UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

FACULTAD DE ECONOMIA

PROGRAMA DE ECONOMIA DEL MEDIO AMBIENTE

Y RECURSOS NATURALES

ARTÍCULO PUBLICABLE

"Análisis de Intervención: Efectividad de las Políticas para Reducción de la Contaminación por Fuentes Móviles en Bogotá"

MILDRED MENDEZ CAICEDO

Asesora: Dr. HAROLD COROADO

Co-Asesor: Dra. LILIANA GARRIDO

Enero 2004

CEDE

ANALISIS DE INTERVENCION: EFECTIVIDAD DE LAS POLÍTICAS PARA REDUCCIÓN DE LA COTAMINACION POR FUENTES MOVILES EN BOGOTA

MILDRED MENDEZ CAICEDO

Resumen

Este artículo tiene como objetivo utilizar la información de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, para construir un modelo econométrico que represente adecuadamente los cambios históricos de los contaminantes, de tal manera que sea posible realizar predicciones eficientes de las tendencias de los contaminantes y valorar la efectividad de las medidas de control. Utilizando el modelo empírico desarrollado por Box y Tiao (1975) y posteriormente aplicado por Enders (1995), se determinó el efecto de las intervenciones Pico y placa, Programa Inspección y Mantenimiento (I/M) y Transmilenio sobre la serie de tiempo de los contaminantes Ozono (O_3) y Material Particulado de tamaño menor a 10µm (PM_{10}). Los resultados muestran reducciones del 56.13% en la concentración de Ozono y de 17.89% en la concentración de PM_{10} por la implementación de la medida Transmilenio y reducción de la concentración de Ozono del 21% por la medida Pico y Placa. El programa de Inspección y mantenimiento no mostró evidencia de efectividad bajo este anàlisis. Con base en los resultados obtenidos se pueden planificar políticas integrales para la gestión del transporte, que permitan la reducción efectiva de los impactos causados por las fuentes móviles en la contaminación del aire.

Palabras Claves: Análisis de Intervención, Series de Tiempo, Contaminación por Fuentes Móviles, Programa I / M.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1

2 MODELO 4

2.1 Modelo Teórico 4

2.2 Modelo Econométrico para el análisis de Intervención 4

3 DATOS 10

4 RESULTADOS 22

4.1 Serie Ozono Estación Universidad Nacional 22

4.2 Serie PM_{10} Estación Hospital Olaya 24

5 CONCLUSIONES 33

6 REFERENCIAS 34

ANEXOS

ANEXO I *IMPUTACIÓN DE DATOS* 36

ANEXO II ANALISIS SERIE DE TIEMPO PARA OZONO 42

ANEXO III ANALISIS SERIE DE TIEMPO PARA PM_{10} 47

ANEXO IV ESTIMACIONES DEL MODELO OZONO CON VARIABLES INDEPENDIENTES 55

1. Introducción.

La contaminación atmosférica causada por fuentes móviles es un problema que afrontan muchos centros urbanos en todo el mundo. En las ciudades latinoamericanas el tráfico es, en general, la principal fuente de contaminación del aire y de los impactos causados sobre la salud. Los vehículos automotores son responsables por el 99% de las emisiones de CO, el 54% de hidrocarburos y el 70% de NO_x en la Ciudad de México; el 96% del CO, el 90% de hidrocarburos, el 97 % del NO_x y el 86% del SO_2 en Sao Paulo; y el 94% de CO, el 83% de hidrocarburos y el 85% del NO_x en Santiago. Además, las emisiones causadas por las carreteras sin asfaltar y por la abrasión de los neumáticos son importantes fuentes de contaminación así como las emisiones de los gases del efecto invernadero (Banco Mundial, 1997).

De 1970 a 1990 el parque automotor de la región registro un gran crecimiento: tuvo un incremento de 250% aproximadamente, llegando a un total de 37 millones de vehículos. Con las nuevas políticas de liberalización de la economía, del comercio exterior y con la formación de distintos bloques de comercio en la región, se espera que el crecimiento del parque automotor se acelere aún más en las próximas décadas (Banco Mundial, 1997).

En Bogotá circulan la mitad de los vehículos con que cuenta actualmente el país, y según estudios recientes su parque automotor registra un crecimiento del 8 por ciento anual (Vega,2002). Las emisiones producidas por estas fuentes en el Distrito son del orden del 70% con relación a las demás fuentes, teniendo en cuenta que los sectores industriales, comercial y residencial consumen principalmente energía eléctrica, gas natural y otra fuentes alternativas menos causantes de polución[1], por lo cual se han adoptado políticas orientadas a reducir los niveles de contaminación y

[1] Colombiana de Hidrocarburos S. A 2002

elevar la calidad de vida. Sin embargo, como se muestra en la Figura 1, estas políticas parecen no tener efectividad en términos de los objetivos propuestos[2].

En el marco operativo, entre las medidas adoptadas se encuentran las normas sobre niveles permisibles de emisión de contaminantes, programas de inspección de vehículos y certificación de gases y otras medidas relacionadas con la calidad de los combustibles, con la gestión del transporte[3] y con la implementación de redes de monitoreo de la calidad del aire. Paralelamente, se han implementado un conjunto de medidas complementarias dirigidas específicamente a la educación de la ciudadanía, con el fin de desincentivar el uso del automóvil como medio de transporte. Entre ellas tenemos la promoción de ciclo rutas y las medidas de prohibición de circulación de vehículos públicos y particulares (Día sin carro y Programa pico y placa).

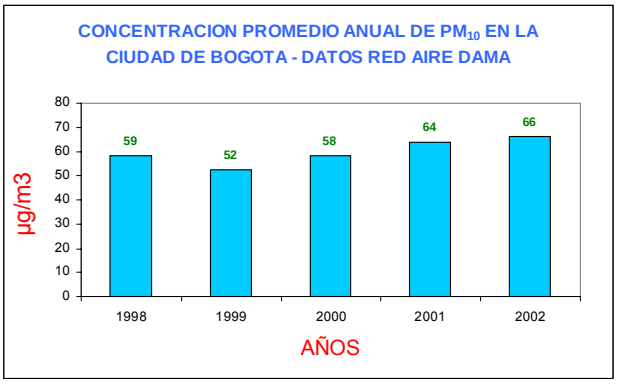
La cuantificación de la efectividad de una política para la reducción de la contaminación por fuentes móviles es necesaria en los procesos de optimización y asignación de recursos. Sin embargo, una de las limitaciones de realizar este tipo de análisis en PED (Países en Desarrollo), es obtener información de series de tiempo sobre parámetros ambientales. En el caso de Bogotá, los datos de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire (RMCAB) serán de gran ayuda en la formulación de políticas públicas y privadas, ya que con base en su anàlisis se podrán planificar las acciones y programas que permitan prevenir y controlar la contaminación del aire. Este artículo tiene como objetivo utilizar la información de la RMCAB para construir un modelo econométrico, que represente adecuadamente el movimiento cronológico de los contaminantes, de tal manera que sea posible realizar predicciones eficientes de las tendencias de los contaminantes y valorar la efectividad de las medidas de control.

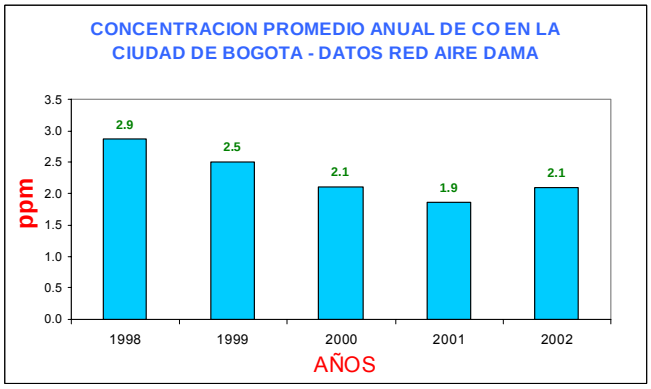
---

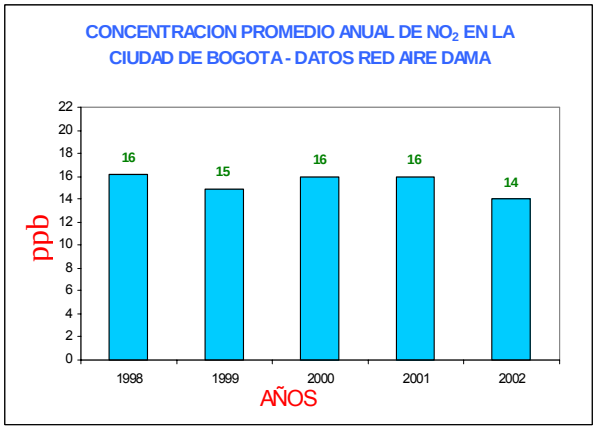
[2] De acuerdo con el DAMA, las Partículas Suspendidas Totales (PST) así como la fracción menor de 10 micras (PM_{10}) requieren atención prioritaria en la ciudad. Los niveles de ozono deben ser objeto de control dado que sus concentraciones exceden la norma. Las concentraciones de NO_x y las de CO se encuentran por debajo de la norma y su tendencia es a mantenerse estable, pero su concentración preocupa en ciertas zonas.

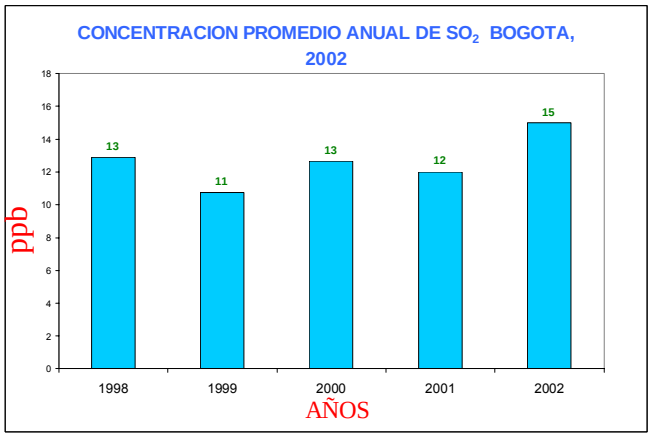
[3] El diseño, construcción y puesta en marcha de un nuevo medio de transporte colectivo como Transmilenio, ha sido parte fundamental de este trabajo.

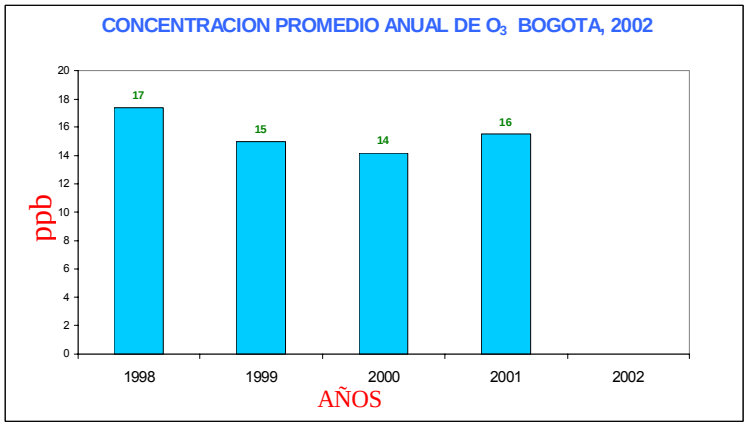
Figura 1. Evolución de la Concentración de los Contaminantes en Bogotá











µg/m^3 : Microgramos por contaminante por metro cúbico de aire
ppb : Partes por billón ppm : Partes por millón

Fuente: Red de Monitoreo de Calidad de Aire de Bogotá 2002

2. Modelo

2.1 Modelo Teórico

Cuando se abordan los temas de política ambiental, el enfoque tradicional considera al Estado como único agente capaz de inducir cambios en el comportamiento de los individuos por medio de un marco normativo compuesto por legislaciones, instituciones ambientales y actividades de control[4]. El supuesto básico es que la agencia estatal reguladora está interesada en maximizar el bienestar social o en satisfacer algún conjunto de criterios normativos que permiten mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y a la vez proteger los activos ambientales de la sociedad.

2.2 Modelo Econométrico para el análisis de intervención

El modelo empírico del análisis de intervención, desarrollado por Box y Tiao (1975) permite determinar el efecto de ciertas intervenciones[5] conocidas sobre una serie de tiempo, ayudando a establecer si hay un cambio en el nivel de la serie, si el cambio es de la forma esperada y si es así, qué podemos decir de la naturaleza y magnitud de ese cambio. Es posible con esta herramienta, cuantificar el efecto de una política sobre el nivel y sobre la estructura de una serie, lo que permite establecer controles y medir su efectividad.

En el análisis de intervención, las series son afectadas por fenómenos externos como cambios en las medidas de política económica, nuevas tecnologías o introducción de un impuesto, entre otros, por lo cual su efecto debe ser evaluado incorporando al modelo estimado variables artificiales, que de no incluirse, conducirían a sesgos en las estimaciones de los parámetros para la ecuaciones de pronóstico.

---

[4] Panayotou,Faris,Uribe, Duque y Galarza, 2003.

[5] Se denomina intervención a un evento externo, exactamente definido en el tiempo, que afecta el comportamiento normal de una serie o de un proceso estocástico.

En el caso de los estudios ecológicos es necesario la aplicación de procedimientos que permitan determinar si hay evidencia de cambios en los datos por los fenómenos externos o intervenciones incluidas, y si los cambios suceden durante el tiempo analizado.

Dentro de los procedimientos que durante muchos años han tenido un papel importante en estadística, se encuentran el test de Student (***t***), para estimación, y el test de cambio en nivel, pero estos no tienen relevancia en el marco del análisis de series de tiempo, ya que requieren supuestos que son inválidos en este contexto. En el caso de la prueba ***t*** para comparación de dos medias, (i) podría ser válida si las observaciones antes y después del evento de interés varían alrededor de sus medias μ_1 y μ_2 , con errores normales e independientemente distribuidos y con varianza constante, o (ii) si la aleatorizaciòn puede ser introducida dentro del proceso de generación de datos.

Usualmente, en el caso de series de tiempo económicas las observaciones son en muchos casos serialmente dependientes, frecuentemente no estacionarias y fuertemente estacionales. Por lo tanto, los procedimientos estadísticos ordinarios (paramétricos o no paramétricos) no son los adecuados, dado que requieren independencia y simetría especial en la función de distribución y además no han sido generados por aleatorizaciòn. El análisis de intervención permite realizar una prueba formal de un cambio en la media de la series de tiempo.

Para tener en cuenta los cambios en la serie, Box y Tiao (1975) introdujeron un modelo de la forma general, donde suponen que los datos Y_{t-1} , Y_t , Y_{t+1}, . . . están disponibles como una serie obtenida en periodos iguales de tiempo. La construcción de este modelo es necesariamente iterativa y aplica detalladamente los pasos de identificación, estimación y verificación de diagnóstico para su estabilización. El modelo es:

$$\mathbf{y_t = f(\kappa, \xi, t) + N_t}$$

donde:

$y_t = F(Y_t)$	Es alguna transformación apropiada de Y_t ,es decir Log Y_t, Y_t ½ o Y_t misma.
$f(\kappa, \xi, t)$	Función que incluye los efectos determinísticos del tiempo **t** y los efectos de la variable exógena **ξ** que representa una intervención particular o variables tales como las condiciones atmosféricas, patrón de tráfico o cantidad de vehículos entre otras.
κ	Sistema o Conjunto de parámetros.
N_t	Secuencia de variables normal e independientemente distribuidas, de media cero y varianza σ^2 " ruido blanco ".

