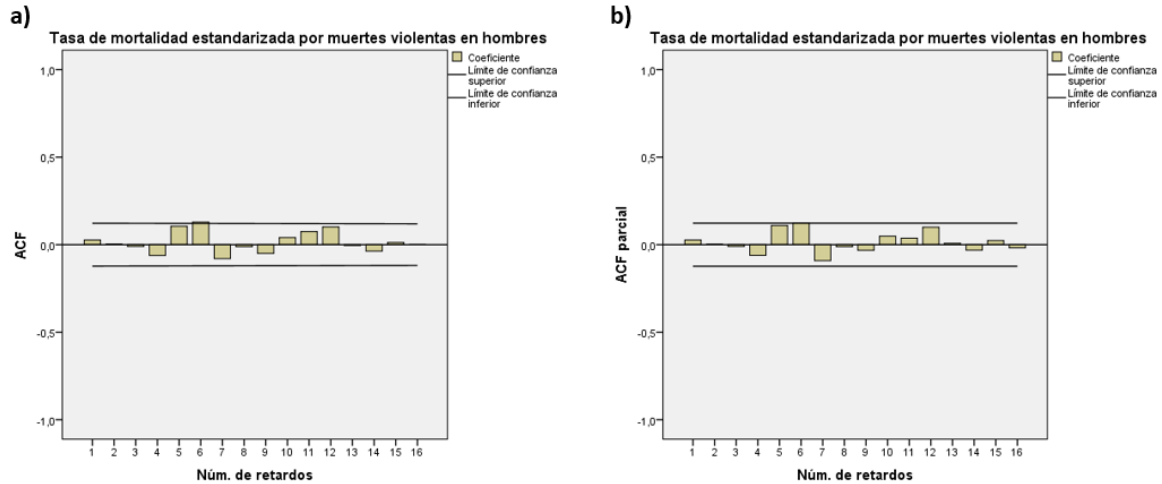


Imagen 24. a) Gráfica de la función de autocorrelación de la serie temporal de las temperaturas máximas de Tlaxcala. b) Gráfica de la función de autocorrelación parcial de la serie temporal de las temperaturas máximas de Tlaxcala.

En la gráfica ACFP (imagen 24b) se observó que no hay retardos, por lo cual el término de autorregresión es $p=0$. En la gráfica ACF (imagen 24a) tampoco aparecen retardos significativos, con lo cual el término de media móvil toma el valor de $q=0$. De los retardos referentes a la parte estacional ninguno presentó significancia, con lo cual esos parámetros toman los valores $P=D=Q=0$. Basado en este análisis, el modelo que puede representar las tasas de mortalidad estandarizadas de Tlaxcala es **ARIMA (0, 0, 0)(0, 0, 0)** (Ljung-Box=13.792, $p=0.743$) (imagen 25b). Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 5. Este modelo muestra que la mortalidad no puede ser predicha a partir de datos anteriores. Además, la mortalidad no ha incrementado a lo largo de la serie.

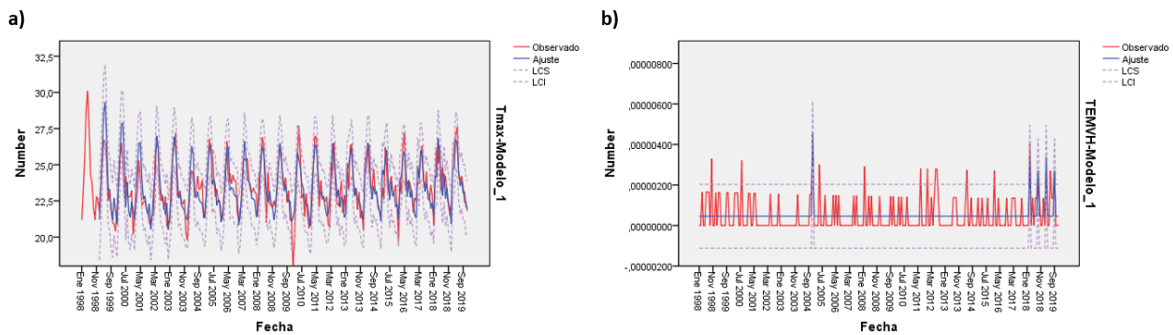


Imagen 25. a) Gráfica de la serie temporal de la temperatura máxima de Tlaxcala (en rojo) y el modelo ajustado ARIMA(1,0,0)(0,1,1) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI). b) Gráfica de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas de Tlaxcala (en rojo) y el modelo ajustado ARIMA(0,0,0)(0,0,0) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI).

