

Escenarios del índice Imeca para 2010: un análisis probabilístico

LUIS MIGUEL
GALINDO*



La calidad del aire en la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM) sigue siendo motivo de preocupación, no obstante los avances conseguidos en los últimos 10 años. En efecto, durante el pasado decenio se ha observado una tendencia a la reducción en los niveles del Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (Imeca), asociado también a la disminución en el número de contingencias ambientales. Sin embargo, este proceso no ha sido homogéneo y aún no se alcanzan niveles satisfactorios desde el punto de vista de la salud pública.

En este sentido, es necesario formular e instrumentar una estrategia consistente de largo plazo para continuar con la mejora de la calidad del aire en la zona metropolitana y obtener niveles que no sean perjudiciales para la salud de la población. Con ese objetivo, en este documento se presenta la evidencia estadística del comportamiento del índice Imeca y se realizan algunas simulaciones para contribuir a definir la estrategia más eficiente. Se presentan los datos estadísticos y las simulaciones realizadas y se incluyen algunas conclusiones y consideraciones para definir una estrategia de control. Desde luego este análisis debe complementarse con las simulaciones realizadas con los modelos atmosféricos.

* Cátedra Extraordinaria Narciso Bassols en la Facultad de Economía. El autor agradece los comentarios y las sugerencias de Mario Molina, Luisa Molina, Claudia Sheinbaum y Adrián Fernández. Desde luego, los juicios y los errores son responsabilidad exclusiva de quien esto escribe. El estudio se financió con fondos del proyecto Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, y la Comisión Ambiental Metropolitana.

EVIDENCIA ESTADÍSTICA Y SIMULACIONES DEL ÍNDICE IMECA

El comportamiento de las concentraciones de contaminantes en el aire puede considerarse un proceso aleatorio en la medida que depende no sólo de las fuentes de emisiones

sino también de factores meteorológicos y climáticos.¹ Éste es el caso incluso cuando las simulaciones de los contaminantes atmosféricos se realizan con base en modelos fotoquímicos deterministas, ya que los valores extremos del ozono están asociados con las condiciones atmosféricas que se consideran estocásticas.²

Así, pueden utilizarse diversos métodos econométricos para analizar el índice Imeca.³ El comportamiento de los valores máximos diarios de ese indicador de 1990 a 2000 muestra una ligera tendencia descendente acompañada de una elevada volatilidad (véase la gráfica 1). Se observa también una disminución de los días con valores superiores a 300 y 250 Imeca⁴ y en particular en el promedio mensual⁵ que se presenta en la gráfica 2.

El ritmo de la tendencia a la baja del Imeca no es, sin embargo, homogéneo durante todo el período. Por el contra-

1. J.H. Seinfeld, *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*, Academic Press Inc., 1986, y S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry, "Dealing with the Ozone Non-attainment Problems in the Eastern United States", *EM Feature*, enero de 1996, pp. 17-31.

2. S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry, *op. cit.*

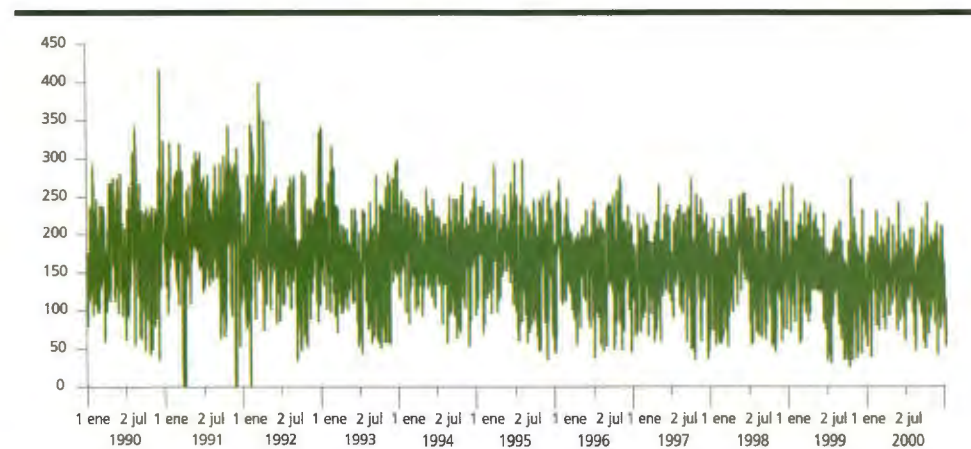
3. Este análisis utiliza sólo los máximos diarios del Imeca para el período 1990-2000, pues este índice se ha convertido en un instrumento de política pública y representa la base para declarar contingencias ambientales con un límite de 240 Imecas. Un resumen del algoritmo para elaborar el índice Imeca se encuentra en Instituto Nacional de Ecología (INE), *Tercer Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas*, 1998. Un resumen del plan de contingencias se puede consultar en INE, *Almanaque de datos y tendencias de la calidad del aire en ciudades mexicanas*, México, 2000.

4. S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry, *op. cit.*

5. Una muestra simple de esta tendencia descendente lo ejemplifica que la media del índice Imeca entre enero de 1990 y diciembre de 1994 sea 180.9 mientras que esa misma media entre enero de 1995 y diciembre de 2000 es de 157.05.

