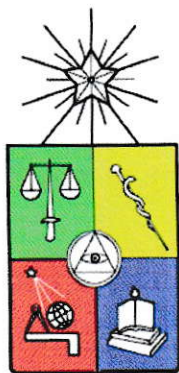


UCH-FC
Q. Ambiental
T 686p
C. I



Promedio móvil de 24 horas y su Impacto como Indicador de Calidad de Aire en Episodios de Contaminación por MP_{10} en la ciudad de Santiago

Seminario de Título

entregado a la

Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile

en cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al título de

QUÍMICO AMBIENTAL

Richard Eduardo Toro Araya

Director Seminario de Título: Dr. Raúl Morales S.

Noviembre 2005

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

Informe de aprobación
Seminario de Título

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el alumno

Richard E. Toro Araya

ha sido aprobado por la Comisión de Evaluación del Seminario de Título como requisito para optar al título de Químico Ambiental

Director del Seminario de título:

Profesor: Dr. Raúl G.E. Morales Segura.....

Comisión Evaluadora:

Profesor: Dr. Manuel A. Leiva Guzmán.....

Profesor: Lic. Luis Gutierrez.....

*...a mi hijo Vicente, mi mayor motivación...
...y a mis Padres, por su apoyo incondicional...*

Agradecimientos

- Al Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), por proporcionar los datos de monitoreo de calidad de aire de la red MACAM-2, que conforman la información de base del presente estudio.
- Al Dr. Manuel Leiva G., por su apoyo y recomendaciones en el desarrollo del seminario de título.

Índice de Contenido

Índice de Tablas.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Lista de Abreviaturas.....	x
Glosario.....	xi
Resumen.....	xiii
Abstract.....	xv
I.-Introducción.....	1
Características y origen del material particulado.....	4
Efectos en la salud del MP.....	8
Normativa legal en MP ₁₀	9
Episodios críticos de MP ₁₀	11
Hipótesis.....	13
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
II.- Datos y Metodología.....	16
III.- Resultados y discusión.....	23
Selección de episodios de contaminación por MP ₁₀	23
Características de los episodios de contaminación por MP ₁₀	26
Tipificación de episodios de contaminación.....	29
Caso n° 1: Máximo simple nocturno.....	30
Caso n° 2: Máximo múltiple creciente.....	31

Caso n° 3: Máximo múltiple decreciente.....	33
Caso n° 4: Máximo múltiple mixto.....	34
Caso n° 5: Máximo múltiple periódico.....	35
Correlación entre promedio móvil y concentración horaria.....	37
Análisis de los perfiles diarios.....	40
Clasificación de episodios críticos en función de su peligrosidad.....	40
Parámetros comparativos entre medida horaria y promedio móvil.....	44
Análisis de los resultados extraídos de los perfiles diarios.....	46
Desviación media del promedio móvil en episodios críticos.....	49
IV.-Conclusiones.....	52
V.-Referencias.....	54
Anexos.....	57
Anexo A: Perfiles diarios de episodios de contaminación por MP ₁₀	58
Estación Pudahuel.....	59
Estación Parque O'Higgins.....	68
Estación El Bosque.....	73
Estación La Florida.....	79
Estación Cerrillos.....	84
Anexo B: Tablas de resultados análisis comparativo de los perfiles diarios de episodios críticos del grupo I y II.....	90
Episodios críticos Grupo I Estación Pudahuel.....	91
Episodios críticos Grupo II Estación Pudahuel	93

Episodios críticos Grupo I Estaciones PO-EB-Ce-LF.....	95
Episodios críticos Grupo II Estación Estaciones PO-EB-Ce-LF.....	97
Anexo C: Datos red MACAM-2 período 1999-2002.....	Disco compacto adjunto