Considerando el modelo lineal usado por Enders (1995), se puede expresar el modelo de Box y Tiao como un modelo general ARMA (p, q) de la forma:

$$y_t = a_o + A(L)\, y_{t-1} + c_o z_t + B(L)\, \epsilon_t \qquad (1)$$

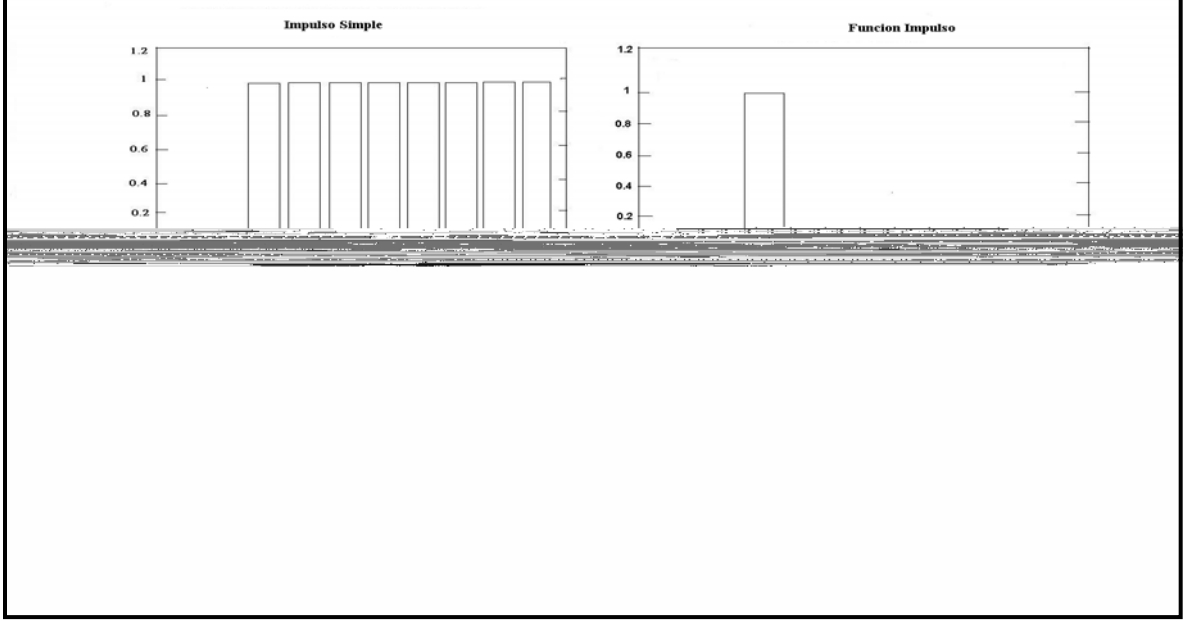
donde:

A(L) , B(L)	Polinomios en el operador de rezago L
ϵ_t	Error ruido blanco
z_t	Variable de intervención que toma valores de acuerdo al modelo de la función de intervención.

La variable z_t dentro del modelo explica la presencia de fenómenos exógenos en la serie de tiempo y se incorporan como variables *dummy* en la forma de impulsos, escalones o cambio gradual, que se utilizan para representar cambios temporales o permanentes en el nivel de las series debido a eventos especiales. Dependiendo del efecto que tenga el evento sobre la variable de estudio, hay varias posibilidades para modelar la función de intervención (Ver Figura 2). A continuación se describen las funciones de intervención típicas:

Función impulso simple: La función z_t es cero en todos los periodos anteriores a un periodo en particular, a partir del cual z_t toma el valor de uno. Afecta el componente tendencia de la serie.

Figura 2. Funciones de Intervención Típicas



Fuente: Enders 1995.

Función impulso: La función z_t es cero para todos los periodos, excepto en un periodo en particular en el cual z_t es la unidad. Esta función de impulso caracteriza mejor una intervención puramente temporal. Afecta el componente irregular de la serie.

Función de cambio gradual: Una intervención puede no alcanzar toda su fuerza inmediatamente. Este tipo de intervenciones pueden necesitar tiempo para desarrollarse completamente.

Función de impulso prolongado: En vez de comportarse como una función de impulso simple, en este caso esta función puede permanecer en un valor por uno o mas periodos y entonces comenzar a decaer.

Frecuentemente, la forma de la función de intervención debe ser escogida por el investigador a priori y, donde se considere que hay ambigüedad para su selección, debe realizarse la estimación con varias alternativas para la función de intervención y, utilizando los criterios de selección de modelos de Box - Jenkins estándar, escoger el modelo mas apropiado.

El modelo lineal de la ecuación (1) supone que los coeficientes no varían con la intervención. Una prueba adecuada de este supuesto consiste en estimar los modelos ARIMA (p,d,q) más apropiados para los periodos anteriores y posteriores a la intervención, si los modelos son muy diferentes es probable que los coeficientes de los términos autoregresivo y media móvil hayan cambiado, lo cual no es fácil de probar dado que por lo general no hay suficientes observaciones antes y después de la intervención para estimar los dos modelos por separado. Por lo anterior es necesario descartar esta prueba y escoger para el análisis el modelo ARIMA que mejor se ajuste al conjunto de datos. A continuación se detalla el procedimiento descrito por Enders (1995) para llevar acabo un estudio de intervención:

Paso 1: Estimar, para las series de tiempo de los contaminantes a modelar, un conjunto de modelos ARIMA adecuados, usando para ello la metodología Box – Jenkins. Para la estimación se realiza el siguiente procedimiento:

1. Identificación: Permite asegurar la estacionariedad[6] o no estacionariedad de la serie, identificar los parámetros p y q a través de los gráficos de la función de autocorrelación y autocorrelación parcial (correlogramas) y por último conocer el orden de integración o grado de diferenciación I(d) que se requiere para definir los modelos ARIMA a estimar, ejecutando para ello la prueba de raíz unitaria de Dickey – Fuller (DF) o alternativamente la prueba de Phillips - Perron (PP) (1989) para cambio estructural.

En caso de no cumplir con las características antes descritas, se dice que la serie de tiempo es no estacionaria. La función de autocorrelación muestral (ACF) en el rezago k es la razón entre la covarianza y la varianza muestrales y la gráfica resultante de ρ_k frete a k es el correlograma muestral. La función de autocorrelación parcial (PACF)

6 *Se dice que un proceso estocástico es estacionario si su media y su varianza son constantes en el tiempo y si el valor de la covarianza entre los dos períodos depende solamente de la distancia o rezago entre estos dos períodos de tiempo y no del tiempo en el cual se ha calculado la covarianza.* (Gujarati,1997,p.697).

ρ_{kk} mide la correlación entre observaciones que están separadas k períodos de tiempo manteniendo constantes la correlaciones en rezagos intermedios.

2. Estimación: Una vez identificado el orden de los parámetros p y q, se estiman los parámetros de los términos autorregresivo y media móvil incluidos en el modelo. El cálculo puede realizarse mediante mínimos cuadrados simples u otros métodos de estimación no lineal.

3. Verificación: Una vez estimado el modelo ARIMA, se debe verificar que sea el que mejor se ajuste al conjunto de datos. La prueba principal de selección del modelo se basa en los residuos, pero también se realiza el análisis de bondad de ajuste y el análisis de los parámetros.

Paso 2: Estimar varios modelos para la serie de tiempo de contaminación seleccionada, teniendo en cuenta el efecto de las intervenciones.

Paso 3: Es importante ejecutar el diagnóstico de las ecuaciones estimadas donde se ha incluido la intervención, debido a que las series de tiempo son una fusión de las observaciones anteriores y posteriores a la intervención. Un modelo adecuado presenta las siguientes características:

1. Los coeficientes estimados deben ser estadísticamente significativos a niveles convencionales y sencillos, con la menor cantidad posible de variables explicativas. Si los coeficientes no son significativos, deben considerarse modelos alternativos.

2. Los residuos deben ser aproximadamente ruido blanco, ya que si están serialmente correlacionados, los modelos estimados no siguen el proceso real de generación de datos y las predicciones no se pueden realizar utilizando toda la información disponible. Además, como los residuos no tienen una distribución normal, las pruebas usuales de inferencia estadística no son válidas. Si los errores

parecen ser ARCH, se debe reestimar el modelo de intervención como un proceso ARCH.

3. El modelo tentativamente seleccionado debería desempeñarse mejor que los modelos alternativos posibles, tomando en cuenta los criterios más importantes para el análisis, sin descartar definitivamente los otros modelos. Es importante estudiar modelos que incluyen diferentes tipos de función de intervención para modelar la variable exógena y, a partir de allí, analizar los resultados para seleccionar el mejor modelo.

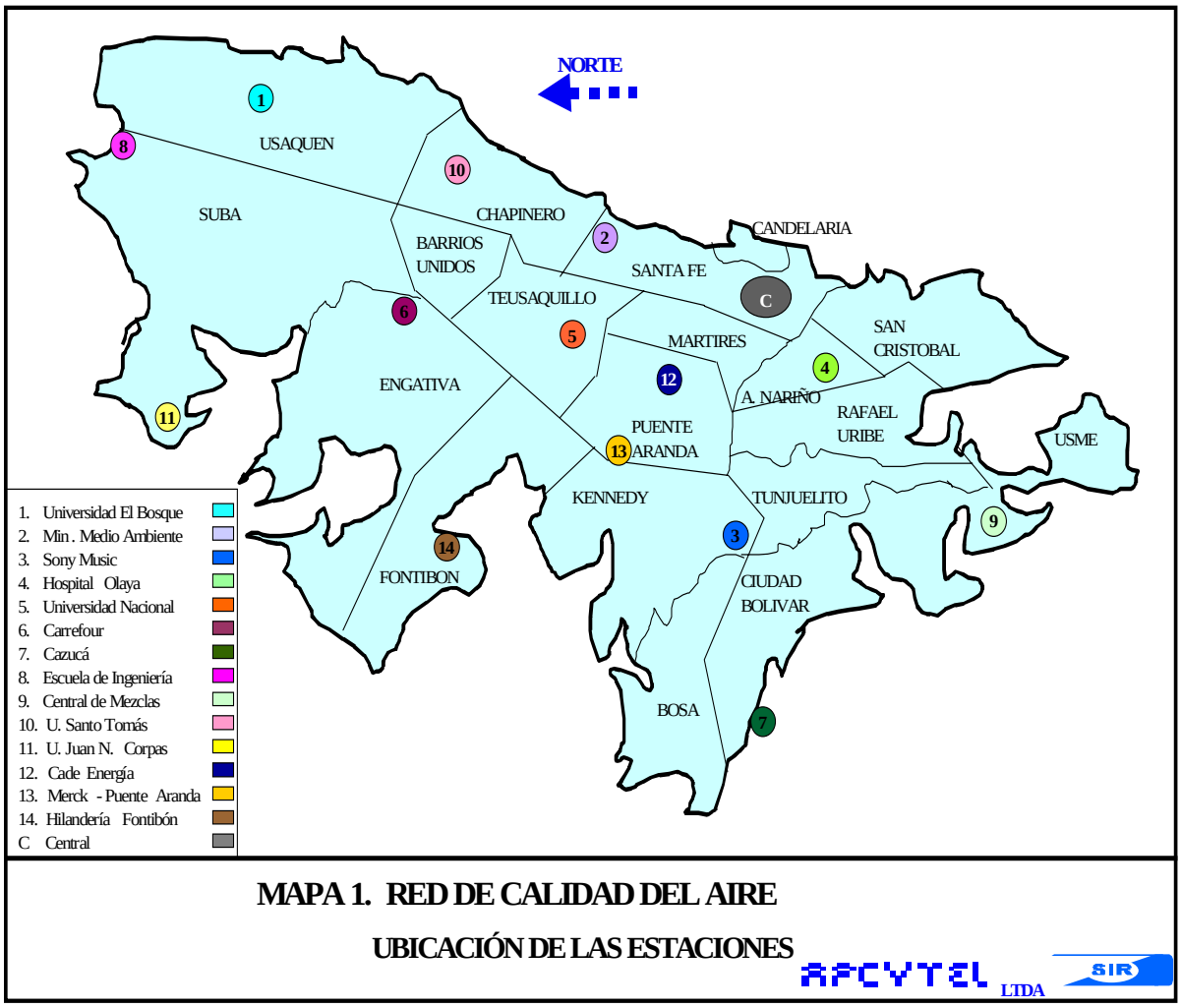
3. Datos

Los datos que se utilizan fueron proporcionados por el Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA, quien instaló y operó la red de monitoreo de la calidad de aire en la ciudad hasta el año 2002, fecha en la cual paso a ser manejada por el IDEAM. La red esta conformada por catorce (14) estaciones remotas que detectan en forma continua la concentración de los principales contaminantes en la ciudad y envían los datos a una estación central en la cual se valida y procesa la información, para la posterior elaboración de los informes. La ubicación de las estaciones y las características de las zonas de la ciudad donde se encuentran ubicadas se muestran en el Mapa 1 y en la Tabla 1. La Tabla 2 resume la información general por estación y los equipos de medición de calidad de aire y/o meteorológicos instalados en cada una de ellas. De acuerdo con información del DAMA, las estaciones cuentan con equipos que utilizan el método de muestreo puntual permanente, y otros que emplea el método DOAS (Absorción Espectrométrica Diferencial Óptica), que en conjunto se complementan para la obtención de los parámetros necesarios para determinar la calidad del aire en la ciudad.

Los bases de datos corresponden al período de agosto 1997 a junio 2002, ya que en el segundo semestre del 2002 se presentaron eventos como el desmonte de algunas estaciones y fallas de los equipos, que afectaron la operatividad normal de

la RMCAB. Los datos proporcionados incluyen mediciones horarias de parámetros ambientales como MP, CO, SO_x, O_3 , NH_4 y COV's[7] y parámetros meteorológicos como precipitación, velocidad del viento, dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión atmosférica y radiación solar.

Mapa 1. Ubicación de las estaciones de la red de calidad del aire.



Fuente: Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá 2002.

[7] Material particulado (MP), Monóxido de carbono (CO), Óxidos de azufre(SO_x), Ozono (O_3), Metano (NH_4

Tabla 1. Relación Estación y Zona Geográfica.

SECTOR	ESTACIÓN	CARACTERISTICAS
Norte	U. Bosque Escuela Ingeniería	Zona residencial de baja densidad poblacional y alto tráfico vehicular
Nor-occidental	Carrefour Calle 80 U. Corpas Fontibón	Alto tráfico vehicular y uso residencial y comercial
Sur	Hospital Olaya C. Mezclas	Alto tráfico vehicular, uso residencial, comercial
Sur-occidente	Sony Music Cazucá	Zona industrial con alto tráfico vehicular y uso residencial
Central	MMA Universidad Nacional U. Santo Tomás	Alto tráfico vehicular y uso residencial, comercial e institucional
Centro-occidente	Cade- Energía Merck	Zona industrial con alto tráfico vehicular y uso residencial

Fuente: Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá 2002.

TABLA 2. Estaciones y Sensores de la Red de Calidad del Aire.

