



Conciencia Tecnológica

ISSN: 1405-5597

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Correa-García, Armando
Evaluación de ozono y temperatura al suroeste de la ciudad de México
Conciencia Tecnológica, núm. 66, 2023, Julio-Diciembre, pp. 23-33
Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94477589003>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

UAEVA [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Evaluación de ozono y temperatura al suroeste de la ciudad de México

Assessment of ozone and temperature at western in Mexico City

Armando Correa-García
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo,
México
cientifico148@gmail.com

Recibido: 07 agosto 2023
Aceptado: 08 enero 2024

Resumen:

En este estudio se analizaron los datos de los contaminantes del aire NO₂, NO_X, CO, SO₂, O₃ y los factores meteorológicos temperatura, humedad relativa y velocidad del viento registrados en la zona suroeste de la ciudad de México para determinar, si el O₃ y temperatura, se encuentran estabilizados o tienden a incrementarse en algún momento del periodo 1986-2022. Ya que los altos niveles de ozono y el exceso de calor, pueden ocasionar efectos negativos en la salud humana e incomodidad ambiental.

En términos generales, se logró demostrar que la contaminación por O₃ de 1987 al 2022, bajó 24% debido a la emisión de monóxido de carbono (CO) por fuentes móviles con factor de correlación $R=0.81$; pese a esto, en los últimos 8 años exhibe un incremento sostenido de 17%, ligeramente por encima de los valores observados en la primera década del nuevo milenio. Por tanto, el CO aún en bajas concentraciones continúa siendo un problema ambiental en la producción de O₃.

Igualmente, el aumento de la temperatura en 3°C, se debió al CO que, a su vez, podría estar asociado con la isla de calor urbano, derivado de la incesante ampliación urbana y aumento poblacional de la ciudad de México.

Palabras clave: Ozono, isla de calor, regresión lineal, monóxido de carbono, bioclima.

Abstract:

In this study, data on air pollutants NO₂, NO_X, CO, SO₂, O₃ and meteorological factors temperature, relative humidity and wind speed recorded in the southwest area of Mexico City were analyzed to determine if ozone and temperature, are stabilized or tend to increase at some point in the period 1986- 2022. Since high levels of ozone and excess heat can cause negative effects on human health and environmental discomfort.

In general terms, it was possible to demonstrate that O₃ pollution from 1987 to 2022 decreased 24% due to the emission of carbon monoxide (CO) from mobile sources with a correlation factor $R=0.81$. Despite this, in the last 8 years it has shown a sustained increase of 17%, slightly above the values observed in the first decade of the new millennium. Therefore, CO, even at low concentrations, continues to be an environmental problem in the production of O₃.

Likewise, the increase in temperature by 3°C was due to CO, which in turn could be associated with the urban heat island, derived from the incessant urban expansion and population increase in Mexico City.

Keywords: Ozone, heat island, linear regression, carbon monoxide, bioclimate.

Fundamentos teóricos

Desde el inicio de los años setenta y hasta la mitad de los ochenta, la contaminación por ozono en la ciudad de México no significó un problema mayor Bravo et al., 1978[5]; sin embargo, en la última década de los años 90' del siglo pasado se convirtió en un grave problema Bravo et al., 1991[4]; Jáuregui, 1992[16]. En ese tiempo, fue considerada la urbe con más problemas de contaminación atmosférica en el país, y quizás en el mundo Bravo *et al.*, 1992[3]. Al inicio del nuevo milenio, se logró un avance en la reducción de los niveles de contaminación del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), por ejemplo, el ozono dejó de aumentar, en contraste con la tendencia que tenía al inicio de la década de los noventa Programa para el mejoramiento de la calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), PROAIRE, 2002-2010[18]. Incluso, de 1993 al 2016 se tuvieron los valores más bajos de O₃ Riveros, 2016[19].

Pero la contingencia ambiental declarada en 2016, otra vez llamó la atención sobre este grave problema Sheinbaum-Pardo, 2016[21]; este último autor, advierte que la reducción en la concentración, por ejemplo, de O₃ entre 1988-2016 de la ZMVM, se ha detenido o incluso ha comenzado a aumentar. El 26 de marzo

2023, la Comisión Ambiental de la Megalópolis CAME, 2023[8] de nuevo decretó contingencia ambiental por O_3 , debido al alto nivel de contaminantes que persistió en la ciudad de México y la ZMVM.

El problema de estos eventos, está en que el NO_2 precursor inmediato del O_3 , se origina de todos los vehículos que utilizan motor de combustión, y es el único óxido de nitrógeno (NO_x) que es nocivo para la salud, ya que empeora enfermedades respiratorias como la bronquitis y provoca irritación en las vías respiratorias; igualmente, el O_3 es un fuerte oxidante que en altas concentraciones pica en los ojos y reduce la función respiratoria Xu Li, 2021[23]. Tal como sucedió en un estudio realizado con niños asmáticos residentes de la zona suroeste de la ciudad de México, quienes fueron afectados por exponerse a la contaminación atmosférica de NO_2 y O_3 Barraza-Villarreal *et al.*, 2006[2]. Asimismo, el efecto del crecimiento urbano de la ciudad de México sobre la temperatura media, está demostrado, al subir de $14.5^\circ C$ a principios del siglo pasado (1900), a poco más de $16^\circ C$ en 1990, siendo este aumento del orden de $1.7^\circ C$ o $1.89^\circ C$ por cada 90 y 100 años respectivamente Jáuregui, 1995[15].