Índice de Tablas

Tabla 1: Niveles que determinan situaciones de emergencia ambiental.....	11
Tabla 2: Resumen de resultados para episodios críticos del Grupo II.....	46
Tabla 3: Resumen de resultados para episodios críticos del Grupo I.....	48
Tabla B-1: Parámetros obtenidos para la estación Pudahuel en los episodios críticos del grupo I.....	89
Tabla B-2: Parámetros obtenidos para la estación Pudahuel en los episodios críticos del grupo II.....	91
Tabla B-3: Parámetros obtenidos para las estaciones PO-EB-Ce-LF, en los episodios críticos del grupo I.....	93
Tabla B-4: Parámetros obtenidos para las estaciones PO-EB-Ce-LF, en los episodios críticos del grupo II.....	95

Índice de Figuras

Figura 1: Fotografías panorámicas de la ciudad de Santiago.....	2
Figura 2: Máximos diarios de concentración horaria para MP_{10} , en el período 1999-2003 para la estación Pudahuel.....	3
Figura 3: Función lineal segmentada para generar los ICAP a partir del promedio móvil de 24 horas de MP_{10}	10
Figura 4: Perfil diario de un episodio crítico en la estación La Florida.....	13
Figura 5: Red oficial de monitoreo de calidad de aire, red MACAM-2.....	16
Figura 6: Diagrama equipo TEOM.....	18
Figura 7: Estación de monitoreo Parque O'Higgins.....	19
Figura 8: Diagrama simplificado de la metodología utilizada para evaluar el promedio móvil de 24 horas en episodios de contaminación.....	21
Figura 9: Selección de episodios de contaminación por MP_{10}	24
Figura 10: Distribución espacial de episodios críticos en la ciudad de Santiago, período 1999-2002.....	25
Figura 11: El promedio móvil de 24 horas se ajusta a la concentración horaria de MP_{10} en un perfil diario.....	28
Figura 12: Casos de episodios de contaminación - Máximo simple nocturno.....	31
Figura 13: Casos de episodios de contaminación - Máximo múltiple creciente.....	32
Figura 14: Casos de episodios de contaminación - Máximo múltiple decreciente.....	33
Figura 15: Casos de episodios de contaminación - Máximo múltiple mixto.....	35
Figura 16: Casos de episodios de contaminación - Máximo múltiple periódico.....	36
Figura 17: Correlación entre máximo diario de concentración horaria y promedio móvil de 24 horas a la misma hora del máximo.....	38

Figura 18: Correlación entre máximo diario de concentración horaria y promedio móvil de 24 horas a la misma hora del máximo. Estación Pudahuel.....	39
Figura 19: Criterios de clasificación de episodios críticos según niveles concentración horaria de MP_{10}	42
Figura 20: Distribución de episodios críticos en las estaciones de monitoreo, agrupados según de la peligrosidad del nivel de concentración horaria de MP_{10}	43
Figura 21: Parámetros seleccionados para evaluar el promedio móvil de 24 horas en episodios críticos.....	45
Figura 22: Desviación media del promedio móvil de 24 horas en un episodio crítico.....	50

Lista de Abreviaturas

CENMA: Centro Nacional del Medio Ambiente.

CEPAL: Comisión Económica Para América Latina y el Caribe.

EMRP: Estación de monitoreo con representatividad poblacional.

MP₁₀: Material particulado de diámetro aerodinámico promedio menor a 10 µm.

OCDE: Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos.

SESMA: Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente.

USEPA: United States Environmental Protection Agency.

TEOM: Tapered Element Oscilating Microbalance.

Glosario

Anticiclón: Área de alta presión atmosférica, la cual tiene una circulación cerrada que es anticiclónica, por Ej.: vista desde arriba, la circulación es en el sentido de las agujas del reloj en el Hemisferio Norte, contraria a las agujas del reloj en el Hemisferio Sur e indefinida en el Ecuador.

Concentración horaria de material particulado: Valor de concentración de material particulado en la atmósfera generado a partir de las mediciones efectuadas por un medidor continuo durante el período de una hora.

Dorsal: Región a escala sinóptica en donde la presión es relativamente mas alta que en sus alrededores. En las cartas sinópticas se observa con forma elongada y curvatura anticiclónica. En esta región predominan los movimientos descendentes o de subsidencia, encontrándose por lo general condiciones de buen tiempo.