ESTACION / CONTAMINANTE	No.1 U.BOSQUE	No. 2 MMA	No. 3 SONY	No. 4 H. OLAYA	No. 5 U. NACIONAL	No. 6 CARREFOUR-80	No. 7 CAZUCA	No. 8 ESC.INGENIERIA	No. 9 C.MEZCLAS	No. 10 U.STO. TOMAS	No. 11 U. CORPAS	No. 12 CADE E.	No. 13 MERCK	No.14 FONTIBON
LATITUD	04°42'44.3"	04°37'39.8"	04°35'55.5"	04°35'30.7"	04°38'38.3"	04°41'37.0"	04°35'51.7"	04°47'13.0"	04°33'24.7"	04°39'34.0"	04°45'55.4"	04°37'19.0"	04°38'04.8"	04°40'23.1"
LONGITUD	74°02'06.6"	74°04'14.1"	74°09'07.5"	74°05'19.9"	74°05'39.4"	74°05'09.5"	74°11'17.4"	74°02'52.0"	74°08'15.6"	74°03'35.0"	74°05'48.4"	74° 06' 05.2"	74°07'15.0"	74°08'42.2"
ALTITUD (msnm)	2,574	2,597	2,541	2,600	2,556	2,563	2,546	2,575	2,555	2,600	2,569	2,570	2,581	2,576
LOCALIDAD	Usaquén	Santa fe	Kennedy	Antonio Nariño	Teusaquillo	Engativá	Ciudad Bolivar	Suba	Ciudad Bolivar	Chapinero	Suba	Puente Aranda	Puente Aranda	Fontibón
DIRECCION	Trans.9 #133-95	Calle 37 #8-40	Auto.Sur #61-40	Carrera 10°	Inst.Estudios	Calle 81 #68-50	Calle 14 #6-54	Autopista Norte	Autopista a Llano	Cra.9 #72-90	Clinica Corpas	Calle 13 #37-35	Cra 65 #10-95	Cra 95 #24-49
				Esquina Av. 1°	Ambientales		Entrada 1 Cazucá	Km. 13	Calle 71A-90 Sur		Av Corpas Km 13			
PM 10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
PST	X		X				X					X		
CO		X	X	X			X				X		X	X
SO2	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X
NOx	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
O3		X	X	X	X		X				X		X	X
CH4		X	X			X		X						
BENCENO		X		X										
TOLUENO		X		X										
FORMALDEHIDO		X		X										
PRECIPITACION	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
DIRECCION VIEN.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
VELOCIDAD VIEN.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
TEMPERATURA						X					X		X	X
TEMP. 3 ALTURAS								X	X					
HUMEDAD RELAT								X	X					
PRESION ATM.								X	X					
RADIACION								X	X					
ORTOGONAL VIEN								X	X					

Fuente: Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá 1997.

Con base en los datos de la RMCAB y a través de la herramientas econométricas, es posible cuantificar la efectividad de las políticas para reducir la contaminación por fuentes móviles, para lo cual son necesarios los siguientes pasos:

1. Establecer los contaminantes que están ligados directamente con las fuentes emisoras(vehículos).

Los contaminantes del aire emitidos por vehículos automotores pueden agruparse en dos categorías primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son, entre otros: bióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), bióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), material particulado (MP) y plomo. Los contaminantes secundarios vinculados a la emisión de vehículos automotores son, entre otros: bióxido de nitrógeno (NO_2), oxidantes fotoquímicos (ozono entre otros), y los ácidos sulfúrico o nítrico y sus sales. El NO_2 se forma mediante la oxidación en el aire del óxido nítrico (NO), un contaminante gaseoso formado a altas temperaturas de combustión y liberado por los vehículos automotores. El ozono (O_3) se forma a partir de los NO_X y los HC reactivos en presencia de luz solar. El SO_2 y el NO_x pueden reaccionar con la humedad, el oxígeno y las partículas de la atmósfera, formando ácido sulfúrico o nítrico, o sus sales (Banco Mundial, 1997,p.15).

Según estudios realizados en Bogotá (Perfil Ambiental de Bogotá 1996), las fuentes móviles conformadas, en aquel entonces, por cerca de 685.000 vehículos generaban el 99 % de las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos y el 83% de los óxidos de nitrógeno. Las fuentes fijas, conformadas por más de 20.000 fuentes, aportaban el 86% de los óxidos de azufre y el 78% del material particulado. Las fuentes móviles, sobre todo los vehículos diesel, también emiten cantidades significativas de material particulado (Ver Tabla 3).

2. Determinar cuáles de estos contaminantes se encuentran en altas concentraciones en el medio ambiente, basándose en los datos obtenidos de los monitoreos realizados por la Secretaria de Salud del Distrito, JICA[8] y la RMCAB. Adicionalmente, es determinante para el análisis que estos contaminantes puedan ser asociados con el impacto de las diferentes intervenciones o políticas aplicadas.

Tabla 3. Estimación de emisiones según fuente de contaminación en Bogotá.

Fuente	**Partículas (Ton)**	**SO_2**	**NO_x**	**HC**	**CO**	**Total**
Industrias %	26760 78.6	24850 82.2	5581 15.7	303 0.3	543 0.04	58037 4.1
Transporte %	7190 21.1	4240 14.0	29.450 82.7	91620 99.6	1´211.670 99.9	1´344.170 95.7
Residencias %	100 0.3	1082 3.6	289 0.8	30 0.03	67 0.01	1568 0.1
Aviones %	- -	58 0.2	288 0.8	- -	- -	346 0.02
Total %	34050 2.4	30230 2.2	35608 2.5	91953 6.5	1´212.280 86.3	1´404.121 100

Fuente: Pérez Preciado, Alfonso. Perfil Ambiental de Bogotá 1996.

De los monitoreos realizados por la Secretaria de Salud y JICA, se encontró que el material particulado, las concentraciones de ozono, NO_2 y CO en el ambiente, sobrepasaban las normas de calidad del aire en determinados lugares y durante ciertos periodos (Banco Mundial,1997). Según los datos del DAMA, y atendiendo a las tendencias mostradas en el comportamiento de las concentraciones en los últimos cinco años, el PM_{10} y el O_3 deben ser objeto de control, dado que sus concentraciones exceden la norma y los contaminantes NO_x y el CO deben monitorearse para verificar que su tendencia se mantenga. De acuerdo con los criterios anteriores se eligieron para este estudio los contaminantes PM_{10} y O_3 teniendo en cuenta que:

[8] Japan Internation Cooperation Agency

Para el caso del PM_{10} , la responsabilidad de las fuentes móviles sobre este tipo de contaminación está demostrada[9]. Puede tener efectos negativos sobre la salud humana - fundamentalmente en términos de afecciones respiratorias -, dependiendo de su concentración y de los tiempos de exposición. Calcular los porcentajes de reducción de este contaminante por las medidas de intervención implementadas, ayudaría a estimar, a través de la reducción en consultas médicas por afecciones respiratorias, los ahorros anuales por este tipo de contaminación.

Para el caso del O_3 , aunque es un contaminante secundario, las concentraciones exceden la norma a nivel de superficie, y sus niveles son difíciles de disminuir, pues su formación resulta de las reacciones entre dos contaminantes (HC y NO_x) y de la intensidad de la radiación solar. Es muy común en las épocas de alto grado de radiación solar.

horas con mayor flujo de vehículos particulares (entre las 6:00 a.m. y 7:00 a.m.) (Reyes, 2000). Debido a que es una medida más de gestión de transporte que de disminución de la contaminación por fuentes móviles, la autoridad ambiental no tiene aún una evaluación de su impacto en la calidad de aire del distrito, pero se espera que esta medida tenga impactos en la disminución de los contaminantes ozono y monóxido de carbono.

- **Programa de Inspección y Mantenimiento (I/M)**

Los programas de I/M realizan mediciones periódicas de las emisiones de vehículos en uso, tomando como referencia la norma sobre emisiones establecida[10]. Estos programas está diseñados para proporcionar a las autoridades regulatorias una herramienta eficaz para hacer cumplir las normas, ejercen presión en los propietarios de los vehículos para el cumplimiento de las normas antes de la inspección y retiran de circulación a los vehículos muy contaminantes, es decir, a los que no pueden cumplir con la normatividad mediante el mantenimiento o las reparaciones.

Este programa se implementó en Bogotá en agosto de 2000 y se prevé que los ajustes de los motores, como resultado del programa, harán disminuir las emisiones de CO en un 45% y las de HC en 55% por vehículo.

- **Transmilenio**

Este proyecto se consolidó en el Plan de Desarrollo 1998 – 2001 con el apoyo de la Nación, como una alternativa de transporte masivo de bajo costo y alto impacto, y en diciembre de 2000 se dio inicio a su operación. Para el caso de Bogotá, se espera que con el cambio tecnológico en los buses, la eliminación de la sobreoferta, la reestructuración de rutas y la optimización operativa por la implantación de sistemas integrados de transporte masivo modernos, se reduzcan las emisiones de Monóxido de Carbono (CO) en aproximadamente 90%, de Hidrocarburos (HC) en 60% y

[10] Resolución No. 160 del 14 de junio de 1996 por medio de la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes producidos por las fuentes móviles con motor a gasolina y diesel.

Óxidos de Nitrógeno (NOx) en 50%. También se pronostican reducciones en las emisiones de otros gases como dióxido de azufre, material particulado (entre 30% y 70%) y ruido. La Tabla 4 resume las medidas de intervención que serán consideradas en el análisis.

Las estaciones seleccionadas como representativas para la realización del análisis fueron Universidad Nacional y Hospital Olaya, basándose en los siguientes criterios:

- Las estaciones deben monitorear los contaminantes seleccionados para el análisis.

- En lo posible, las estaciones de monitoreo deben estar ubicadas en zonas de alto flujo vehicular y, no estar influenciadas por fuentes fijas de contaminación (industrias, canteras, entre otras). Además, se eliminaron del análisis aquellas estaciones que, por su ubicación no se verían afectadas en forma representativa por las intervenciones a modelar, como la estación Universidad Corpas que se encuentra ubicada en Suba, donde no opera Transmilenio.

Tabla 4. Intervenciones para el Control de la Contaminación en Bogotá.

Medida	Fecha Implementación	Disminución Prevé
Pico y placa	31 julio 1998	La autoridad ambiental no tiene parámetros de reducción
Programa I/M	01 agosto 2000	*↓ CO 45 % ↓ HC 55 %
Trasmilenio	01 diciembre 2000	↓PM_{10} 30 -70 % ↓CO 90 % ↓HC 60 % ↓NO_X 50 %

Fuente: Elaboración propia.

* Disminución por vehículo.

- Las bases de datos seleccionadas deben ser completas, es decir, que cuenten por lo menos con el 75% del total de los datos que durante un año se puedan generar si no existieran interrupciones en el funcionamiento de los equipos[11] y que, a la vez, presenten continuidad en las mediciones durante el tiempo de funcionamiento de la red. En general, en todas las bases de datos la cobertura de la información es parcial y existen datos faltantes tanto a nivel de conjuntos de días contiguos, de días aislados y de las mediciones a través del mismo día. Los vacíos de información, en general, no son coincidentes en fecha a través de las estaciones de medición.

La Tabla 5 resume las estaciones, los contaminantes seleccionados para el análisis de intervención, los intervalos de monitoreo y el porcentaje de datos recolectados por estación. La estación Universidad Nacional, seleccionada para el análisis del contaminante ozono, presentó registros continuos hasta febrero de 2002, por lo que en esa fecha se interrumpió la serie.

Tabla 5. Estaciones y Contaminantes seleccionados para el análisis de intervención.

Contaminante	Estación	Intervalo Monitoreo	No. Datos Horarios Totales	No. Datos Faltantes	% Datos en base	Criterio Agregar
Ozono	U. Nacional	08/97 - 02/02	40151	2557	93.6	JICA 8:00-14:00
PM_{10}	H. Olaya	08/97 - 08/01	35807	3549	90.1	Hora x Hora

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de RMCA.

Los procedimientos de asignación de datos utilizan información histórica, regional y una combinación de ambas. En el Anexo 1 se documentan estos procedimientos.

[11] Si no se cumple este criterio la información y análisis deducidos a partir de los datos, solo serían indicativos del estado que guarda la calidad del aire. Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades Mexicanas, Semarap, Cenica, JICA 1997.

Una vez realizado el procedimiento de asignación de datos, es necesario seleccionar un adecuado criterio de agregación de las observaciones. El análisis de intervención se realizará con observaciones correspondientes a los promedios mensuales de las lecturas horarias de los contaminantes seleccionados, que, aunque ocultan en el conjunto los eventos erróneos y distorsiones sutiles de las mediciones[12], permite cuantificar el efecto de una política sobre el nivel medio y sobre la estructura de una serie, de tal manera que se logren establecer controles y medir su efectividad. Además, el impacto de las medidas analizadas y el comportamiento de las variables se logra observar más claramente en periodos mensuales que en mediciones diarias.

Es importante aclarar que, para la selección del criterio de agregación que se muestra en la Tabla 5, se tomaron aquellas horas del día en las que las condiciones atmosféricas o la influencia de las intervenciones produjeran cambios relevantes en el comportamiento de los contaminantes estudiados. Para el caso del ozono, se estudió su comportamiento entre las 8:00 de la mañana y las 2:00 de la tarde, por considerarse que en este lapso la radiación solar es un factor determinante en su concentración. Para el contaminante PM_{10} , la agregación se realizó tomando todas las horas del día para el promedio. Finalmente, con base en estos criterios, se construyeron las series de promedios mensuales de O_3 y PM_{10} de las estaciones seleccionadas que serán analizadas en el capítulo de resultados.

Teniendo en cuenta las medidas que se han adoptado para reducir los niveles de contaminación, a continuación se describen cada una de las variables indicadoras generadas para el análisis de intervención. Se definen para z_t intervalos en los cuales la serie está o no está intervenida, en los casos de la función de intervención simple y función de cambio gradual.

[12] Lo que implica sensibles diferencias en los resultados y aumenta la posibilidad de sesgar los estimadores.

1. Variable indicadora de la intervención Pico y Placa

La variable indicadora de la intervención pico y placa (o *dummy*) es z_t y el modelo de la función escogido es la de *impulso simple* debido a que z_t es cero en todos los periodos anteriores al 31 de julio de 1998, a partir del cual z_t toma el valor de uno. Se esta suponiendo que el efecto causado por la intervención afecta de forma inmediata y permanente la serie. Explícitamente esta variable se define así:

$$z_t = \begin{cases} 0 \text{ si } t < 31/07/98 \\ 1 \text{ si } t \geq 31/07/98 \end{cases}$$

2. Variable indicadora de la intervención Programa de Inspección y Mantenimiento (I/M)

La variable indicadora de intervención del programa de inspección y mantenimiento es z_t y el modelo de la función escogida es la de *cambio gradual*, lo anterior dado que esta intervención no alcanzó toda su fuerza de manera inmediata y necesitó tiempo para desarrollarse completamente. Explícitamente esta variable se define así:

$$z_t = \begin{cases} 0 \text{ si } t < 01/08/00 \\ 0.2 \text{ si } 01/08/00 \leq t \leq 31/12/00 \\ 1 \text{ si } t > 31/12/00 \end{cases}$$

3. Variable indicadora de la intervención Transmilenio

Actualmente el proyecto se encuentra en su primera fase de desarrollo, de la cual con la operación de las troncales Calle 80, Caracas y Autopista Norte, con una longitud total de 38 Km., se alcanzó el 30% de su operación a finales del 2002 y, en este año se espera que con la operación de la troncal Avenida de las Américas, se alcance el 39% de la operación con respecto al horizonte de diseño en el año 2015. Estos porcentajes se obtuvieron con base en la evaluación de los kilómetros de operación que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Kilómetros de Operación del Transmilenio

	AÑOS HORIZONTES		
	2005	2010	2015
Longitud de Troncales de Transmilenio	87 Km.	101.5 Km.	129.5 Km.
Número de Troncales de Transmilenio	6	7	9

Fuente: CEPAL, 2002.