Con base en estas últimas referencias, en este estudio se analizan los datos de ozono (O_3), óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO_2), temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, registrados en el suroeste de la ciudad de México. Lo anterior, es con la finalidad de actualizar la tendencia de la contaminación por ozono y de la temperatura del periodo 1986-2022.

Materiales y métodos

La información de los contaminantes y meteorología, se obtuvo de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal SMADE, S/F [20]. El lugar de estudio, fue el sitio Pedregal que se localiza al suroeste del Distrito Federal, debido a que es la estación de monitoreo más antigua y con mejor eficiencia operativa de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) de la ciudad de México y data desde mediados de los años ochenta del siglo pasado. El entorno físico de la caseta, está clasificado como zona residencial y urbana según reporte del Instituto Nacional de Ecología INEC, S/F [22]. Desde 1986, se instaló a nivel del piso, al fondo del patio de recreo de la Escuela Primaria John F. Kennedy (Figura, 1).



FIGURA 1

Estación de monitoreo Pedregal (PED): Dirección. Cañada Núm. 370 y Avenida Cráter. Col. Pedregal de San Ángel CP. 01900. Alcaldía Álvaro Obregón. México, DF.

En octubre 2005, la caseta fue reubicada 20 metros al oeste del lugar original, debido a que la vegetación obstruía el libre flujo de la muestra de aire (Figura, 1). Actualmente está en la azotea del edificio principal de la misma escuela a una altura cercana de 11 metros (Figura, 2) según reporte del Gobierno del Distrito Federal GOBDF, S/F [13].



FIGURA 2
Ubicación actual de la estación de monitoreo Pedregal.

La información se validó, eliminando las etiquetas -99.99 y 0.000 que comúnmente aparecen en la base de datos de la RAMA, pues indican ausencia de registros. Después, se eliminaron los datos que no reunieron el criterio del 75% diario de suficiencia informativa; es decir, los días con 18 de 24 registros (24horas * 365 días del año) = 8,760 datos, que representan la muestra anual esperada del 100%; para los meses del año, (24horas * 31 días) = 744 datos. La (Tabla, 1) presenta las categorías de desempeño de una estación de monitoreo del aire, publicada por el Instituto Nacional de Ecología INE, S/F [22] y modificada en este estudio, asignando tonos grises oscuro-claro y sin tono, que indican muestreo insuficiente, suficiente y aceptable respectivamente. Esta última descripción permite conocer de forma más convincente la capacidad de operación y funcionamiento de una caseta de monitoreo atmosférico.

TABLA 1
Categorías de desempeño por año-mes de una estación de monitoreo atmosférico.

		Equipo de monitoreo automático		
		Datos horarios		válidos
		Malo	Regular	Bueno
		Insuficiente	Suficiente	Aceptable
		<50%	≥50%; <75%	≥75%
Año		0 a 4,300	4,340 a 6,520	6,530 a 8,760
Año	Bisiesto	0 a 4,340	4,360 a 6,540	6,570 a 8,784
Mes/día	31	0 a 365	369 a 550	560 a 744
Mes/día	30	0 a 350	360 a 535	540 a 720
Mes/día	28	0 a 330	335 a 500	505 a 672
Mes/día	Bisiesto			
	29	0 a 340	345 a 515	520 a 696

Fuente: INE, S/F [22]. Las categorías por mes, son elaboración propia del autor.

Después los datos se colocaron en una hoja de cálculo, y se determinó el valor medio por mes-año para cada contaminante y variable meteorológica. Posteriormente, se efectuó el análisis de correlación para indagar la relación del O₃ y la temperatura con los otros contaminantes y variables meteorológicas ya mencionadas, y de esta forma proponer un modelo de regresión lineal que describa el escenario actual del O₃ y la temperatura. El coeficiente de correlación de Pearson es un índice adimensional acotado entre -1,0 y 1,0, el cual refleja el grado de dependencia lineal entre dos conjuntos de datos. Su fórmula se escribe como.

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \tag{1}$$

Donde x e y son las medias de las variables en cuestión.

En general si X e Y son dos variables en cuestión, un diagrama de dispersión muestra la localización de los puntos (X, Y) sobre un sistema rectangular de coordenadas. Si todos los puntos del diagrama parecen estar en una recta, la correlación es lineal entre las variables; pero esta relación, no siempre se extiende sobre una línea recta y se dice que es una relación no lineal. Una línea recta, es el tipo más sencillo de una curva de ajuste Balzarini *et al.*, 2008[1] su ecuación puede escribirse.

$$Y = a_0 + a_1X \quad (2)$$

Dados cualesquiera dos puntos (X_1, Y_1) y (X_2, Y_2) sobre la recta, se pueden determinar las constantes a_0 y a_1 . La ecuación así obtenida se puede expresar

$$Y - Y_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} (X - X_1)$$

Donde

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

Se nombra la pendiente de la recta y representa el cambio en Y dividido por el correspondiente cambio en X . Cuando la ecuación se escribe en la forma (2), la constante a_1 es la pendiente m y la constante a_0 , que es el valor de Y cuando $X=0$, se llama Y -intersección. El software estadístico Infostat versión libre 2008 usado este estudio, tiene los módulos que efectúan los análisis mencionados anteriormente.