G R Á F I C A 1

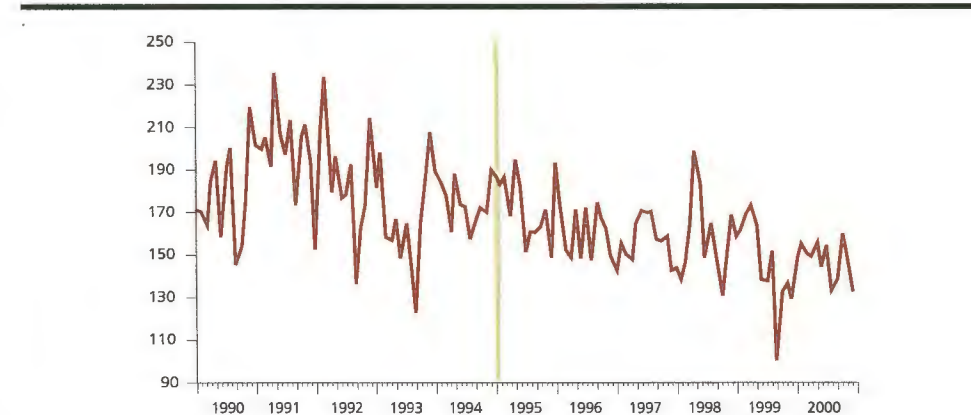
ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:
VALORES MÁXIMOS DIARIOS DEL IMECA, 1990-2000 (ÍNDICES)



Fuente: elaboración del autor con base en INE, *Tercer Informe sobre la Calidad del Aire en Ciudades Mexicanas*, 1998.

G R Á F I C A 2

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:
PROMEDIO MENSUAL DE LOS VALORES MÁXIMOS DEL IMECA (1990-2000)



Nota: de cada año se dan los datos del 1 de enero, el 5 de mayo y el 9 de septiembre.

rio, se observa que la serie alcanza un nivel máximo en 1991 para después descender con mayor intensidad de 1991 a 1994 que de 1995 a 2000.

El comportamiento tan diferenciado de la serie entre los períodos de 1990-1994 y 1995-2000 ha llevado a diversas discusiones en las que destacan la existencia y las características de la tendencia descendente, el grado de confianza en las mediciones de la contaminación del aire, las causas eco-

nómicas asociadas a la mejora en la calidad del aire y, desde luego, el papel del programa de contingencias. El análisis estadístico de la serie Imeca ofrece información relevante en torno a estos temas de discusión.

Las pruebas de raíces unitarias realizadas indican que la media mensual del índice Imeca es una serie no estacionaria. Al aplicar el procedimiento de lo general a lo específico,⁶ con las pruebas de Dickey Fuller aumentada y de Phillips-Perron,⁷ se observa que la serie es I(1) con la constante estadísticamente significativa y la tendencia no significativa (véanse los cuadros 1 y 2). Esto significa que la serie muestra un comportamiento descendente en torno de una constante que puede por tanto usarse como un atractor del conjunto de la distribución del fenómeno. La presencia de la constante sugiere que tal vez existen cambios estructurales en el comportamiento de la serie que es necesario tomar en cuenta para modelarla durante períodos específicos.⁸

Las pruebas de raíces unitarias de Dickey Fuller aumentada y de Phillips Perron estimadas para 1990-1994 y 1995-2000 confirman también que el ritmo de la reducción del índice Imeca es menos intenso en los últimos años. Así, los estadísticos de las pruebas de raíces unitarias se aproximan a sus regiones críticas para el segundo período, sugiriendo que la serie se aproxima a un comportamiento estacionario aunque aún sea I(1).⁹

Asimismo, la función de autocorrelación del índice Imeca tiene un patrón que confirma que la serie es no estacionaria en la medida en que existe un proceso autoregresivo en el comportamiento del promedio mensual (véase la gráfica 3) que puede utilizarse para

C U A D R O 1

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO: MEDIA MENSUAL DEL IMECA, 1990-2000. PRUEBAS DE DICKEY FULLER AUMENTADA Y DE PHILLIPS PERRON PARA EL IMECA_t

Con constante y tendencia	Con constante y sin tendencia	Sin constante y tendencia
<i>ADF (8)</i>		
$\alpha = 114.15$ ($t_{\alpha} = 8.09$)	$\alpha = 71.24$ ($t_{\alpha} = 5.75$)	$\rho = 0.99$ ($t_{\rho-1} = -0.86$)
$\beta = -0.26$ ($t_{\beta} = -5.10$)	$\rho = 0.57$ ($t_{\rho-1} = -5.82$)	$k: T(\rho-1) = -1.25$
$\rho = 0.31$ ($t_{\rho-1} = -8.16$)	$k: T(\rho-1) = -55.71$	
$k: T(\rho-1) = -89.137$		
<i>PP (8)</i>		
$T_{\alpha} = 7.93$	$t_{\alpha} = 6.29$	$t_{\rho-1} = -0.62$
$t_{\beta} = -5.03$	$t_{\rho-1} = -6.37$	$T(\rho-1) = -0.39$
$t_{\rho-1} = -8.007$	$T(\rho-1) = -69.44$	
$T(\rho-1) = -82.26$		

$\Delta TOZ_t = \alpha + \beta T + (\rho - 1)TOZ_{t-1} + \Sigma^2 \delta \Delta TOZ_{t-1} + u_t$. Las pruebas incluyen ocho rezagos para evitar posibles problemas de autocorrelación o heteroscedasticidad. Período: 1990-2000.