Efecto agudo: Es el efecto inmediato que puede ocasionar un contaminante sobre el organismo, producto de una exposición a altos niveles concentración en corto tiempo.

Efecto crónico: Corresponde al efecto de largo plazo de los contaminantes, que puede manifestarse producto de exposiciones prologadas a niveles de concentración no necesariamente altos.

Episodio crítico de material particulado: Situación en la que los niveles de concentración de MP-10 medidos en las EMRP, presentan valores nocivos para la salud de la población.

Estándar de calidad de aire: Valor de concentración de contaminante, que asegura con un grado de confianza apropiado, la ausencia de efectos nocivos en la salud de los grupos más sensibles de la población.

Indicador de calidad de aire: representación numérica de la calidad de la atmósfera con respecto al contenido de alguna sustancia perjudicial para la salud.

Inversión Térmica: Fenómeno que se presenta cuando el patrón normal de temperatura en la troposfera se comporta de forma contraria, es decir, aumenta con la altitud. La presencia de una inversión provoca estabilidad en la atmósfera, formándose una barrera que al impedir la circulación vertical del aire, dificulta la dispersión de contaminantes.

Material particulado respirable (MP₁₀ ó MP-10): Material Particulado de diámetro aerodinámico promedio menor o igual a diez micrómetros.

Medidor continuo: Sistema de medición instantánea de un analito, permite obtener valores con resolución temporal del orden de minutos.

Perfil diario de concentración de MP₁₀: Gráfico que agrupa la información de concentración de material particulado respirable correspondiente a uno o más días de mediciones.

Promedio móvil de 24 horas: corresponde a la media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación monitora en 24 horas consecutivas.

Sistema frontal: Zona de transición entre masas de aire de distinta densidad y en general de distinta temperatura y humedad. Los Frentes son clasificados de acuerdo a la dirección en que avanzan las masas de aire que les dan origen en: Frente Frío, Frente Cálido y Frente Ocluido o estacionario.

Vaguada costera: Área de baja presión relativa en superficie, que se presenta frente a la costa central de Chile y que al desplazarse hacia el este obliga a descender a masas de aire desde la ladera andina occidental hacia el Oeste, intensificando la capa de inversión térmica.

Resumen

Los episodios críticos de material particulado constituyen el principal problema de contaminación atmosférica para las autoridades competentes, ya que la cantidad e intensidad de estos se ha mantenido en los últimos años, a pesar de las medidas implementadas en el plan de prevención y descontaminación atmosférica de Santiago.

La gestión de la calidad de aire con respecto al MP_{10} se realiza mediante el índice de calidad de aire para partículas (ICAP), el cual está basado en un promedio móvil de 24 horas, considerando el tiempo de exposición del estándar de calidad de aire propuesto por la USEPA. En los episodios críticos, la concentración de partículas en tiempo real experimenta máximos agudos de 8 a 12 horas de duración. El promedio móvil de 24 horas en estos casos, responde a estos máximos una vez que la concentración regresa a niveles aceptables, por lo que impide una descripción acertada de condiciones atmosféricas dinámicas en tiempo real. En consecuencia, la representación de la calidad de aire basada en este parámetro resulta ser discutible.

En este trabajo se presenta una evaluación de la aplicabilidad del promedio móvil de 24 horas como indicador de calidad de aire en episodios críticos de MP_{10} de la ciudad de Santiago. Los resultados indican un importante desfase temporal entre el promedio móvil de 24 horas y la concentración horaria de partículas, la cual representa de mejor forma la cantidad real de MP_{10} en la atmósfera. Por otra parte, el promedio móvil de 24 horas produce una subestimación de la concentración horaria en episodios críticos, lo cual junto al desfase temporal, hace muy difícil la implementación efectiva y oportuna de medidas de control de emisiones. El estudio muestra la necesidad de incorporar un nuevo índice de calidad de aire en la norma, que permita describir mejor

el contenido real de MP-10 de la atmósfera en episodios críticos y valorar el efecto agudo de las partículas en la salud de la población.

Abstract

The critical episodes of particulate matter constitute the main problem of atmospheric contamination for environmental control agencies. In recent years, the amount and intensity of particulate matter in the air has persisted in spite of numerous prevention and decontamination programs.