Resultados y Discusión

En términos generales la (Tabla, 2) presenta el valor medio anual-mensual y máximo de O_3 registrado del periodo 1986-2022; como se puede ver, 1986 no se incluye en el estudio porque obtuvo un muestreo por debajo de 50%; sin embargo, el valor se queda perpetuado sólo como guía de referencia, mientras que en 1987 y 1992 la capacidad operativa de la caseta fue de 59% y 69% respectivamente. El año 1999 fue de mejor desempeño con 100% aceptable, en tanto que 1991 y 2014 fueron los años con más y menor contaminación por O_3 respectivamente; pero a partir del 2014, se observa un incremento exiguo y sostenido, equivalente a los valores registrados en la primera década del nuevo milenio.

Con respecto a los meses del año, 1986 se distingue otra vez por falta de datos, en tanto que la primavera y verano tuvieron muestreos suficientes en 1987 y 1992. Asimismo, la capacidad operativa de la caseta fue $\geq 75\%$ a partir de 1995. Desde entonces, la colección de datos es aceptable, con algunos muestreos $< 75\%$ en 2010, 2014 y 2018, mientras que marzo 1992 y septiembre del 2013 fueron los años con más y menor

contaminación; es decir, que primavera y verano, son las épocas del año, en donde el O₃ tiende a subir y decaer, tal como aconteció en 2019 y 2020 durante la epidemia COVID-19 (Figura, 3).

Ocasionalmente los valores actuales son cercanos, a los registrados en años pasados, por ejemplo, la cifra de 0.055ppm alcanzada en abril 2019, fue igual con los 0.055ppm, observados en abril 1988, 1992 y 1998, o la concentración de 0.053ppm vista en mayo 2022, fue la misma de 0.053ppm, registrada en mayo de 1993. Esta última descripción, ha tenido como consecuencia una reducción paulatina del O₃ en la temporada de calor; es decir, en los meses de marzo, abril y mayo (Figura, 4).

TABLA 2
Tendencia del contaminante O₃ en ppm, registrado en la estación de monitoreo Pedregal. Suroeste de la ciudad de México. Periodo 1987-2022.

Año	Meses del año												Promedio anual	Valor máximo anual	Número de datos por año	Número de datos por año en %
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre				
1986		0.060									0.045	0.038	0.054	0.441	2,275	26
1987	0.034	0.030	0.036		0.064		0.029	0.037		0.054	0.045	0.052	0.044	0.344	5,189	59
1988	0.050	0.054	0.043	0.055	0.064	0.058	0.056	0.046	0.056	0.051	0.055	0.056	0.054	0.405	7,604	87
1989	0.050	0.047	0.043	0.044	0.049	0.043	0.038	0.036	0.031	0.035	0.045	0.046	0.042	0.310	7,993	91
1990	0.057	0.046	0.054	0.064	0.063	0.050	0.060	0.056	0.038	0.043	0.048	0.057	0.053	0.403	7,403	85
1991	0.049	0.059	0.054	0.056	0.072	0.070	0.063	0.064	0.059	0.068	0.076	0.073	0.064	0.404	7,275	83
1992	0.052	0.069	0.082	0.055	0.060	0.053	0.075	0.066	0.042		0.048	0.074	0.061	0.402	6,059	69
1993	0.072	0.075	0.048	0.057	0.053	0.034	0.042	0.041	0.034	0.042	0.050	0.057	0.051	0.370	7,436	85
1994	0.061	0.052	0.049	0.038	0.059	0.050	0.034	0.048	0.047	0.044	0.051	0.059	0.049	0.312	7,753	89
1995	0.052	0.054	0.057	0.059	0.074	0.050	0.039	0.042	0.040	0.037	0.043	0.038	0.049	0.349	8,416	96
1996	0.052	0.052	0.046	0.051	0.057	0.038	0.042	0.037	0.044	0.042	0.039	0.041	0.045	0.323	8,475	96
1997	0.041	0.044	0.041		0.049	0.050	0.046	0.045	0.039	0.036	0.040	0.035	0.043	0.309	7,707	88
1998	0.036	0.039	0.031	0.055	0.071	0.062	0.044	0.039	0.029	0.027	0.038	0.048	0.043	0.295	8,652	99
1999	0.050	0.053	0.053	0.056	0.057	0.045	0.036	0.041	0.029	0.036	0.040	0.036	0.044	0.311	8,760	100
2000	0.041	0.047	0.050	0.058	0.054	0.038	0.047	0.034	0.037	0.039	0.040	0.036	0.043	0.282	8,650	98
2001	0.041	0.041	0.042	0.040	0.030	0.034	0.033	0.021	0.022	0.033	0.032	0.033	0.034	0.229	8,334	95
2002	0.040	0.037	0.044	0.048	0.052	0.045	0.037	0.038	0.033	0.039	0.031	0.034	0.040	0.284	8,472	97
2003	0.033	0.038	0.040	0.043	0.051	0.028	0.032	0.031	0.030	0.023	0.031	0.033	0.034	0.213	8,571	98
2004	0.027	0.032	0.031	0.036	0.041	0.026	0.027	0.027	0.022	0.027	0.033	0.037	0.031	0.218	8,628	98
2005	0.041	0.037	0.033	0.048	0.050	0.037	0.033	0.031	0.031	0.026	0.030	0.033	0.036	0.220	8,573	98
2006	0.036	0.043	0.038	0.050	0.045	0.037	0.032	0.030	0.031	0.026	0.029	0.027	0.036	0.191	7,816	89
2007	0.028	0.034	0.047	0.039	0.044	0.038	0.036	0.028	0.023	0.027	0.027	0.034	0.034	0.203	8,085	92
2008	0.028	0.034	0.041	0.046	0.048	0.031	0.027	0.030	0.022	0.026	0.027	0.032	0.033	0.181	8,146	93
2009	0.031	0.038	0.038	0.043	0.042	0.034	0.035	0.032	0.024	0.026	0.031	0.025	0.033	0.198	7,848	90
2010	0.025	0.024	0.030	0.038	0.048	0.042	0.025	0.025	0.021	0.037	0.033	0.029	0.032	0.190	6,938	79
2011	0.028	0.032	0.039	0.049	0.050	0.038	0.024	0.030	0.030	0.028	0.028	0.031	0.034	0.180	7,853	90
2012	0.025	0.023	0.036	0.039	0.042	0.032	0.026	0.026	0.030	0.029	0.025	0.032	0.031	0.176	7,719	88
2013	0.031	0.034	0.036	0.045	0.051	0.033	0.033	0.029	0.019	0.026	0.020	0.020	0.031	0.173	8,022	92
2014	0.027	0.041	0.034	0.040	0.035	0.023	0.026	0.030	0.022	0.022	0.020	0.024	0.029	0.155	7,356	84
2015	0.034	0.030	0.030	0.043	0.038	0.033	0.034	0.034	0.030	0.026	0.024	0.027	0.032	0.179	8,017	92
2016	0.025	0.040		0.043	0.051	0.039	0.035	0.033	0.027	0.027	0.020	0.027	0.034	0.183	7,733	88
2017	0.035	0.039	0.037	0.046	0.053	0.039	0.029	0.030		0.030	0.030	0.032	0.036	0.177	7,669	88
2018	0.032	0.039	0.041	0.048	0.041	0.034	0.037	0.032	0.032	0.022	0.032	0.031	0.035	0.163	7,193	82
2019	0.034	0.036	0.046	0.055	0.055	0.043	0.033	0.036	0.033	0.026	0.026	0.029	0.037	0.159	7,748	88
2020	0.028	0.033	0.041	0.048	0.050	0.040	0.037	0.030	0.029	0.035	0.034	0.032	0.036	0.153	8,155	93
2021	0.030	0.037	0.044	0.047	0.041	0.027	0.031	0.027	0.026	0.027	0.029		0.033	0.141	7,718	88
2022	0.021	0.029	0.034	0.045	0.053	0.034		0.033		0.031	0.028	0.027	0.034	0.166	7,324	84
	-37	-51	-5	-19	-17	-41	5	-10	-54	-43	-39	-28	-24		283,565	