C U A D R O 2

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO: MEDIA MENSUAL DEL IMECA, 1990-2000. PRUEBAS DE DICKEY FULLER AUMENTADA Y DE PHILLIPS PERRON PARA EL Δ IMECA_t

Con constante y tendencia	Con constante y sin tendencia	Sin constante y tendencia
<i>ADF (7)</i>		
$\alpha = -0.33$ ($t_{\alpha} = -0.18$)	$\alpha = -0.33$ ($t_{\alpha} = -0.18$)	$\rho = -0.34$ ($t_{\rho-1} = -16.29$)
$\beta = -0.01$ ($t_{\beta} = -0.28$)	$\rho = -0.34$ ($t_{\rho-1} = -16.23$)	$k: T(\rho-1) = -175.33$
$\rho = -0.34$ ($t_{\rho-1} = -16.18$)	$k: T(\rho-1) = -175.35$	
$k: T(\rho-1) = -175.38$		
<i>PP (7)</i>		
$t_{\alpha} = -0.29$	$t_{\alpha} = -0.29$	$t_{\rho-1} = -23.101$
$t_{\beta} = -0.45$	$t_{\rho-1} = -23.021$	$T(\rho-1) = -134.39$
$t_{\rho-1} = -22.95$	$T(\rho-1) = -133.98$	
$T(\rho-1) = -133.57$		

$\Delta \Delta TOZ_t = \alpha + \beta T + (\rho - 1) \Delta TOZ_{t-1} + \Sigma^2 \delta \Delta \Delta TOZ_{t-1} + u_t$. Las pruebas incluyen siete rezagos para evitar posibles problemas de autocorrelación o heteroscedasticidad. Período: 1990-2000.

modelar la media del fenómeno y que disminuye de manera paulatina.¹⁰

El incremento en el índice Imeca durante 1991 y su rápida reducción posterior se ha asociado con la expansión a principios de los noventa de la red de monitoreo con objeto de cubrir el conjunto de la zona metropolitana. Así, el aumento del índice se asocia tanto a la medición en zonas más contaminadas previamente excluidas como a problemas iniciales en el uso de los equipos que se tradujeron en mediciones poco confiables.

10. S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry, *op. cit.*, y W.M. Coxy S.H. Chu, "Meteorologically Adjusted Ozone Trends in Urban Areas: A Probabilistic Approach", *Atmospheric Environment*, vol. 27B, núm. 4, 1993, pp. 425-434.

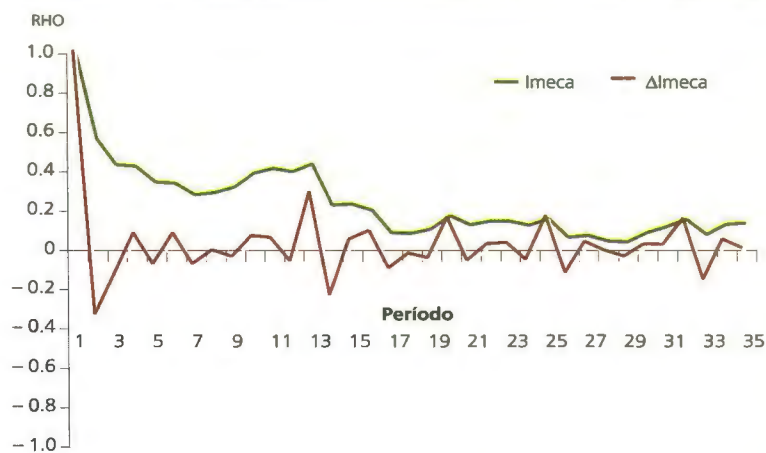
6. P. Perron, "Trends and Random Walks in Macroeconomic Time Series: Further Evidence from a New Approach", *Journal of Economic Dynamics and Control*, núm. 12, 1988, pp. 297-332.

7. D.A. Dickey y W.A. Fuller, "Likelihood Ratio Statistics for Autoregressive Time Series with a Unit Root", *Econometrica*, núm. 49, 1981, pp. 1057-1072, y P.C.P. Phillips y P. Perron, "Testing for a Unit Root in Time Series Regression", *Biometrika*, núm. 75, 1988, pp. 335-346.

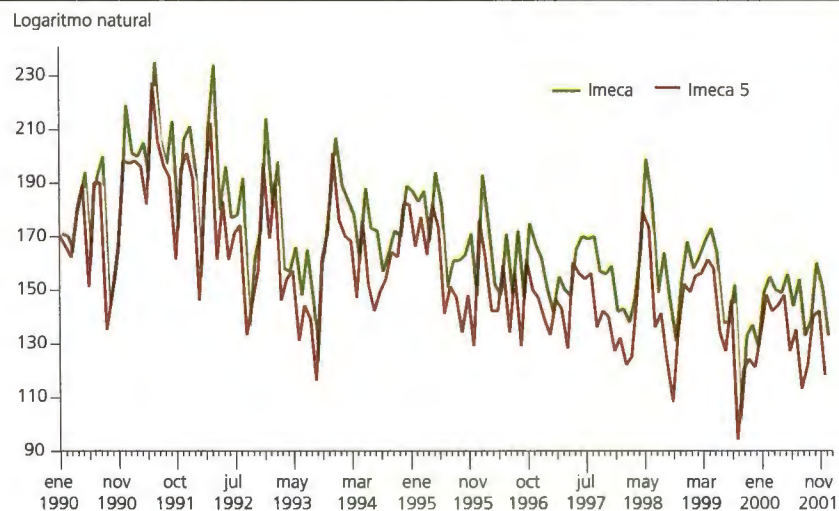
8. M.P. Clemens y D.F. Hendry, *Forecasting Non-stationary Economic Time Series*, The MIT Press, 1999, y G.S. Maddala e I. Kim, *Unit Roots Cointegration and Structural Change*, Cambridge University Press, 1998.