Air quality management, in terms of PM-10, requires strict monitoring of the air quality particulate matter index (IAQP). IAQP is based on a 24-hour moving average as defined by the standard for air quality set by USEPA. During critical episodes of PM-10, the real-time particle concentration profile experiences abrupt peaks that last about 8 to 12 hours. As a result, the 24-hour moving average is unable to detect these peaks until several hours after the critical episode has subsided. Hence, it is debatable whether the IAQP, provides an accurate representation of air quality during dynamic atmospheric conditions.

This work presents an evaluation of the applicability of the 24-hour moving average in the analysis of air quality during critical episodes of PM-10 in the atmosphere of the city of Santiago. The results indicate a critical time delay between the peak PM-10 concentrations calculated by the 24-hour moving average and the hourly average. Moreover, the 24-hour moving average consistently underestimates the hourly peak concentration value during critical episodes. Given the aforementioned results, it is therefore impossible for the environmental management agencies to react effectively and promptly in order to mitigate particulate concentration during critical PM-10 atmospheric conditions. The study shows the necessity to incorporate a new air quality index into the current standard in order to obtain a more representative diagnostic of real-time PM-10 concentrations during critical episodes. As a final benefit,

the use of this index will also help evaluate the acute effect that PM-10 particles have on public health.

I.- INTRODUCCIÓN

La ciudad de Santiago es el principal centro urbano del país, concentra el 40% de la población con mas de seis millones de habitantes y el 48% de PIB (OCDE/CEPAL, 2005). Está localizada en el principal valle de la zona central (33,5° S, 70,6° W) con cotas que van desde los 400 a 900 metros m.s.n.m. y con una superficie de aproximadamente 15.000 km². El valle está encerrado en el oriente por la cordillera de los Andes y en el poniente, norte y sur por una serie de cordones montañosos que alcanzan alturas que van desde los 500 a los 3500 m sobre el nivel medio del valle.

Santiago concentra gran parte de la población del país, por lo que la cuenca recibe y acumula gran cantidad de contaminantes provenientes de fuentes emisoras de variada naturaleza, como el sector industrial, el sector transporte público, el sector construcción, etc.

Por otra parte, las características climáticas de la cuenca de Santiago presentan en ocasiones, condiciones desfavorables para la dispersión de contaminantes, dadas por la ocurrencia de una inversión térmica de subsidencia, condición que impide el ascenso del aire y, por tanto, la dispersión vertical de los contaminantes, haciendo que la altura de la capa de mezcla varíe entre los 400 m, en los meses de otoño-invierno, y los 1000 m, en los meses de primavera verano; el origen de esta inversión se atribuye al anticiclón subtropical del pacífico.

Estos rasgos climáticos y geomorfológicos particulares, hacen que en la cuenca se presente un escenario adverso para los procesos de dispersión de contaminantes, que, junto al aumento de la población, la expansión urbana, la alta concentración de vehículos y actividades industriales, han hecho que Santiago desde el punto de vista de la calidad de aire, presente altos niveles de contaminación, tanto a nivel de

partículas suspendidas, en el período otoño-invierno, como de ozono, en primavera-verano.

Considerando los antecedentes anteriores y los altos costos sociales y económicos que trae consigo la contaminación atmosférica, desde el año 1996 la región Metropolitana ha sido declarada zona saturada para tres contaminantes: monóxido de carbono, ozono y material particulado respirable (MP₁₀) (OCDE/CEPAL, 2005).