Nota: Para la interpretación de los tonos véase la (Tabla, 1)

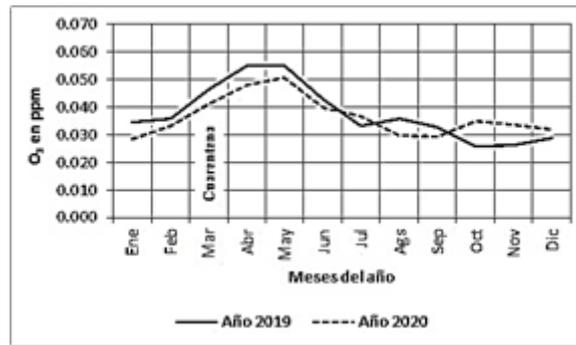


FIGURA 3

Promedio mensual de O₃ registrado en la estación Pedregal. Suroeste de la ciudad de México.

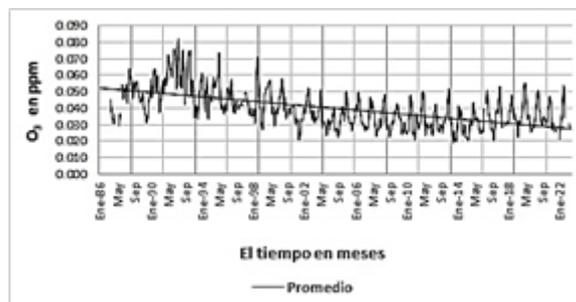


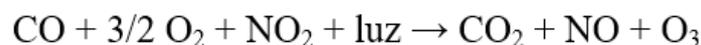
FIGURA 4

Promedio mensual de O₃ registrado en la estación Pedregal. Suroeste de la ciudad de México. Periodo 1987-2022.

Por otra parte, el O₃ mostró correlación positiva de 0.68 con los NO_x-NO₂; con CO y SO₂, de 0.90 y 0.78, mientras que la relación con la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento fue -0.66, -0.06 y -0.17.

A partir de estos valores, se halló que el O₃, aumenta conforme sube el monóxido de carbono (CO) con factor de correlación R=0.81, p<0.0001 y error estimado de 0.001ppm (Figura, 5). Este modelo podría ser correcto porque es parecido al reportado para la misma estación Pedregal en Correa-García *et al.*, 2012[10].