Tabla 5. Índices de bondad de ajuste y parámetros ARIMA de Tlaxcala.

Medidas de Bondad de Ajuste	TMEMVH-TL* (0,0,0)(0,0,0)	TMTL** (1,0,0)(0,1,1)	Predictores Significativos (0,0,0)(0,0,0)	Predictores Significativos*** (0,0,0)(0,0,0)
Número de predictores	0	0	1	1
Media	-	-	-	-
Varianza	-	-	-	-
Ljung-Box Q(18)	13.792 (p=0.743)	17.945 (p=0.327)	17.420 (p=0.494)	15.921 (p=0.598)
R-cuadrado estacionaria	0.206	0.434	0.285	0.277
R cuadrado	0.206	0.655	0.285	0.277
RMSE	8.01x10 ⁻⁷	1.029	7.642x10 ⁻⁷	7.64x10 ⁻⁷
MAE	6.60x10 ⁻⁷	0.803	6.236x10 ⁻⁷	6.11x10 ⁻⁷
MaxAE	2.84x10 ⁻⁶	3.333	2.494x10 ⁻⁶	2.62x10 ⁻⁶
MAPE	66.946	3.449	65.273	67.018
BIC normalizado	-27.990	0.122	-28.021	-27.987
Parámetros del modelo ARIMA				
Autorregresivo				
Retardo 1	-	0.365 (p=0.000)	-	-
Diferencia	0	0	0	0
Media móvil				
Retardo 1	-	-	-	-
Autorregresivo estacional				
Retardo 1	-	-	-	-
Diferencia estacional	0	1	0	0
Media móvil estacional				
Retardo 1	-	0.896 (p=0.000)	-	-
*Tasa de mortalidad estandarizada por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años en Chihuahua.				
**Temperatura máxima en Tlaxcala.				
***Predictores significativos determinados por el software.				

Predictores significativos

Al realizar el análisis de la predictibilidad temporal de las tasas de mortalidad por las temperaturas máximas (imagen 26) se encontró que la temperatura sí es un predictor significativo. El estadístico Ljung-Box, el cual hace referencia a la reproducibilidad que tiene el modelo de los datos observados y tuvo una significancia de 0.494, indica que ambas series, la observada y la proyectada, no muestran diferencias estadísticamente significativas. El modelo seleccionado explica el 28.5 % de la variación total de las tasas de mortalidad. El promedio de los errores absolutos que tiene este modelo es de 7.642×10^{-7} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. El máximo error pronosticado por el modelo es de 2.494×10^{-6} muertes por 100 000 habitantes de 15 a 19 años de edad. La desviación porcentual promedio entre las tasas de mortalidad observadas y las predichas por el modelo es de 65.273 %. Con fines de comparación todos los parámetros estimados de los modelos se reportan en la tabla 5.