La variable indicadora de esta intervención es z_t y el modelo de la función escogido es la de *cambio gradual*, ya que esta intervención no alcanza toda su fuerza inmediatamente y solo hasta el año 2015 se desarrollará completamente. Explícitamente esta variable se define así:

$$z_t = \begin{cases} 0 \text{ si } t < 01/12/00 \\ 0.2 \text{ si } 01/12/00 \leq t \leq 30/06/01 \\ 0.3 \text{ si } 30/06/01 \leq t \leq 28/02/02 \\ 0.39 \text{ si } t > 28/02/02 \end{cases}$$

Es importante anotar que para el análisis que nos ocupa solo será definida la variable de intervención Transmilenio hasta la fecha en la cual se realizarán las predicciones. Finalmente la Tabla 7 resume las variables indicadoras de cada una de las intervenciones.

Tabla 7. Variable Indicadora de las Intervenciones.

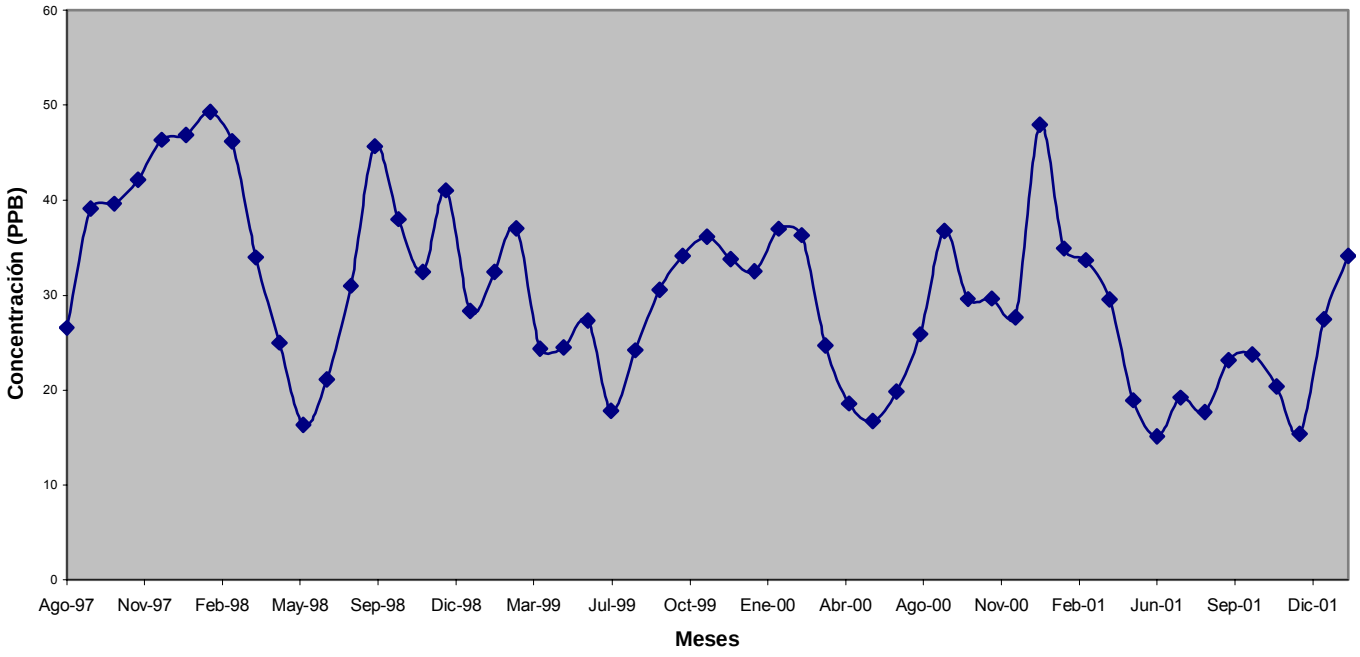
Medida	Función de Intervención	Variable Indicadora Intervención (z_t)
Pico y placa	Impulso Simple	$z_t = \begin{cases} 0 \text{ si } t < 31/07/98 \\ 1 \text{ si } t \geq 31/07/98 \end{cases}$
Programa I/M	Cambio Gradual	$z_t = \begin{cases} 0 \text{ si } t < 01/08/00 \\ 0.2 \text{ si } 01/08/00 \leq t \leq 31/12/00 \\ 1 \text{ si } t > 31/12/00 \end{cases}$
Trasmilenio	Cambio Gradual	$z_t = \begin{cases} 0 \text{ si } t < 01/12/00 \\ 0.2 \text{ si } 01/12/00 \leq t \leq 30/06/01 \\ 0.3 \text{ si } 30/06/01 \leq t \leq 28/02/02 \\ 0.39 \text{ si } t > 28/02/02 \end{cases}$

Fuente: Elaboración Propia.

4. Resultados

4.1 Serie Ozono, Estación Universidad Nacional

Gráfico 1. Promedios Mensuales de Lecturas Horarias de O_3 (ppb) Universidad Nacional(1997 - 2002)



El gráfico 1 corresponde a la serie de los promedios mensuales de lecturas horarias de ozono en la estación Universidad Nacional, en el periodo de agosto de 1997 a febrero del 2002. Esta serie sólo tiene en cuenta las mediciones realizadas entre las 8:00 de la mañana y las 2.00 de la tarde por ser las horas del día de mayor radiación solar, factor determinante en la concentración de ozono.

El valor medio de las primeras 12 observaciones mensuales desde agosto de 1997 hasta julio de 1998, periodo en el cual no hay intervenciones, es de 36.04 ppb. En el periodo de agosto de 1998 hasta noviembre de 2000, el promedio mensual disminuye en cerca de 5 ppb y en las últimas observaciones correspondientes al periodo entre diciembre de 2000 y febrero de 2002, el valor medio de la serie disminuye hasta alcanzar 25.92 ppb. La serie presenta una disminución de 28.08% en los promedios mensuales de las concentraciones de ozono.

Aun cuando este contaminante presenta las mayores variaciones y cambios en la escala global y regional, y localmente variaciones por las actividades propias de los centros urbanos, se espera a priori que su serie sea estacionaria, con algunas variaciones muy sutiles debido a la ausencia de estaciones marcadas dentro del territorio. Esta tendencia es apoyada por los resultados obtenidos por el análisis de las series de datos de ozono realizado por el IDEAM para el período 1979 – 1999.

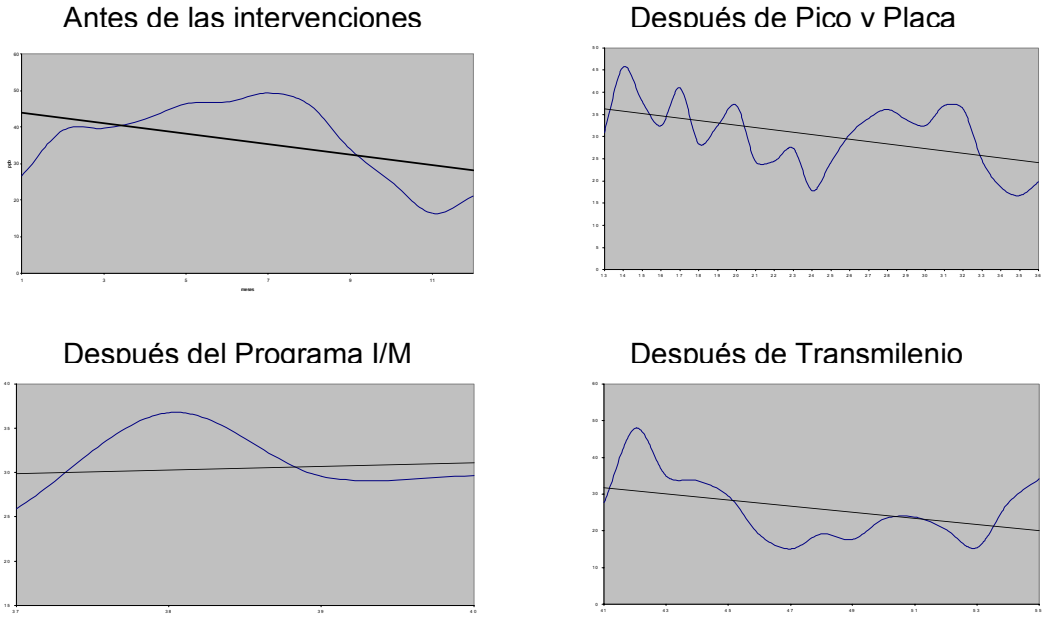
En el análisis gráfico de la serie se observa un comportamiento estacionario[13] tanto en media como en varianza, una tendencia decreciente lineal y de una componente aleatoria. Por otra parte, no se detecta ningún componente estacional[14] pero se observan puntos de mínima concentración cada 12 meses. Con respecto a las observaciones atípicas y de puntos extremos, los primeros meses de la serie presenta un pico, lo cual puede ser atribuido a la fase de calibración y puesta a punto de la red. Analizando la serie una vez implementadas las intervenciones como se

[13] La estacionariedad se comprobó usando la prueba de raíz unitaria de Dickey-Fuller para la cual se rechazo la hipótesis nula de no estacionariedad de la serie.
[14] Es un movimiento periódico que se produce dentro del año y que se repite de un año a otro. Esta componente está determinada por factores institucionales y climáticos (Banco Central de Costa Rica, 2002).

muestra en el gráfico 2, no se aprecian cambios en el nivel medio o en la estructura de la serie.

La primera etapa en el ajuste de un modelo ARIMA a una serie temporal es la identificación del mismo. Las principales herramientas para ello son la estimación de la función de autocorrelación y de autocorrelación parcial, cuyos gráficos se presentan en el Anexo 2. De su análisis se pueden inferir dos posibles especificaciones: Un modelo autorregresivo de orden 1 AR(1) y media móvil de orden 1 MA(1), y Un modelo autorregresivo de orden 1 AR(1).

Gráfico 2. Serie ozono sin y con intervenciones



Fuente: Elaboración Propia.

Las estimaciones por máxima verosimilitud (MV) de los modelos anteriores se presenta en la Tabla 8. De estos dos modelos, el segundo, además de satisfacer todos lo supuestos, según los criterios AIC y SBC[15], puede explicar mejor el comportamiento y las características de la serie ozono. El modelo AR(1) escogido

[15] Medidas de bondad de ajuste del modelo de regresión. Utilizados para escoger entre modelos que compiten.

indica que el nivel de concentración de ozono en el tiempo t depende de su valor en el período de tiempo anterior. No se consideran otros regresores pues este tipo de modelos intentan que la serie se explique por si misma.

Con el fin de realizar una valoración objetiva de las intervenciones sobre el nivel medio de concentración de ozono en el ambiente, se incorpora al modelo AR(1) variables que expliquen la presencia de fenómenos exógenos en las serie de tiempo, utilizado para ello las variables indicadoras de las intervenciones generadas anteriormente. Los resultados obtenidos de las estimaciones por MV muestran una estructura de autocorrelación en los rezagos 4 y 7, lo que indica que los residuos están serialmente correlacionados, por lo cual los modelos estimados no siguen el proceso actual de generación de datos.

Tabla 8. Resultados de las estimaciones por MV para ajuste del modelo de ozono.

Variable dependiente: concentración
Promedio Mensual de ozono

		Sin intervención		Con intervención
Variable		Coeficiente		Coeficiente
Intercepto	MU	30.27 (12.29)*	30.32 (11.33)*	33.43 (19.52)*
Media Móvil del orden 1	MA(1)	-0.20 (-1.04)	- -	- -
Autoregresivo de orden 1	AR(1)	0.56 (3.39)*	0.67 (6.63)*	0.72 (6.71)*
Autoregresivo de orden 2	AR(2)	-	-	-0.42 (-3.58)*
Autoregresivo de orden 4	AR(4)	-	-	-0.27 (-3.23)*
Autoregresivo de orden 7	AR(7)	-	-	-0.38 (-4.23)*
Intervención: Pico y placa		-	-	-7.0 (-4.31)*
Intervención: Programa I/M		-	-	18.04 (3.46)*
Intervención: Transmilenio		-	-	-64.0 (-4.60)*
Criterios				
AIC		371.29	370.79	347.50
SBC		377.31	374.80	363.55

* Significativo al 1% ** Significativo al 5% *** Significativo al 10% Valores t entre paréntesis

Dada la estructura de correlación presente en el modelo anterior, se seleccionó el modelo de mejor ajuste en este caso un AR(1), AR(2), AR(4), AR(7) al cual se le incluyeron todas las medidas por ser representativas sobre este tipo de contaminante. Esta estructura no corresponde a ningún modelo teórico estudiado y se puede interpretar como que la concentración de ozono en el tiempo t depende de su valor en el tiempo t -1, t -2, t -4 y t –7, lo que indicaría que las condiciones climáticas en esos meses fueron similares. Las estimaciones se realizaron inicialmente por MV, pero se complementaron con métodos adicionales como Mínimos Cuadrados Condicionados y No Condicionados que minimizan la función objetivo, en general la suma al cuadrado de los errores, para confirmar cualitativamente la adecuada estimación de los parámetros. Con base en las estimaciones, se obtienen los resultados para el modelo con intervenciones que se presenta en la Tabla 8.

Bajo la hipótesis que el estimador del parámetro de la intervención *inspección y mantenimiento* no tiene efecto de disminución sobre la serie de contaminación por ozono y que los estimadores de las intervenciones *pico y placa* y *Transmilenio* serían negativos y significativos por el porcentaje de reducción de las medidas sobre los precursores del ozono, los resultados muestran que los parámetros fueron significativos a niveles de significancia estándares y presentaron los signos esperados.

El valor inicial del impacto de esta medida esta dado por la magnitud del estimador, por lo cual se puede concluir que el efecto de la medida reduce la contaminación de ozono por mes si el estimador es negativo y estadísticamente diferente de cero. El valor negativo del parámetro sugiere que hay una disminución de 7 ppb en el nivel medio de la serie de ozono, lo cual representa una disminución de 21%. El valor medio esperado de la concentración se puede expresar como:

E (ppb ozono / piypla =1; Transmilenio = 0; I/M =0) = 33.43 – 7.0 = 26.43 ppb

Con respecto a las medidas *inspección y mantenimiento* y *Transmilenio*, que son medidas de intervención graduales, su efecto sobre el valor medio de la concentración depende del porcentaje de implementación de la medida.

En el caso del programa de *inspección y mantenimiento* el valor positivo del parámetro, una vez implementada la medida en un 20%, sugiere un incremento en el nivel medio de la serie de 3.6 ppb y posteriormente de 14.44 ppb cuando la medida ha sido implementada en su totalidad. Estos valores corresponden a unos porcentajes de incremento de la concentración de ozono de 13.62% y 48.08% respectivamente.