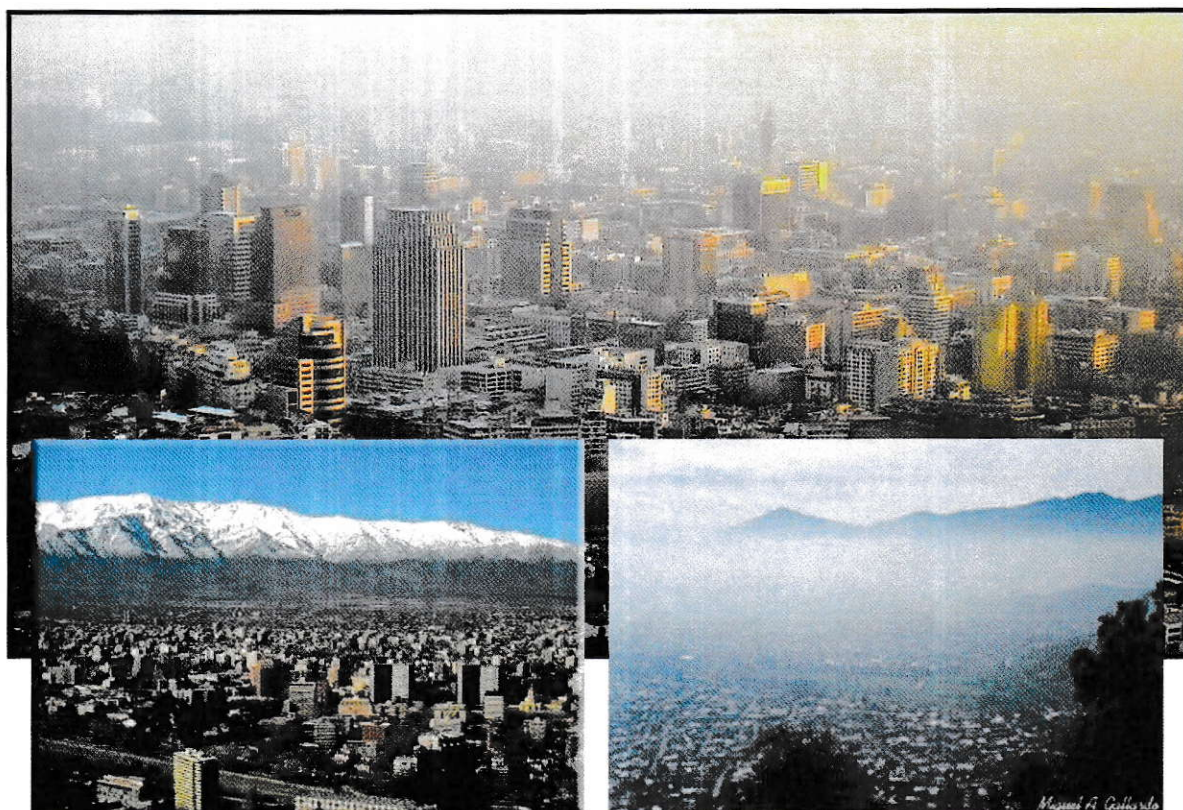


Figura 1: Fotografías panorámicas de la ciudad de Santiago.

La contaminación por partículas en Santiago presenta una marcada estacionalidad, observándose niveles perjudiciales para la población entre los meses de abril a agosto. Estos niveles nocivos se manifiestan a través de lo que se conoce como episodios críticos de contaminación o situaciones de emergencia ambiental. Los episodios críticos se distribuyen durante el otoño e invierno, condicionados por la

situación geográfica y meteorológica de la cuenca, concentrándose principalmente entre mayo y agosto. Se caracterizan por un aumento rápido de la concentración de MP_{10} que luego pasa por un máximo y regresa a un nivel similar al inicial, este proceso se extiende en ocasiones durante las primeras horas de la mañana y preferentemente durante horas de la noche, producto de la acumulación de contaminantes durante todo el día y la ocurrencia de una inversión térmica de baja altura..

La figura 2 muestra los máximos diarios de concentración horaria de MP_{10} medidos en la ciudad de Santiago, particularmente en la estación Pudahuel durante cinco años, desde el año 1999 hasta octubre del año 2003. En la figura se puede apreciar la estacionalidad de la contaminación por partículas presente, y formar una idea de los niveles que alcanza la concentración horaria de MP_{10} en los períodos críticos.