9. L.M. Galindo, *Air Quality Trends in the Mexico City Metropolitan Area: A Probabilistic Approach*, Integrated Program on Urban, Regional and Global Air Pollution", Working Paper, MIT, 2001.

**ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:
FUNCIÓN DE AUTOCORRELACIÓN MUESTRAL (RHO) DEL IMECA E ΔIMECA**



**ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:
SIMULACIÓN HISTÓRICA DE LOS ÍNDICES IMECA E IMECA5,¹ 1990-2000**



1. Imeca5: valores máximos diarios de las cinco estaciones en servicio desde el inicio del programa.

Para evaluar esta hipótesis se construyó un índice promedio mensual con los valores máximos diarios de sólo cinco estaciones que han estado en servicio desde el inicio del programa y que son representativas de las áreas geográficas de la zona: Tlalnepantla (noroeste), Xalostoc (noreste), Merced (centro), Pedregal (suroeste) y Cerro de la Estrella (sureste).¹¹ La comparación entre los índices Imeca de las cinco estaciones (Imeca5) y el total indica que ambas series se mueven de manera conjunta, como se muestra en la gráfica 4, lo que se refleja también en que el coeficiente de correlación de las series en niveles y en primeras diferencias es de 0.97 y 0.95, respectivamente.

Más aún, el procedimiento de Johansen,¹² utilizando el logaritmo de las series, indica que existe un vector de cointegración entre ambas (véase el cuadro 3). Esto indica que ambas series tienden a moverse de manera conjunta o que al menos existen tendencias comunes entre ellas. El vector de cointegración obtenido tiene un coeficiente menor a uno y el término constante es positivo. La hipótesis nula de que $\beta_0=0$ y $\beta_1=1$ es rechazada por la prueba de razón de máxima verosimilitud (véase el cuadro 4). Ello significa que, no obstante que ambos índices se mueven juntos sus valores específicos, son diferentes y que la inclusión de nuevas estaciones llevó a obtener mediciones más elevadas del índice Imeca.

El conjunto de los resultados que relacionan al comportamiento del índice Imeca total con el de las cinco estaciones permite argumentar que el primero puede considerarse una aproximación satisfactoria de las principales tendencias de la contaminación en la zona metropolitana en referencia a los programas de contingencia.

11. La metodología para elaborar esta serie se puede consultar en INE, *Almanaque de datos...op. cit.*
12. S. Johansen, "Statistical Analysis of Cointegration Vectors", *Journal of Economic Dynamics and Control*, núm. 12, 1998, pp. 231-254.

$$\ln(\text{Imeca}_t) = 0.7012 + 0.8776\ln(\text{Imeca}_5)$$

La presencia de un proceso autorregresivo en la media del índice Imeca, el alto coeficiente de correlación entre la serie del Imeca general y la de las cinco estaciones y la presencia de cointegración pueden utilizarse para construir un modelo de vectores autorregresivos (VAR) con ambos índices. El modelo VAR estimado captura de forma satisfactoria el comportamiento sistemático¹³ del fenómeno en la medida que el término de error no tiene ningún patrón regular como lo muestran las pruebas de multiplicador de Lagrange para autocorrelación y de ARCH para heteroscedasticidad aunque persisten algunos problemas de normalidad de los errores en la primera ecuación del Imeca general.¹⁴

La simulación histórica (véase la gráfica 4) indica que el modelo reproduce razonablemente bien el comportamiento del promedio mensual del índice Imeca. Ello se confirma por el coeficiente de correlación de 0.65 para la ecuación del Imeca que es congruente con el valor de 0.55 obtenido por Rao, Zurbenko, Porter, Ku y Henry.¹⁵ Estos resultados indican que es posible

C U A D R O 3

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO: VECTOR DE COINTEGRACIÓN ENTRE LAS SERIES IMECA E IMECA5, 1990-2000. ESTADÍSTICOS DEL PROCEDIMIENTO DE JOHANSEN

Ho:rango=p	-Tlog(1-λ)	T-nm	95%	-Tlgl(1-λ _{p,t})	T-nm	95%
P=0	16.26*	14.63	15.7	22.63	20.37	20.0
P<=1	6.37	5.73	9.2	6.37	5.73	9.2

-Tlog(1-λ)= Prueba de la raíz característica máxima; -Tlgl(1-λ_{p,t}) = prueba de la traza;*(**) Rechazo de la hipótesis nula al 5%(1%) de nivel de significancia;p= número de vectores de cointegración; se incluyen seis rezagos para resolver posibles problemas de autocorrelación o heteroscedasticidad. Período: enero de 1990 a diciembre de 2000.

C U A D R O 4

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO: RESTRICCIONES EN LOS COEFICIENTES DEL VECTOR DE COINTEGRACIÓN

$$\text{Ho: } \beta_0=0 \text{ y } \beta_1=1$$

$$\text{LR: } \chi^2(1)=4.11^*$$

Nota: la ecuación básica es: $\ln(\text{Imeca}_t) = \beta_0 + \beta_1\ln(\text{Imeca}_5) + u_t$

13. S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry ("Dealing with the Ozone...", *op.cit*) argumentan que los niveles de ozono incluyen un componente determinístico asociado al promedio estacional y un ruido blanco que corresponde al comportamiento de los valores extremos.
14. L.M. Galindo, *op. cit*.
15. S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry, "Dealing with the Ozone...", *op. cit*.

simular el comportamiento tendencial del índice Imeca muy probablemente asociado a las emisiones de contaminantes a la atmósfera.¹⁶ La identificación del componente sistemático del índice Imeca permite entonces elaborar una estrategia de control orientada a esta parte del fenómeno según el supuesto de que los cambios aleatorios en torno a esta tendencia están asociados a variables que no pueden controlarse como el clima.