E(ppb ozono/ piypla =1; I/M =0.2) = 33.43 – 7.0 + 18.04 * (0.2) = 30. 03 ppb

E(ppb ozono/ piypla =1; I/M =1; Transmilenio= 0) = 33.43 – 7.0 +18.04*(1) = 44.47 ppb

Con la puesta en marcha de Transmilenio como una medida de gestión de transporte, los resultados indican que hay una disminución en el nivel medio de la serie, el cual depende del porcentaje de la medida implementada. Partiendo de un nivel medio de concentración de ozono de 44.47 ppb, inicialmente con un 20% de la medida implementada se alcanza una reducción de 28.78%, con un 30% de la medida una reducción de 43.18% y para un 39% de implementación de la medida, se alcanza una disminución de 56.13%. La Tabla 9 resume estos resultados.

E(ppb ozono/ piypla =1; I/M =1; Transmilenio= 0.2) = 33.43 – 7.0 +18.04*(1) – 64.0 *(0.20)
= 31.67 ppb

E(ppb ozono/ piypla =1; I/M =1; Transmilenio= 0.3) = 33.43 – 7.0 +18.04*(1) – 64.0 *(0.30)
= 25.27 ppb

E(ppb ozono/ piypla =1; I/M =1; Transmilenio= 0.39) = 33.43 – 7.0 +18.04*(1) – 64.0 *(0.39)
= 19.51 ppb

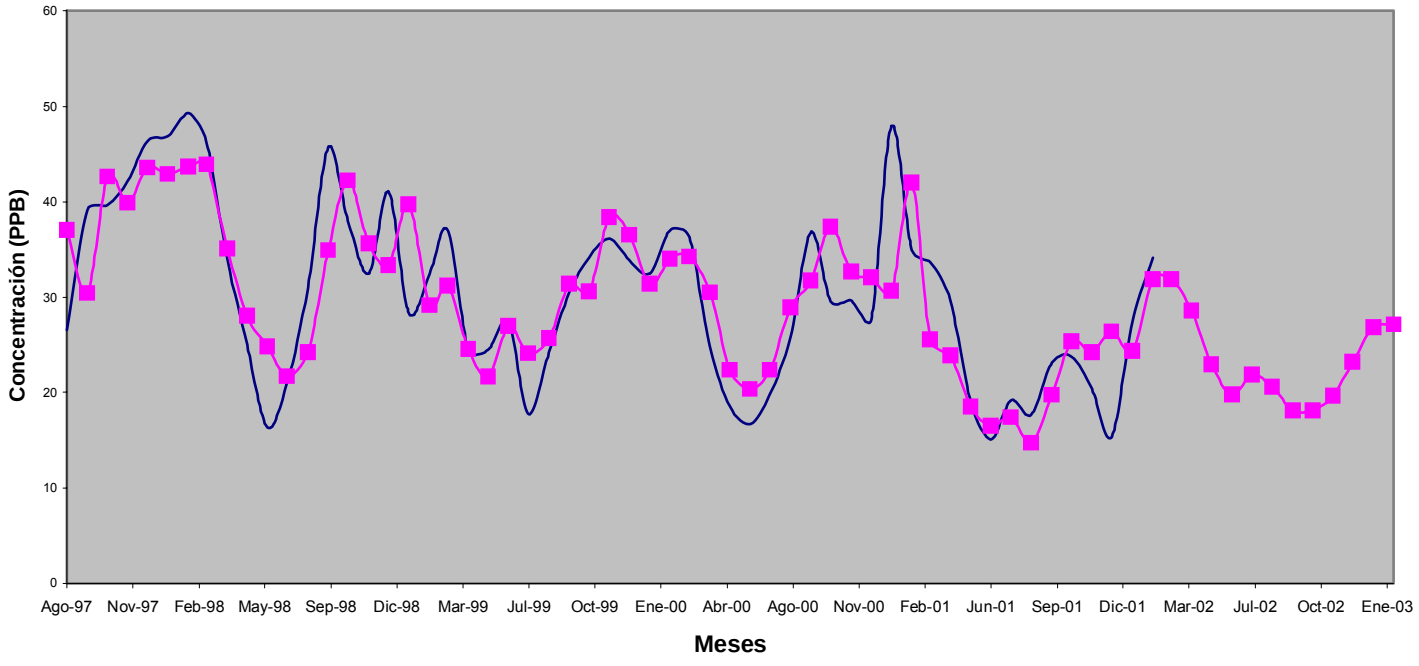
Empleando los valores ***p*** que aparecen en las pruebas de igualdad de varianza y de normalidad del Anexo 2, se concluye que ambos supuestos se satisfacen.

Tabla 9. Impacto de las intervenciones sobre concentración de ozono en Bogotá.

Medida	% Aplicación de la Medida	Variación concentración de O_3
Pico y Placa	100	Disminución del 21%
Programa I/M	20 100	Aumento del 13.62% Aumento del 48.08%
Transmilenio	20 30 39	Disminución del 28.78% Disminución del 43.18% Disminución del 56.13%

El gráfico 3 presenta el ajuste y las predicciones o pronósticos obtenidos con el modelo seleccionado. Este tipo de predicción se utiliza principalmente para predecir a corto plazo (de 1 a 4 trimestres), debido a su gran capacidad para recoger la dinámica en el comportamiento de la variable estudiada.

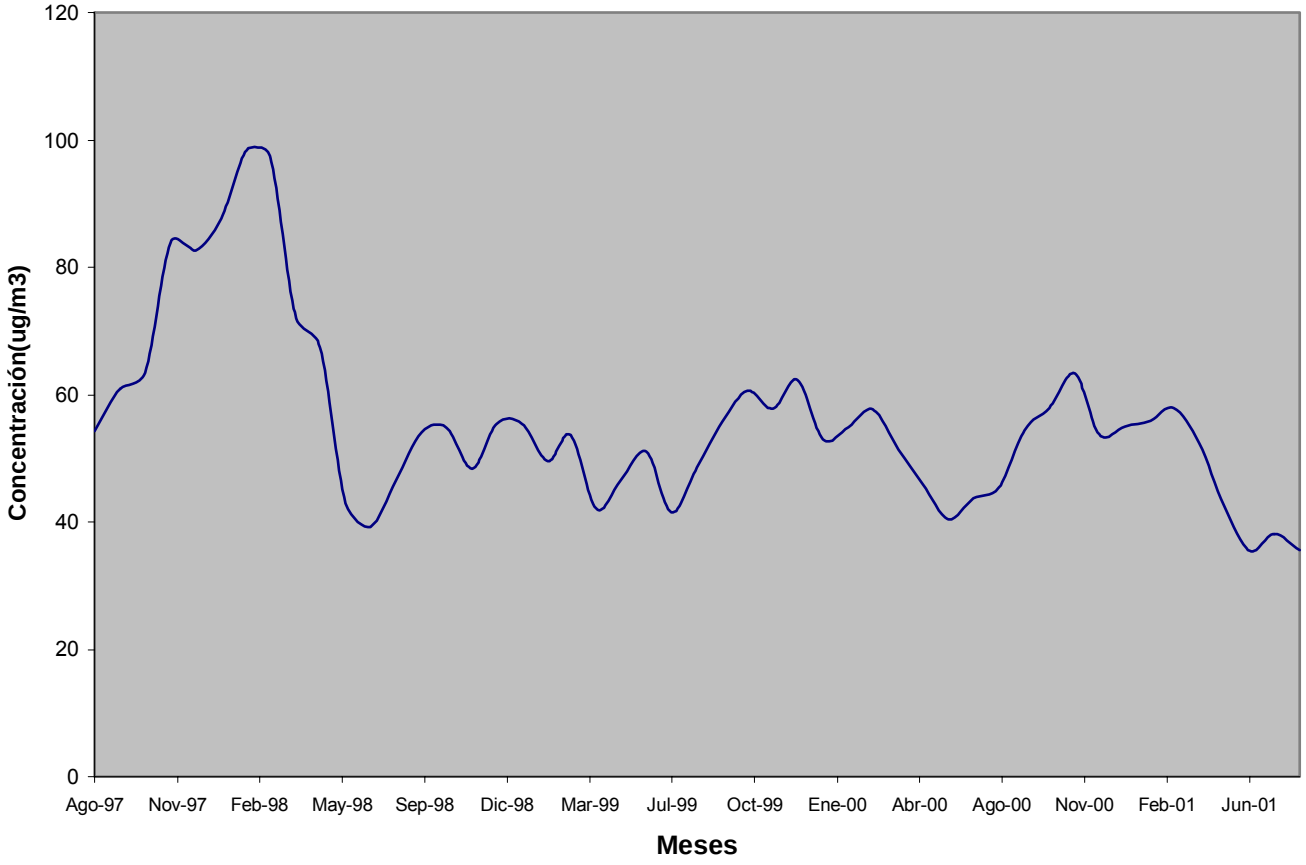
Gráfico 3. Serie y Predicciones de ozono con el modelo seleccionado.



Con el fin de establecer relaciones de la concentración de contaminación por ozono con otro tipo de variables exógenas que expliquen el comportamiento de la serie, se construyeron modelos con variables independientes asociadas al parque automotor, a los meses en forma individual y por grupos de aquellos que pertenezcan a una misma estación climática. En la mayoría de estos modelos, mostrados en el Anexo 4, los resultados obtenidos no concuerdan con el comportamiento teórico de la serie. La construcción de la variable parque automotor, sin embargo, permitió establecer su efecto sobre la concentración de ozono. El parámetro estimado para esta variable resultó ser positivo y significativo al 10%, pero presenta estructura de correlación en el rezago 12.

4.2 Serie PM_{10} ,Estación Hospital Olaya

Gráfico 4 . Promedios mensuales de lecturas horarias de PM_{10} (ug/m^3) Estación H. Olaya



El gráfico 4 corresponde a la serie de los promedios mensuales de lecturas horarias de PM_{10} en la estación Hospital Olaya, en el periodo de agosto de 1997 – agosto de 2001. Para este contaminante, la agregación de las observaciones se realizó tomando todas las horas del día para el promedio mensual. El valor medio de las observaciones de agosto de 1997 hasta noviembre de 2000, periodo en el cual no hay intervenciones, es de 51.86 ug/m^3. En el periodo de diciembre de 2000 hasta agosto de 2001 el promedio mensual disminuye a 47.41ug/m^3. La serie presenta una disminución de 8.58% en los promedios mensuales de las concentraciones de PM_{10}.

Del análisis gráfico de la serie, se observa un comportamiento estacionario tanto en media como en varianza, una tendencia lineal decreciente y no presenta patrones estacionales. Además, muestra la presencia de un componente aleatorio que representa los cambios que sufre la serie, ocasionados por fenómenos externos no controlables. Como en el caso anterior, la estacionariedad se comprobó usando la prueba de raíz unitaria de Dickey-Fuller para la cual se rechazó la hipótesis nula.

Para el ajuste del modelo ARIMA a una serie temporal, se utilizaron las funciones de autocorrelación y de autocorrelación parcial, cuyos gráficos se presentan en el Anexo 3. De su análisis, se pueden inferir dos posibles especificaciones: un modelo media móvil de orden 1 MA(1), y un modelo autorregresivo de orden 1 AR(1) y autorregresivo de orden 7 AR(7).

Las estimaciones para estos modelos se realizaron por máxima verosimilitud (MV) y se presentan en la Tabla 10, de ellas se concluye que el modelo AR (1) y AR(7) satisface todos lo supuestos y según los criterios AIC y SBC pueden explicar mejor el comportamiento y las características de la serie PM_{10}. Este modelo no tiene como sustento la teoría para explicar las causas de la correlación presente entre las observaciones en el tiempo t -1 y t –7. Lo que puede deducirse a partir de ello, es que en esos meses las características climatológicas fueron similares.

Para tener en cuenta el efecto de la puesta en marcha del sistema *Transmilenio* la serie de PM_{10} se divide en dos:

1) Período comprendido entre agosto de 1998 y noviembre de 2000, donde no hay medidas que afecten la concentración.
2) Período comprendido entre diciembre de 2000 y agosto de 2001, donde entra en funcionamiento el sistema *Transmilenio*.

El modelo escogido para incluir las intervenciones ayuda a determinar el efecto de la puesta en marcha de las medidas sobre la serie de PM_{10} , utilizando la función de cambio gradual para modelar la intervención *Transmilenio*. Las estimaciones para el modelo seleccionado se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de las estimaciones por MV para ajuste del modelo de Pm_{10}.

Variable dependiente: Concentración
Promedio Mensual Pm_{10}

		Sin intervenciones		Con intervenciones
Variable		Coeficiente		Coeficiente
Intercepto	MU	50.54 (33.02)*	50.84 (51.29)*	52.21 (58.70)*
Media Movil de ordenador 1	MA(1)	-0.57 (-3.84)*	- -	- -
Autoregresivo de orden 1	AR(1)	-	0.50 (3.72)*	0.42 (3.29)*
Autoregresivo de orden 7	AR(7)	-	-0.40 (-2.42)*	-0.47 (-3.17)*
Intervención: Transmilenio		-	-	-23.95 (-2.65)*
Criterios				
AIC		240.07	230.21	225.52
SBC		243.30	235.04	231.96

* Significativo al 1% ** Significativo al 5% *** Significativo al 10%
Valores t entre paréntesis

A niveles de significancia estándar, todos los parámetros son significativos y tienen el signo esperado. La concentración media en el ambiente del contaminante está dada por el valor del intercepto (52.21). El coeficiente negativo de la variable de

intervención indica la reducción en la concentración media de PM_{10} . La magnitud de la reducción dependen del grado de implementación de la medida y se pueden expresar como:

E ($\mu g/m^3$ PM_{10} / Transmilenio =0,20) = 52.21 – 23.95 * (0,20) = 47.42 $\mu g/m^3$
E ($\mu g/m^3$ PM_{10} / Transmilenio =0,30) = 52.21 – 23.95 * (0,30) = 45.02 $\mu g/m^3$
E ($\mu g/m^3$ PM_{10} / Transmilenio =0,39) = 52.21 – 23.95 * (0,39) = 42.87 $\mu g/m^3$

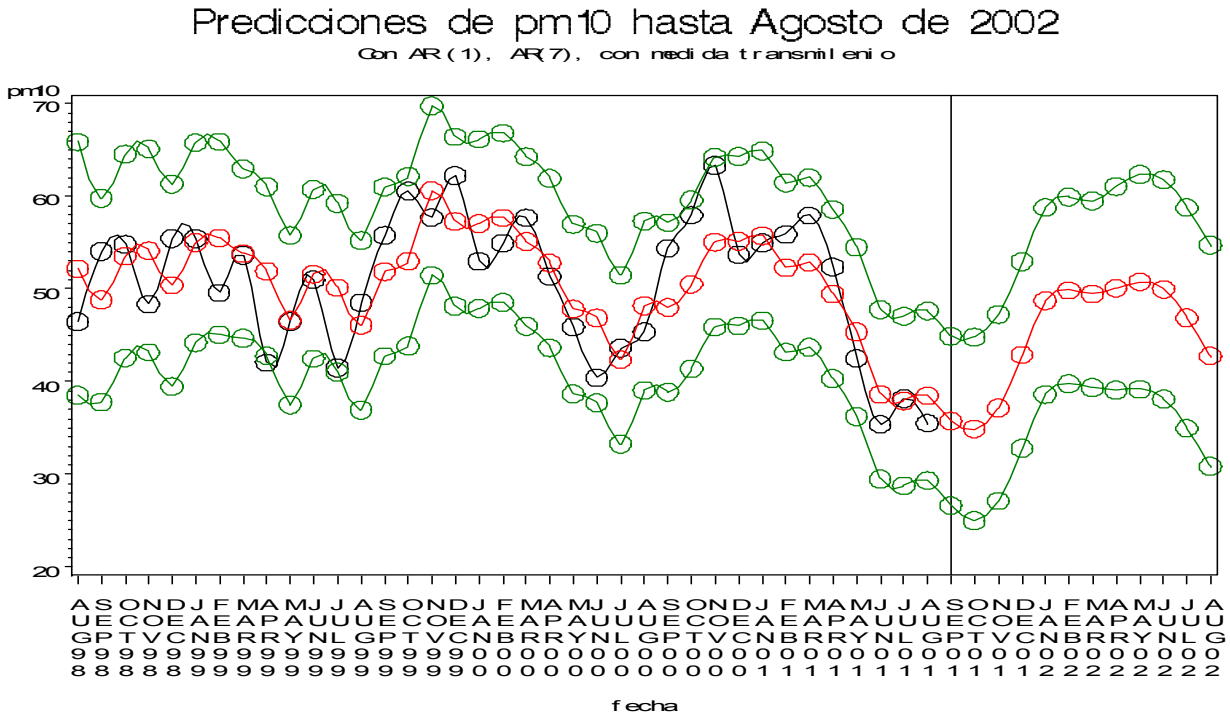
Los resultados resumidos en la tabla 11, muestran los porcentajes de reducción en la concentración promedio de PM_{10} por la intervención *Transmilenio*, teniendo en cuenta el porcentaje de implementación de la medida. En el estado actual, la medida reduce la contaminación en aproximadamente 18%, lo que representa una proporción adecuada de las reducciones esperadas.