Incluso, el aumento estimado de 0.040ppm por Correa-García *et al.*, 2012[10] para Pedregal en aquel tiempo, se aproximó bien con el valor registrado de 0.036ppm de O₃ en el 2005 (Tabla, 2), mientras que el aporte de CO en la formación de O₃ fue explicado por Caselli, 1992[7] con la siguiente reacción química.



De esta forma, los cambios observados del O₃, podrían atribuirse a fuentes móviles, que transitan en los alrededores de la caseta de monitoreo, y porque emiten directamente CO a la atmosfera, favoreciendo la formación de ozono. Para el año 2023 se espera un cambio mínimo descendente de O₃ en 0.033ppm, p= 0.0001 y error estimado de 0.001 ppm con respecto al 2022 (Figura, 5).

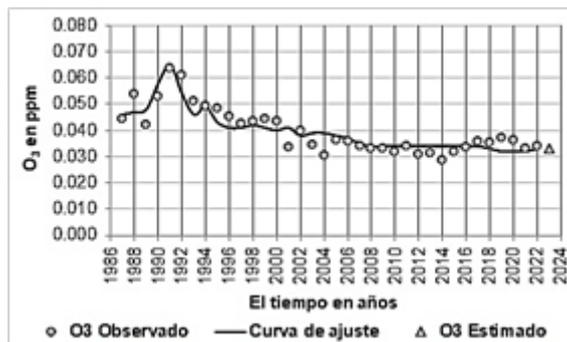


FIGURA 5

Promedio anual de O₃ en la estación Pedregal. Suroeste de la ciudad de México. Periodo 1987-2022.

Por otra parte, la (Tabla, 3) muestra el promedio anual-mensual y el valor máximo-mínimo de la temperatura del periodo 1986-2022. Como se puede ver 1987, 2006 y 2007 no reunieron información suficiente; incluso, en octubre 2005, fecha en que la caseta fue trasladada del lugar inicial, reinició su operatividad con muestreos por debajo del 75% en 2009 y 2010, juntamente con los años 1986 y 1992. En 2019 se registró la temperatura más cálida, mientras que 1989 fue más frío. Asimismo, en mayo de 1998 se registró la temperatura más alta, en tanto que enero de 1990 fue más frío. Desde entonces la temperatura tiende a subir (Figura, 6).

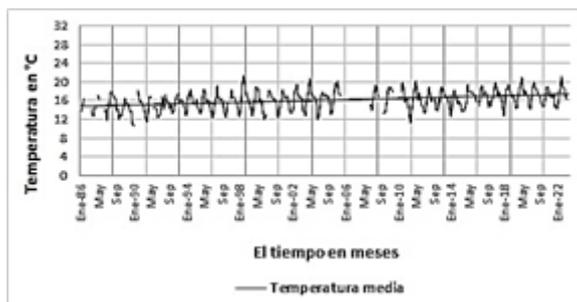


FIGURA 6

Temperatura media mensual registrada en la estación Pedregal. Suroeste de la ciudad de México. Periodo 1986-2022.

Los meses de marzo, abril, mayo, junio y octubre tienen el porcentaje mayor de incremento. De igual forma que el O₃ la temperatura, a veces registra valores cercanos con los obtenidos tiempos atrás, por ejemplo, la cifra de 21.2°C observado en mayo 2022.

TABLA 3
Tendencia de la temperatura en °C, registrada en la estación de monitoreo Pedregal. Suroeste de la ciudad de México. Periodo 1986-2022.