El modelo muestra también una alta capacidad para pronosticar los valores posibles dentro de un determinado intervalo de confianza (véanse las gráficas 5a y 5b). Este punto resulta en especial relevante para la elaboración de un programa de calidad del aire, ya que en estos casos no sólo es importante predecir la media sino también la varianza del fenómeno en la medida que se imponen programas de contingencia y para evaluar los efectos en la salud.¹⁷

Utilizando el modelo para pronosticar la media mensual del índice Imeca durante los siguientes dos años se observa que no existe una tendencia pronunciada a su disminución, sino más bien un comportamiento relativamente estacionario o incluso una pequeña alza (véanse las gráficas 6a y 6b). Esto sugiere que las medidas instrumentadas en los últimos 10 años han sido relativamente exitosas pero que en la actualidad es necesario reforzarlas para continuar disminuyendo los índices de contaminación en la zona metropolitana. Estos resultados son congruentes con la evidencia disponible, incluso internacional, en donde se observa una disminución en la contaminación del aire en las principales ciudades de Estados Unidos¹⁸ asociado a la eliminación exitosa del contenido de plomo en las gasolinas, la introducción de convertidores catalíticos o incluso la disminución de las emisiones de sulfuro.¹⁹ En este sentido, para mantener una reducción en el índice Imeca en los próximos 10 años es necesario profundizar en la instrumentación de medidas que es probable tendrán un costo mayor para la sociedad. Sin embargo, ello es indispensable para obtener ganancias significativas en salud.

Estos resultados indican que existe un componente en el índice Imeca que tiene un comportamiento relativamente sistemático y que es por tanto más fácil de predecir que los episodios extremos.²⁰ En este sentido, la mejor estrategia consiste en tratar de controlar la media del fenómeno que está

16. *Ibid*.

17. J.H. Seinfeld, *op. cit*.

18. W.M. Cox y S.H. Chu, *op. cit*.

19. H. Hilton y A. Levinson, "Factoring the Environmental Kuznets Curve: Evidence from Automobile Lead Emissions", *Journal of Environmental Economics and Management*, núm. 35, 1998, pp. 126-141, y N. Shafik, "Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis", *Oxford Economic Paper*, vol. 46, octubre de 1994, pp. 757-773.

20. S.T. Rao, I.G. Zurbenko, P.S. Porter, J.Y. Ku y R.F. Henry, "Dealing with the Ozone...", *op. cit*.

asociada fundamentalmente a las emisiones de contaminantes. Por otra parte, esperar un desplazamiento del conjunto del fenómeno, incluidos los episodios extremos, en correspondencia con la media y reconociendo que los valores máximos o mínimos se relacionan con condiciones meteorológicas que son imposibles de controlar.²¹ Así, no obstante que existen instrumentos para reducir la contaminación del aire en la zona metropolitana, no debe olvidarse que este fenómeno depende también de condiciones meteorológicas y que por tanto muestra cambios aleatorios.²² De este modo, la estrategia pretende reducir los eventos de contaminación máxima por medio de la media empleada como un atractor del conjunto de la distribución y manteniendo vigente y ac-

tualizado el programa de contingencias. Con ello se busca reducir el número de días por arriba de la norma establecida.

Las emisiones de contaminantes a la atmósfera en la zona metropolitana tienen una correspondencia importante con las actividades económicas realizadas.²³ Este proceso es complejo y no lineal en la medida que está determinado por un conjunto de factores como las tecnologías utilizadas, los precios relativos, la estructura económica, las condiciones y los mecanismos de producción y distribución, las preferencias de los individuos y las condiciones geográficas que son variables cuyo comportamiento es incluso difícil de explicar.

La presencia de esta relación entre las actividades económicas y los niveles de contaminación del aire puede abordarse

en inicio mediante un modelo VAR que permite observar la presencia de algún tipo de asociación estadística entre ambos fenómenos.²⁴

De este modo, el modelo VAR se especificó en logaritmos, incluido el promedio mensual del índice Imeca junto con tres fuentes de contaminación atmosférica en el Valle de México: el consumo de gasolina (lgas_t), el número de autos vendidos en el país²⁵ (lautos_t) y el índice de producción industrial (lyi_t).

El VAR estimado no tiene problemas de autocorrelación

23. P. Ekins, *Economic Growth and Environmental Sustainability*, Routledge, 2000; M.T. Heily T.M. Selden, "Carbon Emissions and Economic Development: Future Trajectories Based on Historical Experience", *Environmental and Development Economics*, núm. 6, 2001, pp. 63-83, y T. Selden y D. Song, "Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?", *Journal of Economics and Management*, núm. 27, 1994, pp. 147-162.