Tabla 11. Impacto de la intervención Transmilenio sobre concentración de PM_{10} en Bogotá.

Medida	**% Aplicación de la Medida**	**Variación concentración PM_{10}**	**Reducciones esperadas (%)**
Transmilenio	20 30 39	Disminución de 9.17% Disminución de 13.77% Disminución de 17.89%	30 -70

Empleando los valores ***p*** que aparecen en las pruebas de igualdad de varianza y de normalidad del Anexo 3, se concluye que ambos supuestos se satisfacen. El gráfico 5 presenta el ajuste y las predicciones o pronósticos obtenidos con el modelo seleccionado.

Gráfico 5. Serie y Predicciones de PM_{10} con el modelo seleccionado.



5. Conclusiones.

Para el caso de Bogotá, medidas de gestión de transporte como *Pico y Placa* y *Transmilenio*, y en especial esta última, disminuyen considerablemente la concentración de contaminantes en el ambiente. Lo anterior, permite concluir que *Transmilenio* como medida de gestión de transporte, incide directamente en la disminución de la contaminación por fuentes móviles, por lo tanto, la reorganización integral del transporte público tendría un impacto significativo sobre la calidad de aire urbano.

En el caso de *Transmilenio*, los resultados del análisis sugieren que la disminución en el nivel medio de concentración de los contaminantes Ozono y PM_{10}, depende del porcentaje implementado de esta medida. La medida correspondiente al *Programa de Inspección y Mantenimiento*, no mostró evidencia de efectividad bajo este análisis.

Los resultados de este análisis podrían ser comparados y ratificados con la aplicación de un modelo fisicoquímico de calidad atmosférica, el cual incluya variables meteorológicas como dirección de los vientos, precipitación y radiación solar, lo cual se sugiere como trajo posterior.

En lo referente a la información generada por la RMCAB, es altamente recomendable implementar procedimientos para su validación y asignación de datos faltantes ya que, corregir los errores en los datos ocasiona costos adicionales de depuración o incorporan algunas veces diferencias importantes en los resultados.

La Universidad de los Andes y la École Polytechnique Féderal de Laussane están desarrollando un modelo que represente adecuadamente no sólo los cambios históricos sino espaciales de los contaminantes analizados, de tal manera que sea posible realizar una mejor predicción de sus tendencias.

Referencias.

Banco Mundial. 1997. Contaminación Atmosférica por vehículos automotor automotores. Experiencias recogidas en siete centros urbanos de América Latina. Washington

Box, G.E.P. and Tiao, G.C. 1975. Intervention analysis with applications to economic environmental problems. J. Amer.Statis.Assoc.,70. 70 – 79.

Box, G.E.P, Tiao, G.C, and Hamming, W.J., 1975. " Analysis of Los Angeles Photochemical Smog Data: A Statistical Overview," Journal of Air Pollution Control Association.

Broockwell, Peter J. and Davis, Richard A. Analysis of Series the Time.

Cenica, Jica, Semanap. 1998. Segundo informe sobre la calidad del aire en ciudades mexicanas 1997.

Cepal. 2002. Evaluación del Impacto Socioeconómico del transporte urbano en la ciudad de Bogotá. El caso del sistema de transporte masivo, Transmilenio. Serie Recursos Naturales e Infraestructura No. 48

Corporación Misión Siglo XXI. 1996. Perfil Ambiental de Santafé de Bogotá.

Correa Moreno, Emilia. 2000. Series de Tiempo, Conceptos Básicos, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias.
DAMA 1997 a 2002. Informes Anuales de Calidad del Aire

De Nevers, Noel. 1997 ”Ingeniería de control de la contaminación del aire”,Ed. Mac Graw Hill, Ciudad de México

Enders, Walter. 1995. Applied Econometric Time Series, Jhon Wiley & Sons, Inc.

Agencia de Cooperación Internacional de Japón, JICA. 1996. Estudio del Plan Maestro del Transporte Urbano en Santa Fé de Bogotá en la República de Colombia.

Ideam. 2002. Sistema de Información Ambiental de Colombia: Conceptos, Definiciones e Instrumentos de la Información Ambiental de Colombia.

Ideam. 2002. Sistema de Información Ambiental de Colombia: Perfil del Estado de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente en Colombia 2001.

Ideam. 2002. Sistema de Información Ambiental de Colombia: Primera Generación de Indicadores de la Línea Base de la Información Ambiental de Colombia.

Murtinho, Felipe. 2001. Los Problemas del uso de la bicicleta en Bogotá como medio alternativo de transporte. Tesis de la Universidad de los Andes.

Panayotou, Faris, Uribe, Duque, Galarza. 2003. Competitividad y Contaminación Industrial en la Región Andina. Corporación Andina de Fomento.

Reyes, Iván. 1999. Metodología para el análisis de la información de la red de calidad del aire de Santafé de Bogotá. Relaciones entre contaminantes atmosféricos. Análisis de la medida pico y placa. Tesis de la Universidad de los Andes.

Sharma Prateek, Khare Mukesh. 1999. Application of Intervention Analysis for Assessing the Effectiveness of CO Pollution Control Legislation in India. Transportation-Research:-Part-D:-Transport-and-Environment;4(6).

Vega, Lina Patricia. 2002. El Precio de la gasolina y su efecto sobre el nivel de emisiones por fuentes móviles en Santafé de Bogotá. Tesis de la Universidad de los Andes.

Anexos.

Anexo 1. Imputación de datos.

Las ausencias en los bancos de datos es un problema recurrente en todo tipo de estudios y áreas de la investigación, lo cual ha llevado al uso de técnicas no muy depuradas y que alteran en la mayoría de los casos los resultados, generando errores adicionales. Para la imputación de datos se utilizan diversas metodologías, para su selección hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones:

a) Cualquier método para asignar valores faltantes debe preservar las características principales del banco y ofrecer garantías de no disminuir los niveles de calidad del mismo.

b) Debe considerarse asimismo la posibilidad de trabajar con distintos niveles de precisión para imputar los valores faltantes.

c) La aplicación de técnicas sencillas y poco costosas (interpolación lineal, sustitución por el más próximo) deben ser evaluadas, sustentadas y documentadas en el trabajo final.

1. Metodología para la imputación de datos

Entre las metodologías de imputación de datos que se pueden aplicar a este análisis encontramos:

<u>1.1 Métodos en los que se tiene en cuenta únicamente la información histórica</u>

Se entiende por ello, que se está imputando usando exclusivamente datos provenientes del análisis de la serie temporal de la propia estación.

1.1.1 Por interpolación temporal entre registros.

Cuando falte el dato correspondiente a un día determinado se buscan los días anterior y posterior más próximos, en los que se tenga dato medido en esa estación, y se interpola linealmente.

1.1.2 Imputación - Dinámica ("Hot - Deck").

Básicamente, en el método de asignación dinámica se usa la información conocida acerca de individuos con características similares para determinar la información "más apropiada" cuando se desconoce parte (o partes) de una información similar sobre otros individuos.

1.1.3 Promedio global de la estación.

Los datos del parámetro determinado son considerados como una serie temporal, cuyo promedio en el período es el valor que se utilizará para imputar todas las ausencias correspondientes a la estación. Se tendrá pues una constante por estación, con la que se rellenarán los datos faltantes en la misma.

1.1.4 Valor aleatorio sorteado *uniformemente* entre los registros disponibles de la estación.

Este método imputa un valor elegido al azar dentro de los registros históricos conocidos correspondientes a dicha estación.

1.2 Métodos en los que se tiene en cuenta únicamente la información regional

En este caso, se utiliza únicamente información recabada simultáneamente, sin usar información de los días precedentes.

1.2.1 Vecino geográficamente más cercano.

Por este método, dada la ausencia el día h para la estación j y dados los registros disponibles de las otras estaciones de esa misma zona para ese día, se imputa el valor correspondiente a la que está más próxima a la estación j (desde un punto de vista geográfico).

1.2.2 Vecino más cercano

1.2.5 Mínimo Error Promedio.

El objetivo del método es imputar los datos de las estaciones ausentes minimizando el promedio del error absoluto.

1.2.6 Métodos de Imputación basados en redes neuronales.

Se intentará predecir en el instante t, el valor de la variable en la estación j utilizando la información de las demás estaciones también en el instante t.

1.3 Métodos en los que se tiene en cuenta la información regional e histórica.

En este caso, se utilizan simultáneamente datos del mismo día de la ausencia, y, eventualmente, de fechas previas. En el procedimiento del Promedio Ponderado Arbitrariamente, se considera la serie temporal del promedio diario de los datos tomando las n estaciones consideradas. Se usa como método de imputación una media ponderada de la variable evaluada en el día anterior, el posterior, el ante-anterior y el post-posterior al día con ausencia, usando como coeficientes de ponderación las autocorrelaciones obtenidas.

En la Tabla 1 se resumen las principales metodologías para la imputación de datos, sus características principales, además de los procedimientos más utilizados en cada caso.

Tabla 1.1 Metodologías de imputación de datos faltantes

Método Imputación	Característica	Procedimientos
Información Histórica	Imputación usando exclusivamente datos provenientes del análisis de la serie temporal de la propia estación.	• Interpolación temporal entre registros • Imputación - Dinámica • Promedio global de la estación • Valor aleatorio sorteado *uniformemente* entre registros de la estación
Información Regional	Se utiliza únicamente información recabada simultáneamente, sin usar información de los días precedentes.	• Vecino geográficamente más cercano • Vecino más cercano *por Criterio de Expertos* • Promedio espacial correspondiente al día de la ausencia • Mínimos Cuadrados • Mínimos Error Promedio • Métodos de Imputación basados en redes neuronales
Información Regional e Histórica	Se utilizan simultáneamente datos del mismo día de la ausencia, y, eventualmente, de fechas previas.	• Promedio Ponderado Arbitrariamente

Fuente: Elaboración propia a partir de paper imputación datos.

1. Imputación de datos de Ozono Estación Universidad Nacional

Del análisis de los datos horarios de ozono de las estaciones MMA y Universidad Nacional para el período referido, se constató que aunque ambas cumplían con el criterio de contener el 75% de las observaciones de todo el periodo de muestreo, la estación Universidad Nacional contiene la mayor cantidad de observaciones horarias válidas, por lo cual se selecciono para el estudio.

Estación	No. Mediciones Horarias Totales	No. Mediciones Horarias Válidas *	% Mediciones Válidas	No. Datos Horarios Faltantes
U. Nacional	40151	37594	93.63	2557
MMA	37933	32933	86.68	5060

*****Se considera una medición horaria válida si la bandera de identificación tiene el carácter V o <.

Dada la necesidad de tener una base de datos sin ausencias para generar la serie de tiempo y debido a que la imputación de los datos faltantes sin un criterio adecuado podría incorporar errores relevantes en la estimación, se escogieron dos procedimientos para asignar los datos ausentes de la estación Universidad Nacional:

a. Por interpolación temporal entre registros. En este caso se tuvo en cuenta únicamente la información proveniente del análisis de la serie temporal de la propia estación. Con el comando CROP de SAS se agruparon los datos de la estación por hora, de tal forma que una vez agrupados se pudiera utilizar el comando *expand* para expandir linealmente los datos dada la similitud que deben presentar las mediciones por hora en una misma estación, aún cuando varíen las condiciones metereológicas.

b. Vecino más cercano por criterio de expertos. Dada la ausencia de 2557 observaciones de la estación Universidad Nacional y basados en este criterio, se asignaron los datos faltantes utilizando la información de la estación más próxima MMA. Este criterio es relevante en nuestro caso debido a que se trata de una medición de un mismo contaminante, en un mismo horario, con un equipo de igual base analítica y, por la cercanía de las estaciones, presenta condiciones metereológicas aproximadas a la de la zona de estudio. Asignados los datos ausentes de la estación MMA, la base tiene un faltante de 552 datos, por lo cual se utilizó un comando de SAS que permite expandir linealmente y disminuir el error de interpolar datos sin ningún criterio.

Con los datos así obtenidos se generaron las series de tiempo horaria para el análisis de intervención, previa selección del criterio de agregación. Los dos procedimientos de imputación utilizados fueron consistentes, dada la similitud encontrada una vez graficadas las series. Finalmente se selecciono el criterio del vecino más cercano como el indicado para el estudio a realizar en el caso del contamínate ozono.

2. Imputación de datos de Material Particulado (PM_{10}) Estación Hospital Olaya.

En este caso se utilizó para la asignación de datos faltantes el procedimiento de interpolación temporal entre registros, teniendo en cuenta únicamente información de la propia estación. Se agruparon los datos de la estación por hora y posteriormente se interpolaron linealmente los valores faltantes.