Año	Temperatura												Promedio Año	Valor máximo anual	Valor mínimo anual	Número de datos por año	Número de datos por año en %
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre					
1986		13.8	15.1	16.5		15.9					14.3	12.8	14.5	28.8	2.4	4,421	50
1987	12.8	14.4	14.9		17.1	16.2					13.5	14.2				3,560	41
1988	11.8	14.2	14.8	17.6	18.0	17.5	16.9	16.5	16.3	13.8	14.1	12.0	15.3	28.9	0.1	7,684	87
1989	13.1	12.7	13.9	14.4	16.5	15.9	15.2	15.5	14.5	13.8	13.8	11.1	14.3	28.4	1.5	7,730	88
1990	10.7	10.8			18.3	16.7	15.6	15.9	15.4	14.8	13.7	12.4	14.4	29.5	0.8	6,971	80
1991	11.4	13.0	16.9	16.5	16.9		14.3	14.7	14.6	14.2	12.4	12.7	14.4	29.1	2.6	6,798	78
1992	12.9	13.7	16.9	15.6	14.3	17.3	15.7	16.0	15.6	14.3	15.1	13.4	15.0	28.0	2.3	6,451	73
1993	13.5	14.8	15.6	17.0	17.3	17.5	15.5	16.3	15.7	16.1	15.1	13.4	15.6	30.2	3.2	7,500	86
1994	12.8	15.5	17.5	17.0	18.4	16.5	15.6	15.4	15.2	16.3	14.9	14.3	15.7	29.8	2.4	7,462	85
1995	13.6	13.2	15.0	17.4	18.5	17.7	15.9	16.1	16.1	15.1	14.1	12.8	15.5	28.5	3.1	8,020	92
1996	12.4	14.5	15.5	16.9	19.2	16.5	16.6	16.2	16.4	15.6	13.6	13.2	15.5	29.4	1.4	8,358	95
1997	12.5	15.1	15.6		16.4	18.4	16.7	16.7	16.5	15.8	14.8	14.0	15.7	29.5	1.5	7,613	87
1998	12.6	14.3	17.2	20.2	21.4	19.9	17.8	17.0	16.6	15.3	15.6	13.5	16.8	33.1	2.2	8,377	96
1999	12.8	14.7	16.4	18.9	18.7	18.6	15.9	16.4	15.8	14.2	12.8	12.0	15.7	29.5	2.2	8,582	98
2000	13.1		16.7	18.2	17.8	17.0	16.8	15.9	16.5	15.6	15.5	12.3	15.9	30.2	3.0	8,114	92
2001	13.7	14.7	16.1	18.3	17.6	16.6	16.5	17.1	16.3	15.0	13.6	13.4	15.7	30.6	2.4	8,181	93
2002	13.6	14.5	18.0	18.3	19.6	17.8	16.6	16.9	16.5	16.5	13.6	13.7	16.3	31.2	0.7	8,569	98
2003	12.8	16.0	17.4	19.3	20.7	17.9	16.9	16.8	16.9	16.3	15.4	12.0	16.6	32.6	1.8	8,573	98
2004	12.8	14.5	16.7	17.8	17.7	16.8	16.9	17.4	16.5	16.9	15.4	13.1	16.0	30.1	2.6	8,650	98
2005	13.5	15.5	17.6	19.7	19.0	20.2	17.9	17.2	17.1				17.5	33.4	1.8	6,786	77
2006																	
2007												15.2					
2008	14.0	16.1	17.2	19.0	19.3	17.5	16.9				13.5	13.3	16.3	31.3	0.3	6,965	79
2009	13.4	14.8	16.6	18.9	18.5	18.9	18.4	17.9					17.2	29.3	3.7	5,801	66
2010				17.9	19.9	18.1	15.7	16.3	16.6	15.0	13.2	11.2	16.2	29.8	0.8	6,121	70
2011	13.6	15.5	16.8	19.1	20.2	18.3	16.2	17.7	16.7	15.1	14.9	14.1	16.5	31.5	1.5	8,372	96
2012	13.2	14.2	16.4	17.3	18.9	17.2	15.9	16.6	16.7	16.6	14.0	14.3	15.9	30.3	3.7	8,653	99
2013	13.9	16.7	15.7	18.9	18.9	18.1	17.3	16.8	16.5	16.6	14.4	14.3	16.5	30.4	0.1	8,406	96
2014	12.7	16.4	17.6	18.3	17.2	16.2	15.3	15.9	15.5	14.5	13.6	14.0	15.5	31.0	1.8	8,382	96
2015	13.8	15.0	15.7	19.4	18.0	18.0	17.6	18.0	17.4	17.3	17.1	15.6	16.9	28.5	4.5	8,673	99
2016		14.9	16.2	18.8	19.2	17.2	17.5	18.0	17.5	16.8	14.5	15.9	16.9	28.9	4.1	7,678	87
2017	14.9	16.4	16.7	18.6	19.9	19.1	17.0	18.0	16.7	15.5	14.1	17.0	17.0	29.5	3.3	8,445	96
2018	12.9	16.6	18.6	18.4	19.5	18.2	17.8	16.7	17.2	16.9	15.5	14.3	16.9	31.1	2.7	8,375	96
2019	14.7	17.4	18.8	19.5	21.0	18.8	17.0	18.1	17.6	17.1	16.6	14.4	17.6	29.9	6.1	8,524	97
2020	14.3	16.8	18.9	20.0	18.8	18.6	17.9	17.4	16.9	16.5	15.4	14.9	17.2	29.6	5.4	8,662	99
2021	14.7	16.2	18.7	19.1	18.6	17.0	16.9	17.0	16.6	17.1	14.6	15.0	16.8	28.6	4.2	8,546	98
2022	14.2	15.4	17.6	19.0	21.2	18.8	18.5	18.5	16.6	16.5		13.5	17.5	31.7	6.2	7,426	85
	11	12	17	16	24	18	11	12	1	19	3	6	20			267,429	
	1.4	1.6	2.5	2.6	4.1	2.9	1.9	2.0	0.2	2.7	0.4	0.7	3.0				

Nota: Para la interpretación de los tonos véase la (Tabla, 1)

fue sutilmente menor con respecto a los 21.4°C visto en 1998, o bien el valor de 20.0°C obtenido en abril 2020, fue cercano al observado en 1998 con 20.2°C. Otro ejemplo, es el descenso a 13.5°C en diciembre 2022, el cual coincidió con los 13.5°C obtenidos en 1998. (Tabla, 3).

Por otra parte, la temperatura aumenta conforme disminuye el CO con factor de correlación R=0.65, p=0.001 y error estimado de 0.070ppm (Figura, 7). Este modelo podría ser en parte correcto, debido al calentamiento del aire que acarrea el desplazamiento de los vehículos Chovin & Roussel, 1970[11], pero limitado porque se sigue emitiendo CO, y la cantidad ± depende de la carga vehicular que transita en el entorno físico de la caseta.

Asimismo, el incremento de la temperatura en esta zona de la ciudad podría atribuirse de igual forma a la isla de calor urbano (UHI) que ocurre cuando las áreas urbanas son más cálidas que las zonas rurales aledañas, como resultado de la urbanización y cambios en la cobertura del suelo, por las actividades humanas Palme, 2021[17].