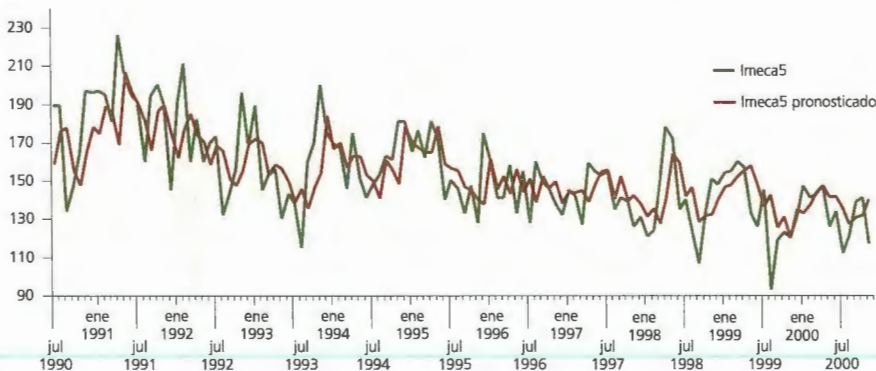
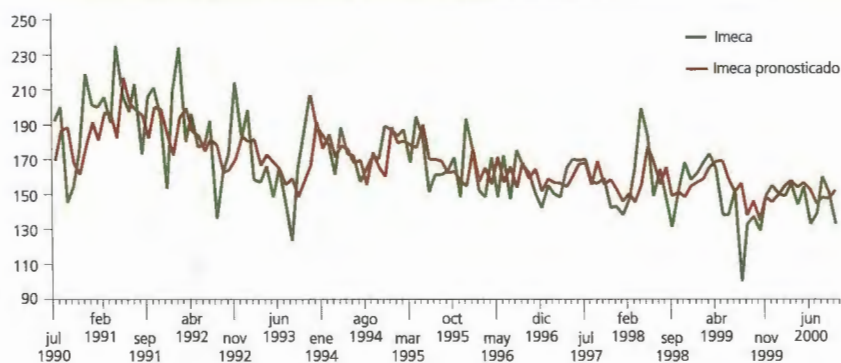
24. Una proporción importante de los estudios que relacionan actividades económicas y niveles de contaminación

se basa en evidencia obtenida con modelos econométricos en formas reducidas que no pueden interpretarse como modelos estructurales (Ekins, *op. cit.*). En este sentido, los coeficientes del modelo estimado no tienen una interpretación directa.

25. Esta variable es utilizada como una aproximación cruda del número de autos vendidos en la zona metropolitana.

G R A F I C A S 5A Y 5B

ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE MÉXICO:
MODELO DE VECTORES AUTORREGRESIVOS PARA EL IMECA Y EL IMECA 5, 1999-2000



21. *Ibid.*

22. W.M. Cox y S.H. Chu, *op. cit.*

o heteroscedasticidad y los errores no rechazan la hipótesis de que se distribuye de forma normal.²⁶ Es importante destacar que el coeficiente de determinación para la ecuación del índice Imeca es 0.71, que es similar al obtenido en el VAR utilizando el Imeca y el Imeca5. Ello indica que el componente sistemático del fenómeno corresponde en general a esa proporción. La capacidad de este modelo para simular de manera adecuada el comportamiento del índice Imeca asociado a variables económicas puede observarse en las gráficas 7a y 7b.

Los modelos VAR del índice Imeca e Imeca5, y el Imeca y las variables económicas permiten simular de manera adecuada el componente sistemático de la contaminación del aire. Ello en la medida en que los modelos VAR permiten separar el componente sistemático del aleatorio. Sin embargo, para realizar inferencias sobre los valores extremos, ante diferentes valores de la media, se debe utilizar la distribución estadística del fenómeno. Este método permite incluso con-

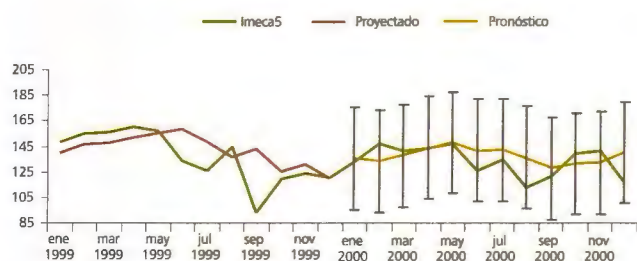
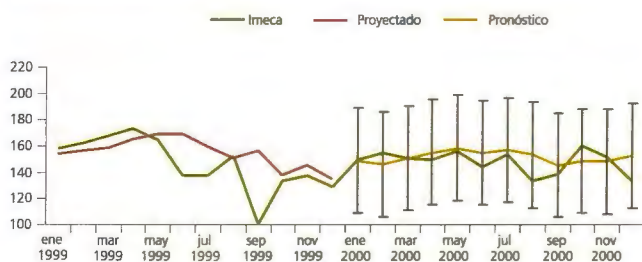
siderar el caso en que las condiciones meteorológicas tengan influencia en las condiciones particulares de la distribución del índice Imeca.²⁷

En general las principales distribuciones estadísticas asociadas al comportamiento de los principales contaminantes atmosféricos son la normal, la log-normal, la Weibull, la *t* de student y la exponencial.²⁸ Cada una de estas distribuciones implica, con la misma media, diferente número de días por arriba de cierto límite o calor crítico.

Las pruebas no paramétricas realizadas²⁹ sugieren que la distribución más probable en torno a la media del índice diario del Imeca corresponde a una normal o Weibull.³⁰ Así, puede simularse el comportamiento diario del índice Imeca, suponiendo una distribución normal, para obtener un orden de magnitud de los días por arriba de cierto límite, aunque desde luego este modelo sólo representa