Anexo 2. Análisis Serie de Tiempo contaminante Ozono Estación U. Nacional

Autocorrelations

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     84.185141        1.00000    |                    |********************|             0
  1     56.808951        0.67481    |               .    |*************       |      0.134840
  2     31.775745        0.37745    |             .      |********            |      0.186388
```

Prueba de Raíz Unitaria

Obs	_TYPE_	_STATUS_	_DEPVAR_	_NAME_	_MSE_	Intercept	AR_V	time	DLAG_V
1	OLS	0 Converged	AR_V		42.8407	28.0765	-1	-0.19414	-0.74626
2	COV	0 Converged	AR_V	Intercept	42.8407	48.5004	.	-0.46084	-1.12879
3	COV	0 Converged	AR_V	time	42.8407	-0.4608	.	0.00663	0.00885
4	COV	0 Converged	AR_V	DLAG_V	42.8407	-1.1288	.	0.00885	0.02871
5	COV	0 Converged	AR_V	AR_V1	42.8407	0.6518	.	-0.00522	-0.01633
6	COV	0 Converged	AR_V	AR_V2	42.8407	0.5630	.	-0.00416	-0.01430
7	COV	0 Converged	AR_V	AR_V3	42.8407	0.4639	.	-0.00322	-0.01211

Obs	AR_V1	AR_V2	AR_V3	_NOBS_	_TAU_	_TREND_	_DLAG_	PVALUE_
1	0.38890	0.25071	0.28126	51	-4.40437	2	1	.004946115
2	0.65180	0.56297	0.46392	51	-4.40437	2	1	.004946115
3	-0.00522	-0.00416	-0.00322	51	-4.40437	2	1	.004946115
4	-0.01633	-0.01430	-0.01211	51	-4.40437	2	1	.004946115
5	0.02490	0.00905	0.00829	51	-4.40437	2	1	.004946115
6	0.00905	0.02353	0.00662	51	-4.40437	2	1	.004946115
7	0.00829	0.00662	0.02080	51	-4.40437	2	1	.004946115

Maximum Likelihood Estimation MA(1) AR(1)

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|	Lag
MU	30.27724	2.46322	12.29	<.0001	0
MA1,1	-0.20634	0.19758	-1.04	0.2963	1
AR1,1	0.56041	0.16542	3.39	0.0007	1

Constant Estimate	13.3096
Variance Estimate	47.16882
Std Error Estimate	6.867956
AIC	371.593
SBC	377.615
Number of Residuals	55

Autocorrelation Check of Residuals

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	Autocorrelations						
6	4.06	4	0.3977	0.009	0.057	0.045	-0.150	-0.136	0.137
12	13.55	10	0.1945	-0.181	-0.119	-0.061	0.060	0.027	0.283
18	16.28	16	0.4335	0.113	0.027	0.058	-0.130	0.007	-0.035
24	22.99	22	0.4021	-0.072	-0.131	-0.136	0.005	0.160	0.071

Autocorrelation Plot of Residuals

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     47.168822        1.00000    |                    |********************|             0
  1      0.438757        0.00930    |                .   |    .               |      0.134840
  2      2.682696        0.05687    |                .   |*   .               |      0.134852
  3      2.127569        0.04511    |                .   |*   .               |      0.135287
  4     -7.066189        -.14981    |                . ***|    .               |      0.135560
  5     -6.417344        -.13605    |               .  ***|     .              |      0.138538
  6      6.467861        0.13712    |               .     |***  .              |      0.140946
  7     -8.532725        -.18090    |               . ****|     .              |      0.143351
  8     -5.619803        -.11914    |               .   **|     .              |      0.147443
  9     -2.860336        -.06064    |               .    *|     .              |      0.149183
 10      2.837653        0.06016    |               .     |*    .              |      0.149631
 11      1.288237        0.02731    |               .     |*    .              |      0.150070
 12     13.359192        0.28322    |               .     |******              |      0.150160
 13      5.318618        0.11276    |               .     |**   .              |      0.159577
```

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1        0.00930    |               .    |    .               |
  2        0.05679    |               .    |*   .               |
  3        0.04422    |               .    |*   .               |
  4       -0.15452    |               . ***|    .               |
  5       -0.14229    |               . ***|    .               |
  6        0.16207    |               .    |*** .               |
  7       -0.16084    |               . ***|    .               |
  8       -0.16074    |               . ***|    .               |
  9       -0.09268    |               .  **|    .               |
 10        0.14180    |               .    |*** .               |
 11        0.03698    |               .    |*   .               |
 12        0.17957    |               .    |****.               |
 13        0.10559    |               .    |**  .               |
```

Maximum Likelihood Estimation AR(1)

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|	Lag
MU	30.32161	2.67509	11.33	<.0001	0
AR1,1	0.66708	0.10065	6.63	<.0001	1

Constant Estimate	10.09477
Variance Estimate	47.34508
Std Error Estimate	6.880776
AIC	370.7952
SBC	374.8099
Number of Residuals	55

Autocorrelation Check of Residuals

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	Autocorrelations					
6	4.96	5	0.4210	0.114	-0.001	0.004	-0.188	-0.138	0.114
12	15.92	11	0.1441	-0.171	-0.163	-0.073	0.046	0.064	0.298
18	19.00	17	0.3284	0.144	0.029	0.035	-0.128	-0.007	-0.026
24	28.69	23	0.1907	-0.082	-0.157	-0.158	0.010	0.175	0.124

Autocorrelation Plot of Residuals

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     47.345082        1.00000    |                    |********************|             0
  1      5.391425        0.11388    |               .    |**  .               |      0.134840
  2     -0.066708        -.00141    |               .    |    .               |      0.136577
  3      0.191509        0.00404    |               .    |    .               |      0.136578
  4     -8.898386        -.18795    |              .****|    .               |      0.136580
  5     -6.546215        -.13827    |             .  ***|     .              |      0.141204
  6      5.406518        0.11419    |             .     |**   .              |      0.143644
  7     -8.104627        -.17118    |             .  ***|     .              |      0.145286
  8     -7.714309        -.16294    |             .  ***|     .              |      0.148908
  9     -3.437649        -.07261    |             .    *|     .              |      0.152115
 10      2.162467        0.04567    |             .     |*    .              |      0.152744
 11      3.015610        0.06369    |             .     |*    .              |      0.152992
 12     14.119967        0.29824    |             .     |******              |      0.153473
 13      6.798732        0.14360    |            .      |***   .             |      0.163671
```

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1        0.11388    |               .    |**  .               |
  2       -0.01457    |               .    |    .               |
  3        0.00594    |               .    |    .               |
  4       -0.19165    |               .****|    .               |
  5       -0.09930    |               .  **|    .               |
  6        0.14425    |               .    |*** .               |
  7       -0.21067    |               .****|    .               |
  8       -0.16687    |               . ***|    .               |
  9       -0.09344    |               .  **|    .               |
 10        0.11366    |               .    |**  .               |
 11        0.01593    |               .    |    .               |
 12        0.18702    |               .    |****.               |
 13        0.08909    |               .    |**  .               |
```

ANALISIS DE INTEVENCION
Maximum Likelihood Estimation AR(1) AR(2) AR(4) AR(7) PIY PLA I/M TRANSMILENIO

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|	Lag	Variable	Shift
MU	33.43290	1.71288	19.52	<.0001	0	ppbm	0
AR1,1	0.72475	0.10798	6.71	<.0001	1	ppbm	0
AR1,2	-0.41917	0.11710	-3.58	0.0003	2	ppbm	0
AR1,3	-0.27992	0.08663	-3.23	0.0012	4	ppbm	0
AR1,4	-0.38600	0.09125	-4.23	<.0001	7	ppbm	0
NUM1	-7.00468	1.62623	-4.31	<.0001	0	piypla	0
NUM2	-64.21534	13.95786	-4.60	<.0001	0	trans	0
NUM3	18.04921	5.21428	3.46	0.0005	0	im	0

Constant Estimate	45.48013
Variance Estimate	26.71625
Std Error Estimate	5.168777
AIC	347.5007
SBC	363.5593
Number of Residuals	55

Autocorrelation Check of Residuals

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	Autocorrelations					
6	4.38	2	0.1117	-0.080	-0.139	0.077	-0.092	-0.138	0.112
12	8.66	8	0.3716	0.051	-0.102	-0.145	0.050	-0.152	-0.048
18	13.26	14	0.5063	0.035	0.040	0.093	-0.146	0.062	0.140
24	15.85	20	0.7259	-0.025	-0.138	0.003	-0.040	0.012	0.082

Autocorrelation Plot of Residuals

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     26.716253        1.00000    |                    |********************|             0
  1     -2.132754        -.07983    |               .  **|    .               |      0.134840
  2     -3.712005        -.13894    |               . ***|    .               |      0.135697
  3      2.052300        0.07682    |              .     |**   .              |      0.138259
  4     -2.462244        -.09216    |              .   **|     .              |      0.139033
  5     -3.693598        -.13825    |              .  ***|     .              |      0.140139
  6      2.980523        0.11156    |              .     |**   .              |      0.142598
  7      1.354489        0.05070    |              .     |*    .              |      0.144176
  8     -2.724160        -.10197    |              .   **|     .              |      0.144500
  9     -3.877483        -.14514    |              .  ***|     .              |      0.145802
 10      1.324441        0.04957    |              .     |*    .              |      0.148405
 11     -4.056087        -.15182    |              .  ***|     .              |      0.148706
 12     -1.281048        -.04795    |              .    *|     .              |      0.151498
 13      0.924304        0.03460    |              .     |*    .              |      0.151774
```

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1       -0.07983    |               .  **|    .               |
  2       -0.14625    |               . ***|    .               |
  3        0.05392    |               .    |*   .               |
  4       -0.10424    |               .  **|    .               |
  5       -0.14129    |               . ***|    .               |
  6        0.05945    |               .    |*   .               |
  7        0.03889    |               .    |*   .               |
  8       -0.07133    |               .   *|    .               |
  9       -0.19532    |               .****|    .               |
 10       -0.00811    |               .    |    .               |
 11       -0.16922    |               . ***|    .               |
 12       -0.08513    |               .  **|    .               |
 13       -0.10578    |               .  **|    .               |
```

The UNIVARIATE Procedure
Variable: (ppbm)

Moments

N	55	Sum Weights	55
Mean	30.3193091	Sum Observations	1667.562
Std Deviation	9.25981238	Variance	85.7441252
Skewness	0.2350351	Kurtosis	-0.7463926
Uncorrected SS	55189.5105	Corrected SS	4630.18276
Coeff Variation	30.5409742	Std Error Mean	1.24859285

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	30.31931	Std Deviation	9.25981
Median	29.64290	Variance	85.74413
Mode	.	Range	34.18470
		Interquartile Range	13.02020

Tests for Normality

Test	--Statistic---		-----p Value------	
Shapiro-Wilk	W	0.968083	Pr < W	0.1509
Kolmogorov-Smirnov	D	0.062959	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.03861	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.360839	Pr > A-Sq	>0.2500

Quantiles

Quantile	Estimate
100% Max	49.2704
99%	49.2704
95%	46.8571
90%	45.6762
75% Q3	36.7667
50% Median	29.6429
25% Q1	23.7465
10%	17.7880
5%	16.3524
1%	15.0857
0% Min	15.0857

Extreme Observations

------Lowest-----		-----Highest-----	
Value	Obs	Value	Obs
15.0857	47	46.1889	8
15.4041	53	46.3825	5
16.3524	11	46.8571	6
16.7048	35	47.9493	42
17.6774	49	49.2704	7

Forecasts for variable Ozono

Obs	Forecast	Std Error	95% Confidence Limits	
56	29.2311	5.1688	19.1005	39.3617
57	26.3359	6.3835	13.8245	38.8474
58	20.2740	6.4070	7.7165	32.8315
59	16.5192	6.5135	3.7531	29.2854
60	18.0127	6.9864	4.3197	31.7057
61	16.8367	7.3833	2.3657	31.3076
62	14.4683	7.4292	-0.0927	29.0294
63	13.9573	7.5360	-0.8130	28.7275
64	15.2792	7.6488	0.2878	30.2705
65	19.1205	7.6489	4.1289	34.1120
66	23.4627	7.7520	8.2691	38.6562
67	24.5661	8.0653	8.7584	40.3738

Anexo 3. Análisis Serie de Tiempo contaminante PM_{10} Estación Hospital Olaya

Autocorrelations

The ARIMA Procedure

Name of Variable = pm10

Mean of Working Series 50.78283
Standard Deviation 7.159896
Number of Observations 37

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     51.264111        1.00000    |                    |********************|             0
  1     31.042952        0.60555    |             .      |************        |      0.164399
  2     16.157211        0.31518    |           .        |******  .            |      0.216444
  3      1.618614        0.03157    |           .        |*       .            |      0.228512
  4    -12.756625        -.24884    |           .   *****|        .            |      0.228630
  5    -17.072895        -.33304    |           . *******|        .            |      0.235836
  6    -18.637227        -.36355    |          .  *******|         .           |      0.248222
  7    -23.562544        -.45963    |          .*********|         .           |      0.262218
  8    -18.734725        -.36545    |         .   *******|          .          |      0.283157
  9    -10.246878        -.19988    |        .       ****|           .         |      0.295630
```

"." marks two standard errors

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1        0.60555    |               .       |************         |
  2       -0.08134    |               .    **|       .              |
  3       -0.19956    |               .  ****|       .              |
  4       -0.27101    |               . *****|       .              |
  5       -0.03057    |               .     *|       .              |
  6       -0.10226    |               .    **|       .              |
  7       -0.33481    |              *******|       .              |
  8       -0.05749    |               .     *|       .              |
  9        0.04138    |               .       |*      .              |
```

Autocorrelation Check for White Noise

```
                          Autocorrelation Check for White Noise

 To        Chi-             Pr >
Lag      Square     DF     ChiSq    --------------------Autocorrelations--------------------

  6       32.70      6    <.0001     0.606     0.315     0.032    -0.249    -0.333    -0.364
```

Prueba de Raíz Unitaria

Obs	_TYPE_	_STATUS_	_DEPVAR_	_NAME_	_MSE_	Intercept	AR_V	time	DLAG_V
1	OLS	0 Converged	AR_V		31.1039	34.968	-1	-0.08489	-0.65015
2	COV	0 Converged	AR_V	Intercept	31.1039	142.912	.	-0.12340	-2.68845
3	COV	0 Converged	AR_V	time	31.1039	-0.123	.	0.01101	-0.00181
4	COV	0 Converged	AR_V	DLAG_V	31.1039	-2.688	.	-0.00181	0.05250
5	COV	0 Converged	AR_V	AR_V1	31.1039	1.791	.	0.00320	-0.03542
6	COV	0 Converged	AR_V	AR_V2	31.1039	1.649	.	0.00383	-0.03289
7	COV	0 Converged	AR_V	AR_V3	31.1039	1.247	.	0.00360	-0.02530

Obs	AR_V1	AR_V2	AR_V3	_NOBS_	_TAU_	_TREND_	_DLAG_	_PVALUE_
1	0.30791	0.36444	0.34009	33	-2.83762	2	1	0.19486
2	1.79084	1.64865	1.24728	33	-2.83762	2	1	0.19486
3	0.00320	0.00383	0.00360	33	-2.83762	2	1	0.19486
4	-0.03542	-0.03289	-0.02530	33	-2.83762	2	1	0.19486
5	0.05126	0.02593	0.01949	33	-2.83762	2	1	0.19486
6	0.02593	0.04858	0.01904	33	-2.83762	2	1	0.19486
7	0.01949	0.01904	0.03953	33	-2.83762	2	1	0.19486

Maximum Likelihood Estimation MA(1)

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|	Lag
MU	50.54039	1.53055	33.02	<.0001	0
MA1,1	-0.57067	0.14854	-3.84	0.0001	1

Constant Estimate	50.54039
Variance Estimate	36.14559
Std Error Estimate	6.01212
AIC	240.0789
SBC	243.3008
Number of Residuals	37

Autocorrelation Check of Residuals

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	Autocorrelations					
6	10.66	5	0.0586	0.179	0.323	0.028	-0.156	-0.226	-0.189
12	28.72	11	0.0025	-0.348	-0.239	-0.091	-0.096	0.277	0.270
18	39.97	17	0.0013	0.286	0.162	0.085	-0.103	-0.060	-0.206
24	49.33	23	0.0011	-0.198	-0.212	-0.152	-0.026	0.016	0.047

Autocorrelation Plot of Residuals

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     36.145592        1.00000    |                    |********************|             0
  1      6.477746        0.17921    |             .      |****  .             |      0.164399
  2     11.681841        0.32319    |             .      |******.             |      0.169597
  3      1.018934        0.02819    |             .      |*     .             |      0.185497
  4     -5.640598        -.15605    |             .   ***|      .             |      0.185613
  5     -8.170325        -.22604    |            .  *****|       .            |      0.189125
  6     -6.831284        -.18899    |            .   ****|       .            |      0.196291
  7    -12.587573        -.34825    |            .*******|       .            |      0.201149
  8     -8.641308        -.23907    |           .   *****|        .           |      0.216833
  9     -3.299668        -.09129    |           .      **|        .           |      0.223843

                              "." marks two standard errors
```