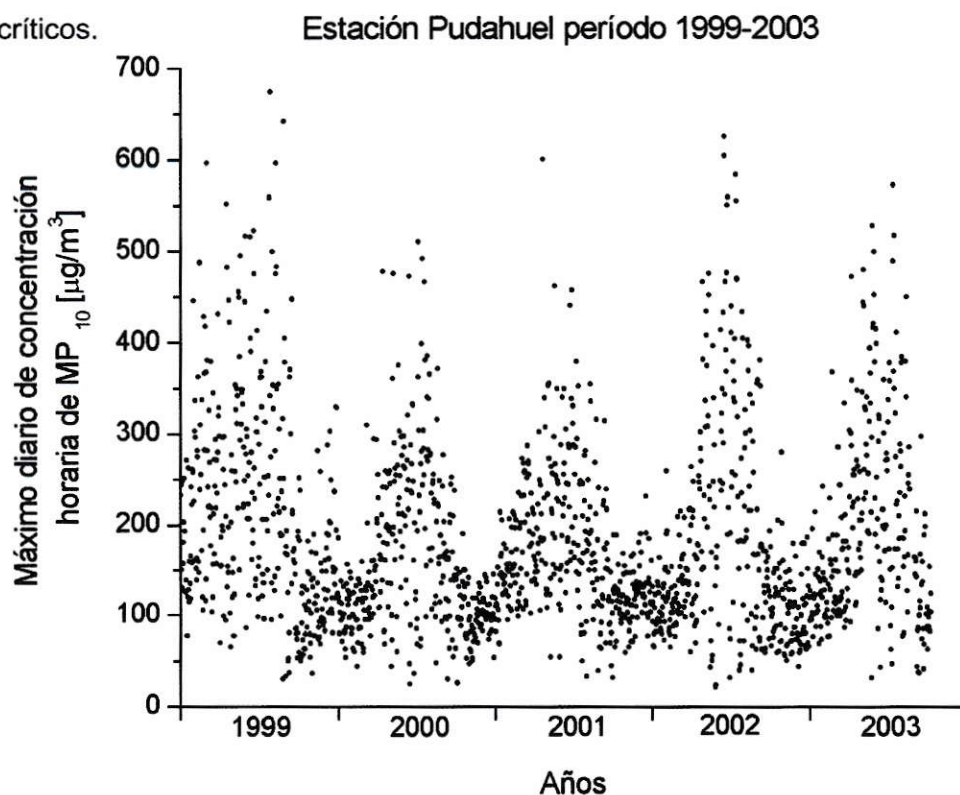


Figura 2: Máximos diarios de concentración horaria para MP_{10} , en el período 1999-2003 para la estación Pudahuel (Fuente: Datos recogidos por la red MACAM-2).

La ciudad de Santiago cuenta desde 1988 con una red oficial de monitoreo automático de calidad de aire, la Red MACAM, que en sus inicios contaba con cinco estaciones, y que en el año 1997 fue renovada y ampliada a ocho estaciones, denominándose desde entonces Red MACAM-2. Las estaciones de esta última red son dependientes del Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente (SESMA) y miden periódicamente variables meteorológicas y concentración atmosférica de monóxido de carbono, óxido de azufre, ozono, material particulado respirable, y en cuatro de ellas se miden óxidos de nitrógeno y material particulado fino ($MP_{2,5}$). Los datos recogidos por la red se reciben en la base de datos AIRVIRO del Centro Nacional del Medio Ambiente (CENMA), y se evalúan en conjunto con el pronóstico meteorológico para generar el potencial meteorológico de contaminación atmosférica, el cual es fundamental en el momento de establecer una situación de emergencia ambiental para el día siguiente.

➤ Características y origen del material particulado

El material particulado es una mezcla de partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. Las partículas de mayor tamaño provenientes del polvo, hollín o el humo pueden ser observadas al microscopio óptico, mientras para observar la morfología de las más pequeñas se requiere del uso de un microscopio electrónico.