G R Á F I C A S 6A Y 6B

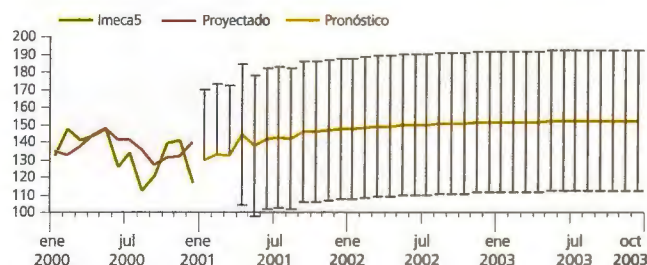
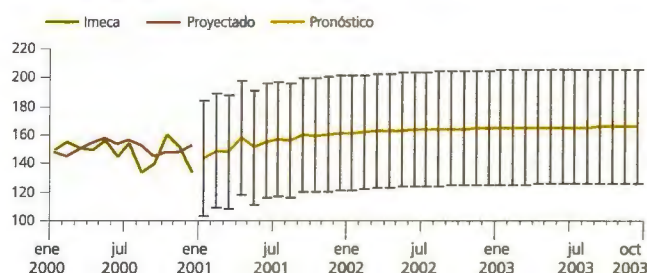
SIMULACIÓN DEL IMECA E INTERVALOS DE CONFIANZA, 1999-2000



26. L.M. Galindo, *op. cit.*

G R Á F I C A S 7A Y 7B

SIMULACIÓN DEL IMECA E INTERVALOS DE CONFIANZA, 2000-2003



27. Environmental Protection Agency (EPA), *Guideline for the Interpretation of Ozone Air Quality Standards*, enero de 1979, y W.M. Cox y S.H. Chu, *op. cit.*

28. J.H. Seinfeld, *op. cit.*, y EPA, *op. cit.*

29. A. Spanos, *Probability Theory and Statistical Inference. Econometric Modelling with Observational Data*, Cambridge University Press, 1999.

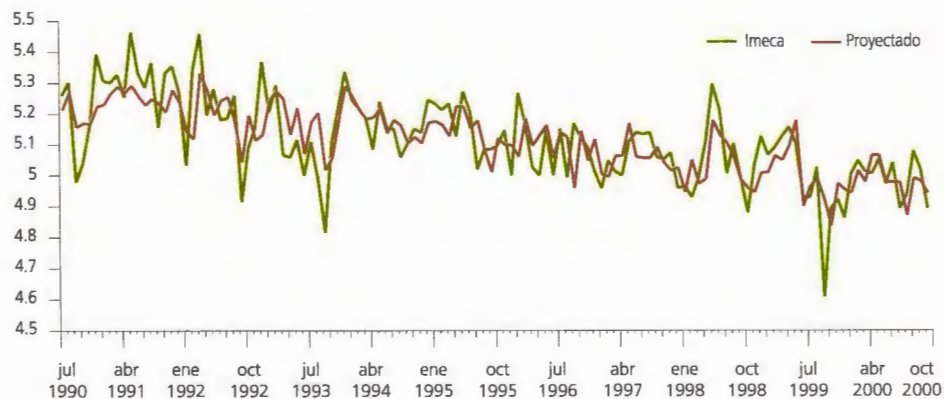
30. W.M. Cox y S.H. Chu., *op. cit.*; EPA, *op. cit.*, y L.M. Galindo, *op. cit.*

una aproximación del fenómeno.³¹ Debe incluso considerarse que es posible que la distribución se modifique de acuerdo con cambios en las condiciones meteorológicas, al desplazamiento de la media a la izquierda y al uso del programa de contingencias para controlar los valores extremos.³² Las simulaciones históricas realizadas con el modelo indican que es posible reproducir de manera adecuada el número de días por arriba del límite. En particular, el modelo tiene una alta capacidad predictiva sobre el número de días usando el límite de 220.³³ Debe destacarse que a partir de la instrumentación del programa de contingencias, el número de días pronosticado por el modelo es superior a los valores reales. Ello puede explicarse como un éxito del programa de contingencias que disminuyó la presencia de episodios extremos. Asimismo, debe observarse que el desplazamiento a la izquierda de la media del índice Imeca ha estado acompañada de un corrimiento del conjunto de la distribución y una disminución de la varianza del fenómeno, lo que se manifiesta en una disminución en el número de días por arriba de cierto límite.³⁴ Esto indica que es posible disminuir el límite de contingencias de forma simultánea al desplazamiento a la izquierda de la media del índice Imeca.

De este modo, puede entonces simularse de manera simultánea el promedio anual del índice Imeca y el número de días por arriba de cierto límite. Esto permite evaluar diversos escenarios posibles y definir las consecuencias de distintos límites en el programa de contingencias.

El cuadro 5 presenta los resultados de la simulación considerando una disminución progresiva de la media y la desviación estándar del Imeca a partir de 2002 ajustando la distribución normal por los efectos del programa de contingencias de acuerdo con su comportamiento histórico. Un resumen de las simulaciones realizadas se presentan en los cuadros 5 y 6. Los principales resultados indican que de continuar la tendencia a una disminución de la media anual del índice Imeca entonces se observará al mismo tiempo una reducción de la variabilidad del fenómeno y una reducción en el número de días por arriba del límite de contingencias de 240. Así, con una media de 130 puede esperarse que no se presenten más días por arriba del límite impuesto en la actualidad por el plan de contingencias. Esta reducción es significativa no sólo en términos del plan de contingencias sino también en el número de días que se ganan por debajo de determinados límites

G R A F I C A 8
**VALORES REALES Y SIMULADOS DE VECTORES AUTORREGRESIVOS
 ENTRE EL ÍNDICE IMECA Y LOS PROCESOS ECONÓMICOS**



31. D.E. Burnmaster y K.M. Thompson, "Fitting Second Order Parametric Distributions to Data Using Maximum Likelihood Estimation", *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 4, núm. 2, 1998, pp. 319-339.