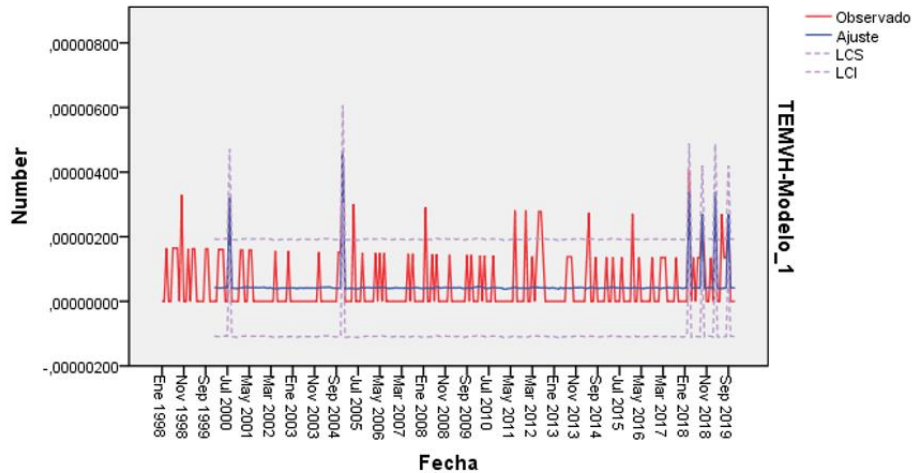


Imagen 26. Gráfica del modelo de predictores significativos de la serie temporal de las tasas de mortalidad estandarizadas de Tlaxcala por la serie temporal de las temperaturas máximas de Tlaxcala. La serie temporal de las tasas de mortalidad se encuentra en rojo y el modelo ajustado ARIMA(0,0,0)(0,0,0) (en azul). La línea punteada indica el límite de confiabilidad superior (LCS) y el límite de confiabilidad inferior (LCI).

Discusión y conclusiones

La relación entre las tasas de mortalidad y las temperaturas máximas encontradas fue la esperada. Diversos autores han encontrado una relación significativa entre las temperaturas ambientales elevadas y la violencia en diferentes ciudades. En este trabajo, utilizando el método de predictores significativos, se encontró que las temperaturas logran predecir temporalmente las tasas de mortalidad. Este método muestra que la temperatura máxima sí es un predictor significativo, sin embargo, la magnitud de la predicción podría deberse a que ambas variables tienen un comportamiento temporal creciente y que hay otras variables asociadas a este fenómeno que no fueron exploradas en este análisis, las cuales podrían estar interfiriendo en la relación, lo cual no necesariamente relaciona causalmente a las variables.

Las tasas de mortalidad a nivel nacional muestran que las muertes violentas en los adolescentes del país han ido incrementando a lo largo de los años. Las temperaturas del país no reflejan las temperaturas extremas que puedan existir por región, sin embargo, es útil para tener una noción de la temperatura a nivel nacional. Al tomar datos a nivel nacional puede que la relación entre las tasas de mortalidad y la temperatura no refleje con precisión la relación que podría existir en regiones más pequeñas, por tal motivo se comparó

Chihuahua y Tlaxcala, entidades que presentan un comportamiento climático diferente entre ellos.

Chihuahua es un estado que presenta temperaturas mayores a 30 °C en época de calor, mientras que Tlaxcala en época de calor tiene temperaturas menores a los 30 °C. Al comparar los modelos de predicción de las tasas de mortalidad por las temperaturas máximas de Chihuahua y Tlaxcala, se observa que Chihuahua presenta una mayor mortalidad que Tlaxcala. A pesar de que en un estado con temperaturas más elevadas se hayan encontrado tasas de mortalidad de mayor magnitud, se debe de tomar en consideración que puede haber otros factores que influyan en esta relación que no se haya tomado en cuenta en este trabajo.

Los modelos creados por el modelizador experto para Chihuahua y Tlaxcala presentan mejores ajustes que los hechos mediante la metodología Box-Jenkins, sin embargo, la mejora es mínima. Las medidas de bondad de ajuste de los modelos hechos por el software, y los obtenidos mediante la metodología Box-Jenkins no presentan una diferencia que pueda ser considerada relevante, por tales motivos estos últimos modelos pueden considerarse adecuados y metodológicamente rigurosos para modelizar las series temporales.

A partir del análisis realizado en este trabajo se puede concluir que las tasas de mortalidad estandarizadas por muertes violentas en hombres de 15 a 19 años sí se pueden predecir a partir de las temperaturas máximas ambientales. El hecho de que el método utilizado muestre que las temperaturas máximas son un predictor significativo puede deberse al comportamiento temporal creciente de ambas variables. A pesar de esto, es importante tomar en cuenta que hay factores que intervienen en este resultado como los ambientales y los sociales, los cuales no fueron tomados en cuenta en este análisis.