Por lo general, el material particulado comprende una fracción gruesa, con partículas de diámetro aerodinámico promedio entre $2,5 \mu\text{m}$ y alrededor de $40 \mu\text{m}$, y una fracción fina, con partículas de diámetro aerodinámico promedio menor o igual a $2,5 \mu\text{m}$ ($MP_{2,5}$). En la fracción gruesa son de especial interés las partículas de diámetro

menor o igual a $10\ \mu\text{m}$ (MP_{10}) ya que corresponden a la porción parcialmente inhalable, que puede penetrar los mecanismos de defensa de las regiones altas del sistema respiratorio del cuerpo. Las partículas ultra-finas corresponden a un subgrupo del $\text{MP}_{2,5}$, cuyo diámetro promedio es menor a $0,1\ \mu\text{m}$. (EPA)

Las partículas están formadas por cientos de diferentes compuestos químicos, algunas son emitidas directamente a la atmósfera, mientras otras se forman en ésta a través de reacciones químicas en fase homogénea y heterogénea. Sus características físicas y químicas dependen, por lo tanto, de los materiales iniciales y también de las condiciones ambientales en las cuales se encuentran. Es así como, la estación del año y parámetros meteorológicos como la temperatura, la humedad, el viento y la radiación solar son determinantes del tipo de partícula presente en cada momento y lugar.

El origen del MP_{10} es muy diverso, por lo que es conveniente diferenciar el particulado primario o emitido directamente a la atmósfera, del particulado secundario o formado en la atmósfera. En el primer grupo se pueden nombrar tanto fuentes naturales, tales como polvo del suelo, que puede ser emitido por acción del viento, como fuentes antropogénicas, en actividades industriales relacionadas con procesos de combustión y por la circulación de vehículos motorizados. La composición química del material particulado es también muy diversa y constituye un criterio para determinar el origen de éste. Es así como por ejemplo la presencia en las partículas de elementos como Fe, Mn, Ca y Mg indica un origen natural con su fuente en el suelo, mientras que la presencia de Ni, Cu, Zn, Cd y Pb, entre otros, indica que el origen del particulado es de origen antrópico (Préndez et al., 1984; Préndez y Ortiz, 1989), y la presencia de K indica su origen en la quema de biomasa.

El particulado de origen secundario comprende principalmente procesos de conversión gas-partícula, generados por la capacidad oxidativa de la atmósfera, por lo que en su formación intervienen precursores de variada naturaleza, como ácidos y bases inorgánicas (ácido nítrico, ác. sulfúrico, amoníaco) y compuestos orgánicos volátiles (Kuhns H. et al, 2003; Stockwell W.R. et al. 2003), algunas de esas reacciones requieren luz solar y/o vapor de agua.

Los componentes mayoritarios del MP son el material carbonaceo, sulfato, nitrato, amonio y material de origen geológico como polvo del suelo o ceniza (Chow J. et al, 2002). La proporción de cada uno en las diferentes fracciones del material particulado esta determinado por las características de las fuentes específicas y las condiciones ambientales. El MP primario está constituido principalmente de carbono (hollín),-emitido desde autos, buses, camiones, maquinaria pesada, incendios forestales y quema de basura- y también de material geológico, emitido principalmente desde el suelo. El MP secundario incluye principalmente sulfatos, formados a partir de dióxido de azufre el cual es emitido por la quema de petróleo y carbón; nitratos, formados a partir de óxidos de nitrógeno emitido por automóviles, industrias y centrales que utilizan gas natural como combustible; y carbono cuyas fuentes son las emisiones de compuestos orgánicos volátiles de automóviles, industrias, incendios forestales y fuentes biogénicas como la vegetación.

En general, el tamaño del material particulado secundario es menor a $2,5 \mu\text{m}$, por lo que su impacto resulta ser muy importante desde un punto de vista toxicológico, ya que puede penetrar mas profundamente en el sistema respiratorio, llegando incluso al espacio alveolar desde donde las partículas son capaces de ingresar al torrente

sanguíneo. Resulta interesante destacar que aproximadamente la mitad de la masa de MP_{10} en la ciudad de Santiago, corresponde a $MP_{2.5}$, por lo que es conveniente analizar su impacto en forma independiente.