32. EPA, *op. cit.*

33. L.M. Galindo, *op. cit.*

34. Departamento del Distrito Federal, Gobierno del Estado de México y Semarnap, *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México*, 1996, e INE, *op. cit.*

SIMULACIONES DEL ÍNDICE IMECA 2002-2010. NÚMERO DE DÍAS POR ARRIBA DE CIERTO LÍMITE (AJUSTADO)

Año	Promedio	Desviación estándar	Días con Imezas >240	Días con Imezas >220	Días con Imezas >200	Días con Imezas >100
2000	148	37.6	2	7	24	323
2002	140	39.2	1	6	19	306
2003	135	37.8	1	3	13	297
2004	130	36.4	0	2	9	287
2005	125	35.0	0	1	5	275
2006	120	33.6	0	0	2	262
2007	115	32.2	0	0	1	247
2008	110	30.8	0	0	1	226
2009	105	29.4	0	0	0	205
2010	100	28.0	0	0	0	181

SIMULACIÓN DEL NÚMERO DE DÍAS CON MENOS DE 100 IMECAS, 2002-2010 (AJUSTADO)

	Promedio	Desviación estándar	Imezas <100 (ajustado)
2000	148	37.6	42
2002	140	39.2	55
2003	135	37.8	64
2004	130	36.4	76
2005	125	35.0	87
2006	120	33.6	100
2007	115	32.2	115
2008	110	30.8	137
2009	105	29.4	158
2010	100	28.0	182

del Imeca. De este modo, con una media de 130, sólo se registrarían nueve días por arriba de 200, lo que se compara favorablemente con 2000, cuando se registraron 24 días, es decir, habría una reducción de 15 días. De hecho, con una media anual de 120 los días por arriba de 220 serían mínimos.


Las ganancias con esta reducción del índice Imeca pueden observarse también atendiendo al número de días por debajo de la norma de 100 Imezas. Una media de 130 significaría alrededor de dos meses del año (76 días) por abajo del límite de 100 Imezas. Esto tendría sin duda resultados positivos en términos de salud.

CONSIDERACIONES GENERALES

Los resultados obtenidos indican que existe una tendencia descendente del promedio mensual del índice Imeca desde 1991. A este proceso han contribuido diversos factores tanto económicos como climáticos o atmosféricos. Sin embargo, en los últimos años el ritmo de disminución es menor, por lo que se requiere impulsar nuevas medidas. Esto es, las ganancias obtenidas por los programas Hoy No Circula, la verificación vehicular o el cambio en los combustibles han tenido un efecto positivo, pero en la actualidad es preciso profundizar y diversificar las medidas, incluidos aspectos como la modernización del parque vehicular y un impulso estratégico del transporte público moderno.

La evidencia empírica sugiere que el índice Imeca puede representarse como un proceso estocástico que incluye un componente sistemático y otro aleatorio. Esta descomposición puede utilizarse para formular una estrategia de control de la contaminación del aire en la zona metropolitana. La evidencia disponible indica que es posible simular alrededor de 60% de la varianza del índice Imeca. De esta forma, las políticas ambientales de calidad del aire deben de contribuir a generar un desplazamiento del comportamiento sistemático del fenómeno expresado en un movimiento de la media del índice Imeca a la izquierda. En ese sentido, se busca incidir en las fuentes de contaminación asociadas al componente sistemático. Ello se traducirá también en un desplazamiento a la izquierda del conjunto de la distribución de probabilidad, aunque aún persistan episodios extremos sobre los que sólo pueden hacerse juicios probabilísticos.

Puede entonces simularse el comportamiento de la media del índice Imeca y añadirse a la distribución estadística del fenómeno. Los principales resultados obtenidos a este respecto indican que, con el supuesto de una distribución normal ajustada por la evidencia histórica, pueden obtenerse importantes ganancias ambientales y en salud de continuar una disminución en la media del índice Imeca. Esto es, las simulaciones realizadas expresan que la disminución de la media del Imeca se manifiesta también en una reducción en el número de días por arriba de cierto límite. Esto se traduce no sólo en un menor número de contingencias ambientales, sino también en una disminución mayor en el número de días por arriba de ciertos límites e incluso en una ganancia en días con una calidad satisfactoria del aire.

El plan de contingencias al imponer límites al nivel de contaminación puede contribuir a romper los casos extremos. Por ello debe ser una prioridad su ajuste a límites más bajos conforme va descendiendo la media del Imeca. 



TRÁMITES ADUANALES



TRANSPORTE



CONSOLIDACIÓN DE CARGA



CARTAS DE CRÉDITO



BANCOMEXT

**Si tienes dudas
sobre exportación,
consulta a los expertos:
“Asesoría Especializada
Bancomext”**

Consúltanos directamente, además de aclarar tus dudas, ponemos a tu servicio personal altamente especializado y calificado para asesorarte en:

- Documentos y trámites en el comercio exterior de México
- Tratamiento arancelario de importación y exportación en México y/o país de destino
- Formación del precio de exportación
- Correlación de fracciones arancelarias del Sistema Armonizado con el NALADI/NALADISA
- Asesoría legal básica sobre contratos internacionales
- Solución de controversias de comercio exterior, a través de COMPROMEX (Comisión para la Protección del Comercio Exterior de México)

Para mayor información comunícate a

EXPORTATEL :

01800 EXPORTA (01800 397 6782)

o entra a **bancomext.com**

y si lo prefieres, contáctanos vía mail en

asesoria@bancomext.gob.mx

**Bancomext evoluciona, se perfecciona
y trabaja por y para México.**



BANCOMEXT
TE AYUDA