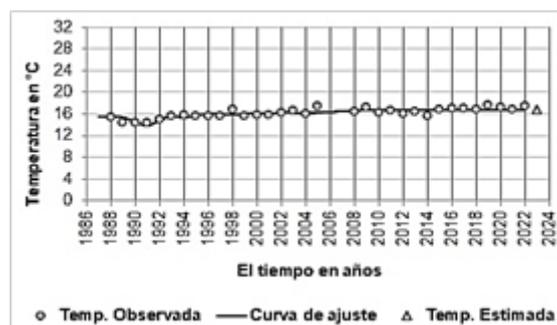


FIGURA 7.
Temperatura media anual registrada en la estación Pedregal.
Suroeste de la ciudad de México. Periodo 1986-2022.

Este fenómeno físico es evidente en ciudades de rápido crecimiento poblacional como León, ciudad de México Jáuregui, 1992[16] y hace poco, en Morelia se reportó este exceso de calor urbano Correa-García, 2022[9].

De esta forma el incremento de 3°C registrado de 14.5°C a 17.5°C entre 1986 y 2022 es quizás una cantidad grande, en el transcurso de 37 años, comparado con el aumento de 1.5°C derivado de 14.7°C a 16.1°C entre 1901 y 1989 reportado en Jáuregui, 1992[16]. Pese a esto, el aumento de 3°C parece razonable si se toma en cuenta que el crecimiento de la mancha urbana en la ZMVM ha pasado de 27km² a 1,350km² de 1910 al 2000 y la población creció de 3.4 millones a 19.2 millones de habitantes de 1950 al 2005 Breña-Puyol y Breña-Naranjo, 2009[6].

Con fundamento en estas últimas referencias el aumento de la temperatura media anual, podría ser una evidencia actualizada de UHI localizada al suroeste del Distrito Federal, pues los datos analizados por Jáuregui, 1992[16] son de la estación meteorológica de Tacubaya, la cual también está situada relativamente cerca de la estación Pedregal, al suroeste de la ciudad de México. Esta última descripción, se puede demostrar con el incremento en la intensidad de la UHI, reportada para la zona centro y oeste de la ciudad de México entre 1967 y 1988 por Jáuregui y Luyando, 1998[14].

No obstante, lo anterior, para el año 2023, la temperatura media anual podría retroceder a los 16.8°C, cifra análoga con las obtenidas en 1998 y 2021 respectivamente según el pronóstico del modelo propuesto en este estudio.

Por otra parte, el efecto de la isla de calor es importante porque aunado a la radiación solar tanto de paredes como de pavimentos en los meses calurosos da por resultado una mayor frecuencia de incomodidad ambiental, tal como sudoración, escalofrío, estado de ánimo, etc., por la elevada carga de calor sobre el peatón y el impacto de los niveles de contaminación atmosférica, sobre todo por O₃ Jáuregui, 1995[15] consideró en aquel entonces como benigno el bioclima de la ciudad de México. En la actualidad, se sabe que puede ocasionar efectos negativos en la salud humana y podría estar relacionado con la mortalidad de Schrijver et al., 2021[12].

Conclusiones

Del periodo 1987-2022 la contaminación por ozono al suroeste de la ciudad de México bajó 24% (0.034ppm) con respecto al valor de 0.044ppm registrado en 1987. Pero se advierte de un aumento sostenido de 17% desde el año 2015, debido a emisiones de fuentes móviles de monóxido de carbono.

La contaminación por ozono persiste como problema ambiental en la primavera; marzo, abril y mayo mostraron el menor descenso entre 1986 y 2022 en 5%, 19% y 17% respectivamente, mientras que el mes de julio tiende a estabilizarse con respecto a 1987.

Ocasionalmente el ozono mostró tendencia regresiva, a valores observados en la última década de los años noventa del siglo pasado, e inicios del nuevo milenio.

La temperatura media anual al suroeste de la ciudad de México, subió 20% o bien 3°C (17.5°C) con respecto a los 14.5°C registrado en 1986, por causa también de fuentes móviles de monóxido de carbono, que a su vez calientan el aire que arrastra el tránsito vehicular y podría estar favoreciendo el fenómeno de isla de calor urbano. Luego, los residentes de esta zona de la ciudad, podrían estar realizando sus actividades habituales, en un ambiente de mayor incomodidad.

La temperatura media en los meses del año, es mayor con respecto al promedio anual, y describió ondulaciones que representan bien el patrón de la temperatura según la época del año. También en ocasiones, exhibe tendencia regresiva a valores observados en la última década de los años noventa del siglo pasado, pero siempre con la pendiente al aumento.