Referencias

1. Modelo P. Termorregulación del Cuerpo Humano. Confort y Estrés Térmico. 1999;11-99.
2. Gómez Azpeitia Gabriel, Bojórquez Morales Gonzalo RTRP. El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Rev Investig Científica en Arquít. 2007;2.
3. Nicol F, Humphreys M. Derivation of the adaptive equations for thermal comfort in

- free-running buildings in European standard EN15251. *Build Environ.* 2010 Jan;45(1):11-7.
4. Villa A, Moreno L, García G. *Epidemiología y Estadística en salud pública- Antonio Villa Romero.pdf.*
 5. Elandt-Johnson RC. La definición de tasas: Algunas precisiones acerca de su correcta e incorrecta utilización. *Salud Publica Mex.* 1997;39(5):474-9.
 6. Ahmad OB, Boschi-pinto C, Lopez AD. Age standardization of rates : a new WHO standard. *Discussion Paper Series. Discussion Paper Series;* 2001.
 7. Villavicencio J. *Introducción a Series de Tiempo.* 2010;1-33.
 8. Capítulo 13: Análisis de Series Temporales.: *Discovery Service para UNAM* [Internet]. [cited 2021 Oct 19]. Available from: <https://eds-b-ebsohost-com.pbidi.unam.mx:2443/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=63892ae2-b3d5-4ac1-9982-f8d361ae3619%40sessionmgr101>
 9. Hernández-Montoya D, Soriano-Flores A, Castro-Santana A, Benjet C, Bernal-Pérez P, Llanes-Díaz N. A life-course approach to early-onset of diabetes mellitus: Probable contribution of collective violence in Mexico. *Adv Life Course Res* [Internet]. 2019;40(March):30-42. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.alcr.2019.03.006>
 10. Cortés Patiño JM. *Aplicación de series de tiempo en el monitoreo estructural* [Internet]. 2011. Available from: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/363/7/A7.pdf>
 11. Santiago de la FF. *SERIES TEMPORALES, MODELO ARIMA, METODOLOGÍA DE BOX-JENKINS.*
 12. IBM-Corporation. *IBM SPSS Forecasting 19.* 2010;
 13. *Modelos causales temporales - Documentación de IBM* [Internet]. [cited 2022 Mar 23]. Available from: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-modeler/18.1.1?topic=node-temporal-causal-models>
 14. Shen B, Hu X, Wu H. Impacts of climate variations on crime rates in Beijing, China. *Sci Total Environ* [Internet]. 2020;725:138190. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138190>
 15. Anderson CA. *Temperature and Aggression: Effects on Quarterly, Yearly, and City*

- Rates of Violent and Nonviolent Crime. *J Pers Soc Psychol*. 1987;52(6):1161–73.
16. Butke P, Sheridan SC. An analysis of the relationship between weather and aggressive crime in Cleveland, Ohio. *Weather Clim Soc*. 2010;2(2):127–39.
 17. Sanz-Barbero B, Linares C, Vives-Cases C, González JL, López-Ossorio JJ, Díaz J. Heat wave and the risk of intimate partner violence. *Sci Total Environ* [Internet]. 2018;644:413–9. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.368>
 18. Xu R, Xiong X, Abramson MJ, Li S, Guo Y. Ambient temperature and intentional homicide: A multi-city case-crossover study in the US. *Environ Int* [Internet]. 2020;143(June):105992. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105992>
 19. Gamble JL, Hess JJ. Temperature and violent crime in Dallas, Texas: Relationships and implications of climate change. *West J Emerg Med*. 2012;13(3):236–46.
 20. Prudkov PN, Rodina ON. Cold temperatures, stress, and violence. *Heliyon* [Internet]. 2019;5(5):e01619. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01619>
 21. Funciones y Objetivos [Internet]. [cited 2021 Oct 21]. Available from: <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/funciones-y-objetivos>
 22. Resnick R, Halliday D, Krane K. *Física Vol.1*. Vol. 1. 1992. 653 p.
 23. Glosario [Internet]. [cited 2021 Dec 12]. Available from: <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario>
 24. Variables Meteorológicas [Internet]. [cited 2021 Sep 15]. Available from: <https://smn.conagua.gob.mx/es/variables-meteorologicas>
 25. Ahmad OB, Boschi-pinto C, Lopez AD. Age standardization of rates: a new who standard. 2001;(31). Available from: <http://www.who.int/healthinfo/paper31.pdf>
 26. Akhter MF, Hassan D, Abbas S. Predictive ARIMA Model for coronal index solar cyclic data. *Astron Comput* [Internet]. 2020;32:100403. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ascom.2020.100403>