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1        0.17921    |             .      |****  .             |
  2        0.30073    |             .      |******.             |
  3       -0.07520    |             .    **|      .             |
  4       -0.28215    |             .******|      .             |
  5       -0.19374    |             .  ****|      .             |
  6        0.00655    |             .      |      .             |
  7       -0.21911    |             .  ****|      .             |
  8       -0.20868    |             .  ****|      .             |
  9        0.06671    |             .      |*     .             |
```

Maximum Likelihood Estimation AR(1) AR(7)

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|	Lag
MU	50.84098	0.99129	51.29	<.0001	0
AR1,1	0.50280	0.13534	3.72	0.0002	1
AR1,2	-0.40003	0.16523	-2.42	0.0155	7

Constant Estimate	45.61619
Variance Estimate	25.67106
Std Error Estimate	5.066661
AIC	230.209
SBC	235.0418
Number of Residuals	37

Autocorrelation Check of Residuals

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	Autocorrelations					
6	1.42	4	0.8401	0.091	0.098	0.026	-0.103	-0.039	-0.054
12	9.60	10	0.4759	-0.115	-0.205	-0.117	-0.167	0.143	0.192
18	12.22	16	0.7286	0.156	0.049	-0.021	-0.101	-0.045	-0.039
24	17.38	22	0.7421	-0.150	-0.166	-0.091	0.004	-0.035	-0.032

Autocorrelation Plot of Residuals

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     25.671056        1.00000    |                    |********************|             0
  1      2.338381        0.09109    |             .      |**    .             |      0.164399
  2      2.503834        0.09754    |             .      |**    .             |      0.165757
  3      0.659923        0.02571    |             .      |*     .             |      0.167301
  4     -2.654220        -.10339    |             .    **|      .             |      0.167408
  5     -0.991613        -.03863    |             .     *|      .             |      0.169125
  6     -1.386023        -.05399    |             .     *|      .             |      0.169363
  7     -2.963744        -.11545    |             .    **|      .             |      0.169828
  8     -5.259374        -.20488    |             .  ****|      .             |      0.171936
  9     -3.014532        -.11743    |             .    **|      .             |      0.178412
```

"." marks two standard errors

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1        0.09109    |             .      |**    .             |
  2        0.08998    |             .      |**    .             |
  3        0.00958    |             .      |      .             |
  4       -0.11700    |             .    **|      .             |
  5       -0.02454    |             .      |      .             |
  6       -0.02852    |             .     *|      .             |
  7       -0.10061    |             .    **|      .             |
  8       -0.19851    |             .  ****|      .             |
  9       -0.08098    |             .    **|      .             |
```

ANALISIS DE INTERVECION

Maximum Likelihood Estimation

Parameter	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|	Lag	Variable	Shift
MU	52.21730	0.88955	58.70	<.0001	0	pm10	0
AR1,1	0.42458	0.12915	3.29	0.0010	1	pm10	0
AR1,2	-0.47918	0.15100	-3.17	0.0015	7	pm10	0
NUM1	-23.95542	9.05636	-2.65	0.0082	0	trans	0

Constant Estimate	55.06857
Variance Estimate	21.71516
Std Error Estimate	4.659953
AIC	225.5219
SBC	231.9656
Number of Residuals	37

Autocorrelation Check of Residuals

To Lag	Chi-Square	DF	Pr > ChiSq	Autocorrelations					
6	1.21	4	0.8764	0.066	0.063	0.013	-0.097	-0.005	-0.099
12	9.69	10	0.4680	-0.083	-0.248	-0.062	-0.133	0.158	0.210
18	11.15	16	0.8002	0.134	0.051	-0.002	-0.041	-0.039	-0.002
24	17.55	22	0.7323	-0.146	-0.196	-0.070	-0.005	-0.056	-0.077

Autocorrelation Plot of Residuals

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0     21.715164        1.00000    |                    |********************|             0
  1      1.424140        0.06558    |             .      |*     .             |      0.164399
  2      1.360876        0.06267    |             .      |*     .             |      0.165105
  3      0.287323        0.01323    |             .      |      .             |      0.165746
  4     -2.110325        -.09718    |             .    **|      .             |      0.165775
  5     -0.118655        -.00546    |             .      |      .             |      0.167307
  6     -2.144879        -.09877    |             .    **|      .             |      0.167312
  7     -1.812468        -.08347    |             .    **|      .             |      0.168881
  8     -5.390316        -.24823    |             . *****|      .             |      0.169992
  9     -1.356533        -.06247    |             .     *|      .             |      0.179522

                        "." marks two standard errors
```

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1        0.06558    |             .      |*     .             |
  2        0.05862    |             .      |*     .             |
  3        0.00556    |             .      |      .             |
  4       -0.10281    |             .    **|      .             |
  5        0.00581    |             .      |      .             |
  6       -0.08787    |             .    **|      .             |
  7       -0.07121    |             .     *|      .             |
  8       -0.24518    |             . *****|      .             |
  9       -0.02993    |             .     *|      .             |
```

The UNIVARIATE Procedure

Variable: pm10 (pm10)

Moments

N	37	Sum Weights	37
Mean	50.7828324	Sum Observations	1878.9648
Std Deviation	7.25865786	Variance	52.688114
Skewness	-0.4915274	Kurtosis	-0.506502
Uncorrected SS	97315.9267	Corrected SS	1896.7721
Coeff Variation	14.293527	Std Error Mean	1.193316

Basic Statistical Measures

Location		Variability	
Mean	50.78283	Std Deviation	7.25866
Median	53.02220	Variance	52.68811
Mode	.	Range	27.90860
		Interquartile Range	9.53950

Tests for Normality

Test	--Statistic---		-----p Value------	
Shapiro-Wilk	W	0.955151	Pr < W	0.1414
Kolmogorov-Smirnov	D	0.141558	Pr > D	0.0602
Cramer-von Mises	W-Sq	0.120808	Pr > W-Sq	0.0581
Anderson-Darling	A-Sq	0.645264	Pr > A-Sq	0.0883

Quantiles

Quantile	Estimate
100% Max	63.3405
99%	63.3405
95%	62.2675
90%	57.9837
75% Q3	55.4535
50% Median	53.0222
25% Q1	45.9140
10%	40.4333
5%	35.5665
1%	35.4319
0% Min	35.4319

Extreme Observations

------Lowest-----		-----Highest-----	
Value	Obs	Value	Obs
35.4319	35	57.9577	32
35.5665	37	57.9837	27
38.1882	36	60.6149	15
40.4333	23	62.2675	17
41.4940	12	63.3405	28

Forecasts for variable pm10

Obs	Forecast	Std Error	95% Confidence Limits	
38	35.8014	4.6600	26.6681	44.9348
39	34.9178	5.0626	24.9953	44.8403
40	37.1984	5.1318	27.1403	47.2566
41	42.8989	5.1442	32.8165	52.9813
42	48.7251	5.1464	38.6384	58.8119
43	49.8780	5.1468	39.7905	59.9656
44	49.4678	5.1469	39.3801	59.5555
45	50.0964	5.6058	39.1093	61.0836
46	50.7868	5.9162	39.1912	62.3823
47	49.9870	6.0378	38.1532	61.8208
48	46.9159	6.0762	35.0067	58.8251
49	42.8202	6.0870	30.8898	54.7506

Maximum Likelihood Estimates Model AR(1) AR(7)

SSE	716.708726	DFE	33
MSE	21.71845	Root MSE	4.66031
SBC	231.965617	AIC	225.521945
Regress R-Square	0.1748	Total R-Square	0.6221
Durbin-Watson	1.8454		

Variable	DF	Estimate	Standard Error	t Value	Approx Pr > |t|
Intercept	1	52.2173	0.9252	56.44	<.0001
trans	1	-23.9606	9.4188	-2.54	0.0158
AR1	1	-0.4248	0.1343	-3.16	0.0033
AR7	1	0.4787	0.1569	3.05	0.0045

The ARIMA Procedure para R^2

Name of Variable = r2

Mean of Working Series	19.37051
Standard Deviation	23.54924
Number of Observations	37

Autocorrelations

```
Lag    Covariance    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1      Std Error

  0       554.566        1.00000    |                    |********************|             0
  1    -77.072502        -.13898    |             .   ***|      .             |      0.164399
  2    -61.839535        -.11151    |             .    **|      .             |      0.167544
  3       129.364        0.23327    |             .      |***** .             |      0.169538
  4      -103.555        -.18673    |             .  ****|      .             |      0.178002
  5     52.108590        0.09396    |             .      |**    .             |      0.183219
  6    -40.628823        -.07326    |             .     *|      .             |      0.184517
  7      -126.789        -.22863    |             . *****|      .             |      0.185302
  8      1.782866        0.00321    |            .       |       .            |      0.192775
  9      -106.873        -.19272    |            .   ****|       .            |      0.192776
                                 "." marks two standard errors
```

Partial Autocorrelations

```
Lag    Correlation    -1 9 8 7 6 5 4 3 2 1 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 1

  1       -0.13898    |             .   ***|      .             |
  2       -0.13340    |             .   ***|      .             |
  3        0.20469    |             .      |****  .             |
  4       -0.15082    |             .   ***|      .             |
  5        0.11337    |             .      |**    .             |
  6       -0.15416    |             .   ***|      .             |
  7       -0.17076    |             .   ***|      .             |
  8       -0.15282    |             .   ***|      .             |
  9       -0.21905    |             .  ****|      .             |
```

Autocorrelation Check for White Noise

```
 To        Chi-            Pr >
Lag      Square     DF     ChiSq    --------------------Autocorrelations--------------------

  6        5.77      6    0.4496    -0.139    -0.112     0.233    -0.187     0.094    -0.073
```

GARCH Estimates

```
SSE                779.723829    Observations              37
MSE                  21.07362    Uncond Var        23.2554801
Log Likelihood     -108.97602    Total R-Square        0.5889
SBC                 315.44683    AIC               271.952046
Normality Test         0.8669    Pr > ChiSq            0.6483

                                        Standard                 Approx
Variable        DF     Estimate           Error    t Value    Pr > |t|

Intercept        1      52.2073          1.4003      37.28      <.0001
trans            1     -24.5777         15.3739      -1.60      0.1099
AR1              1      -0.4527          0.2357      -1.92      0.0547
AR7              1       0.3475          0.2548       1.36      0.1727
ARCH0            1      23.2550        0.004494    5174.46      <.0001
ARCH1            1    3.0972E-7          0.3964       0.00      1.0000
ARCH2            1    3.0508E-7          0.5276       0.00      1.0000
ARCH3            1     1.532E-6          0.4088       0.00      1.0000
ARCH4            1    4.3579E-7          0.6035       0.00      1.0000
ARCH5            1    1.3071E-6          0.7745       0.00      1.0000
ARCH6            1    7.3619E-7          0.4408       0.00      1.0000
ARCH7            1    -4.26E-12       1.0762E-6      -0.00      1.0000
ARCH8            1    1.1356E-6          0.7252       0.00      1.0000
ARCH9            1    4.4964E-7          0.8511       0.00      1.0000
ARCH10           1    5.0388E-7          0.6369       0.00      1.0000
ARCH11           1    1.3574E-6          0.7630       0.00      1.0000
ARCH12           1    5.9482E-7          0.7480       0.00      1.0000
```

GARCH1	1	9.0203E-7	0.2347	0.00	1.0000
GARCH2	1	9.355E-7	0.5426	0.00	1.0000
GARCH3	1	1.0192E-6	0.2006	0.00	1.0000
GARCH4	1	8.6422E-7	0.1810	0.00	1.0000
GARCH5	1	9.9321E-7	0.4512	0.00	1.0000
GARCH6	1	9.687E-7	0.1045	0.00	1.0000
GARCH7	1	8.7898E-7	0.2897	0.00	1.0000
GARCH8	1	1.0122E-6	0.5217	0.00	1.0000
GARCH9	1	9.189E-7	0.1762	0.00	1.0000
GARCH10	1	9.0421E-7	0.6148	0.00	1.0000
GARCH11	1	9.9515E-7	0.1340	0.00	1.0000
GARCH12	1	9.1305E-7	0.1354	0.00	1.0000

The AUTOREG Procedure

Dependent Variable res

Ordinary Least Squares Estimates

SSE	767.415016	DFE	37
MSE	20.74095	Root MSE	4.55422
SBC	217.189515	AIC	217.189515
Regress R-Square	0.0000	Total R-Square	0.0000
Durbin-Watson	1.7811		

NOTE: No intercept term is used. R-squares are redefined.

Q and LM Tests for ARCH Disturbances

Order	Q	Pr > Q	LM	Pr > LM
1	2.5003	0.1138	2.2546	0.1332
2	3.6360	0.1623	4.1547	0.1253
3	7.2564	0.0642	6.0113	0.1111
4	9.1539	0.0574	6.3156	0.1768
5	10.2075	0.0696	7.8450	0.1650
6	10.3105	0.1122	8.0072	0.2376
7	13.3436	0.0642	8.4550	0.2942
8	13.6238	0.0921	8.6544	0.3723
9	14.8913	0.0940	9.7641	0.3699
10	15.5538	0.1131	10.1229	0.4298
11	16.6288	0.1193	10.3153	0.5023
12	17.5587	0.1298	10.3661	0.5839

WARNING: Optimization cannot improve the function value.

GARCH Estimates

SSE	767.415016	Observations	37
MSE	20.74095	Uncond Var	20.7409465
Log Likelihood	-108.59476	Total R-Square	0.0000
SBC	220.800433	AIC	219.189515
Normality Test	0.7806	Pr > ChiSq	0.6768

NOTE: No intercept term is used. R-squares are redefined.

ANEXO No. 4 Estimaciones del modelo Ozono con variables independientes.

Variable dependiente: Concentración Promedio Mensual de Ozono

Variable	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente
Intercepto MU	65.57	-	32.92	-1411.3
	(1.83)*		(11.32)	(-1.66)***
Autorregresivo de orden 1 AR(1)	0.71	0.62	0.68	0.57
	(6.51)*	(5.23)*	(6.66)*	(4.97)*
Autorregresivo de orden 2 AR(2)	-0.40	-	-	-
	(-3.36)*			
Autoregresivo de orden 4 AR(4)	-0.20	-	-	-
	(-3.22)*			
Autoregresivo de orden 7 AR(7)	-0.30	-	-	-
	(-4.15)*			
Intervención: Pico y placa	-4.89	-	-	-
	(-1.71)*			
Intervención: Programa I/M	18.93	-	-	-
	(3.52)*			
Intervención: Transmilenio	-59.33	-	-	-
	(-3.93)			
Parque Automotor (Pa)	-0.000054	-	-	0.0024
	(-0.90)			(1.70)***
Variable de tendencia T	-	-	-	-4.53
				(-178)***5.1(*)-9.1(*)-9.2(*)-9