Referencias

- [1] Balzarini M.G., González L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). Manual del Usuario, Editorial Brujas, Córdoba, Argentina.
- [2] A. Barraza-Villarreal, L. Hernández-Cadena, C. Escamilla, B. E. Del Rio-Navarro, J. J. Siemra-Monge, I. Romieu. (2006). Lung Function and Air Pollution Exposure in Asthmatic Children From Mexico City. Abstracts Epidemiology Volume 17, Number 6 Suppl, November 2006 S232 © 2006 Lippincott Williams & Wilk
- [3] Bravo, H., Roy-Ocotla, G., Sánchez, P. & Torres, R. (1992) La contaminación atmosférica por Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, pp. 173-184. (Cap. IX) In La Contaminación atmosférica. Sus causas y sus efectos. Comisión Nacional de Derechos Humanos. México, D.F. México.
- [4] Bravo, H., Roy-Ocotla, G., Sánchez, P. & Torres, R. (1991). Contaminación atmosférica por Ozono en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México: evolución histórica y perspectivas. *Omnia (Rev. de la Coor. Gral. De Est. de Postgrado, UNAM, México)* 7(23): 39-47.
- [5] Bravo, H.A.; Magaña, Z.R.; Lowe, S.A.; Ayanegui, J.S. & Sigler, A.E. (1978) "Preliminary study of the photochemical process in the air pollution of Mexico City". In: Proceedings of the International Clean Air Conference, 182-101. The Clean Society of Australia and New Zealand. Brisbane, Australia, Mayo, 1978.
- [6] Breña Puyol, A.F. y Breña Naranjo, J.A. (2009). Problemática del recurso agua en grandes ciudades: zona metropolitana del valle de México. *Contactos. Revista de educación en ciencias e ingeniería. (México)* Número., 74, Pp. 10-18. Octubre-Diciembre, 2009. Universidad Autónoma Metropolitana. <http://www.iztapalapa.uam.mx>.
- [7] Caselli, M. (1992). La Contaminación Atmosférica. Causas y fuentes. Efectos sobre el clima, la vegetación y los animales. Siglo XXI Editores. México, DF, México.
- [8] Comisión Ambiental de la Megalópolis. (CAME, 2023). Recuperado de <https://www.gob.mx/comisionambiental/prensa/continua-la-fase-i-de-contingencia-ambiental-atmosferica-por-ozono-en-la-zona-metropolitana-del-valle-de-mexico-zmvm-329977>
- [9] Correa-García, A. (2022). Contaminación Atmosférica y Meteorología en Morelia Michoacán, México. Una década evaluando la atmosfera urbana de la ciudad de Morelia. Nnoviembre 14, 2022. Pp. 228. Editorial Académica Española. Printed in the U.K.
- [10] Correa-García, Rico A, Coronado M. (2012). Análisis y Evaluación de la Contaminación del Aire del Valle de México. Un cuarto de siglo monitoreando la atmósfera de la Cuenca de México. Julio 17, 2012. Pp. 307. Editorial Académica Española. Printed in the U.K.
- [11] Chovin, P. & Roussel, A. (1970). La Polución Atmosférica. Colección ¿qué sé? N° 3, 1970, pp. 5-128. Ed. Oikos-Tau, S.A.
- [12] de Schrijver, E., Folly, C.L., Schneider, R., Royé, D., Franco, O.H., Gasparri, A., Vicedo-Cabrera, A.M. (2021). A comparative analysis of the temperature-mortality risks using different weather datasets across heterogeneous regions. *GeoHealth* 5, e2020GH000363. <https://doi.org/10.1029/2020GH000363>

- [13] Gobierno del Distrito Federal (GOBDF, S/F) Gobierno de México, recuperado el 14 de mayo de 2013 disponible en <http://www.calidadaire.df.gob.mx/calidadaire/index.php?opcion=4&opcionrecursostecnicos=26>.
- [14] Jáuregui, E. y Luyando, E. (1998). Long-term association between pan evaporation and the urban heat island in Mexico City. *Atmosfera* (1998) II, pp.45-60. Centro de Ciencias de la Atmosfera, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- [15] Jáuregui, E. (1995). Algunas alteraciones de largo periodo del clima de la ciudad de México debidas a la urbanización. *Revisión y Perspectivas. Investigaciones Geográficas. Boletín*, núm. 31. 1995. Departamento de Meteorología General, Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM.
- [16] Jáuregui, E. (1992). Meteorological aspects of ozone characterization and trend for period 1986-92 in Mexico City. In Meeting of the Comission of Climatology of the 27th International Geographical Congress. University Park, 3-8 August 1992
- [17] Palme, M. (2021). Urban Heat Island Studies in Hot and Humid Climates: A Review of the State of Art in Latin-America, in: Enteria, N., Santamouris, M., Eicker, U. (Eds.), *Urban Heat Island (UHI) Mitigation*, Springer Singapore, Singapore, pp. 123–141. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4050-3_6
- [18] Programa para el Mejoramiento de la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (PROAIRE, 2002-2010) Comisión Ambiental Metropolitana.
- [19] Riveros, G.H. (2016). “Contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México” *Ciencia*, núm. 4., volumen 68 • octubre-diciembre de 2016. Pp. 86-87. Correspondencia. Carta al editor de la revista *Ciencia*.
- [20] Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMADE, S/F). Gobierno de México disponible en: <http://www.aire.cdmx.gob.mx/default.php?opc=%27YqBhnmI=%27>.
- [21] Sheinbaum Pardo, C. (2016). Contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México. *Ciencia*, núm. 3., volumen 67 • julio-septiembre de 2016. Pp. 72-77. Comunicaciones libres.
- [22] Instituto Nacional de Ecología (INE, S/F). *Primer Catálogo, Estaciones de Monitoreo en México*. Pp. 124.
- [23] Xu Li Owen. (2021). Relationship Between Air Quality and the Number of Acute Respiratory Disease Infections in Mexico City. *IJRP* 2021, 81(1), 15-22; doi:10.47119/IJRP100811720212118