El tiempo de residencia del material particulado en la atmósfera está fundamentalmente relacionado con sus características físicas, vale decir, tamaño, densidad, forma. La fracción gruesa del material particulado permanece menos tiempo en la atmósfera y usualmente se pueden encontrar cerca de las fuentes emisoras, producto de su remoción de la atmósfera por efecto de la gravedad. En contraste, la fracción fina puede persistir mucho más tiempo en el aire, ya que su velocidad de sedimentación es menor, por lo que al ser transportadas por el viento pueden llegar a ocasionar efectos a varios kilómetros de distancia desde donde son emitidas.

Los principales sumideros del material particulado lo comprenden deposiciones húmedas y secas. Las primeras, en general, llevan el particulado a las calles, desde donde puede ser fácilmente re-emitido a la atmósfera por fuentes móviles, con un diámetro menor al inicial, debido a destrucción mecánica de las partículas. La deposición seca se hace mas importante mientras mayor es el tamaño de la partícula debido a la mayor velocidad de sedimentación de éstas, por lo que la partículas mas pequeñas permanecen mayor tiempo en el aire, incrementándose de esta forma su concentración.

➤ Efectos en la salud del Material Particulado

La exposición a partículas puede ocasionar una gran variedad de efectos nocivos para la salud. Las partículas mas grandes, de diámetro promedio mayor a 10 μm , tienden a no causar daños significativos en la salud, sin embargo, el material particulado grueso inhalable y el material particulado fino causan graves problemas ya que pueden depositarse en el pulmón e incluso ingresar en el torrente sanguíneo.

El efecto nocivo que un contaminante puede ejercer sobre un organismo depende de su concentración en la atmósfera y del período de tiempo en que se mantenga la exposición. Exposiciones de largo plazo en personas que han vivido por muchos años en lugares contaminados por partículas, han mostrado una asociación con deterioro de la función pulmonar, desarrollo de bronquitis crónica y muerte prematura. Exposiciones de corto plazo, vale decir, horas o días, se han asociado con efectos como deterioro de la función pulmonar, acentuación de síntomas respiratorios, arritmias cardiacas, ataques al corazón, aumento de las admisiones hospitalarias por asma y disfunción pulmonar, y muerte prematura.

Los sectores más sensibles de la población son los niños, los ancianos y los enfermos de asma y de enfermedades obstructivas pulmonares crónicas (Hester y Harrison, 1998; Aranda C., 1998; Belmar R. et al, 1982), en ellos, los efectos del MP_{10} se manifiestan en forma temprana, por lo que se hacen necesarias medidas inmediatas en la gestión de los eventos de alta contaminación del aire.

• Normativa legal en Material Particulado

Diversas instituciones extranjeras como la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) han establecido estándares primarios de calidad de aire para los contaminantes, que contienen especificaciones sobre los máximos niveles de concentración a los que pueden estar expuestas las personas en un periodo de tiempo determinado.

La normativa chilena establece sus propios estándares de calidad de aire, basándose principalmente en los propuestos por la USEPA. El cuerpo de ley que contiene el estándar nacional para el material particulado respirable MP_{10} es el decreto supremo N° 59 promulgado por el Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República, el cual establece un valor de **$150 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ N}$** como concentración de 24 horas, que corresponde a la media aritmética de los valores efectivamente medidos de concentración en cada estación, en 24 horas consecutivas (D.S. N° 59), vale decir, considera un promedio móvil o ventana móvil de 24 horas. El promedio móvil se constituye entonces como la manera práctica de expresar, a partir de datos medidos en cada estación, la información contenida en el estándar de calidad de aire.

El decreto supremo N° 59 establece también los índices de calidad de aire referido a partículas (ICAP), los cuales son una representación numérica que sintetiza información sobre la concentración de partículas en un periodo de tiempo (24 horas). Los índices de calidad de aire son una herramienta de gestión ambiental que apoya la toma de decisiones al momento de determinar una situación de emergencia ambiental.

En la norma se define el índice de calidad de aire referido a partículas como el indicador que resulte de la aplicación de una función lineal segmentada que estará

definida por tres puntos. La figura 3 muestra los valores que se utilizan para construir la función y una representación gráfica de estos.

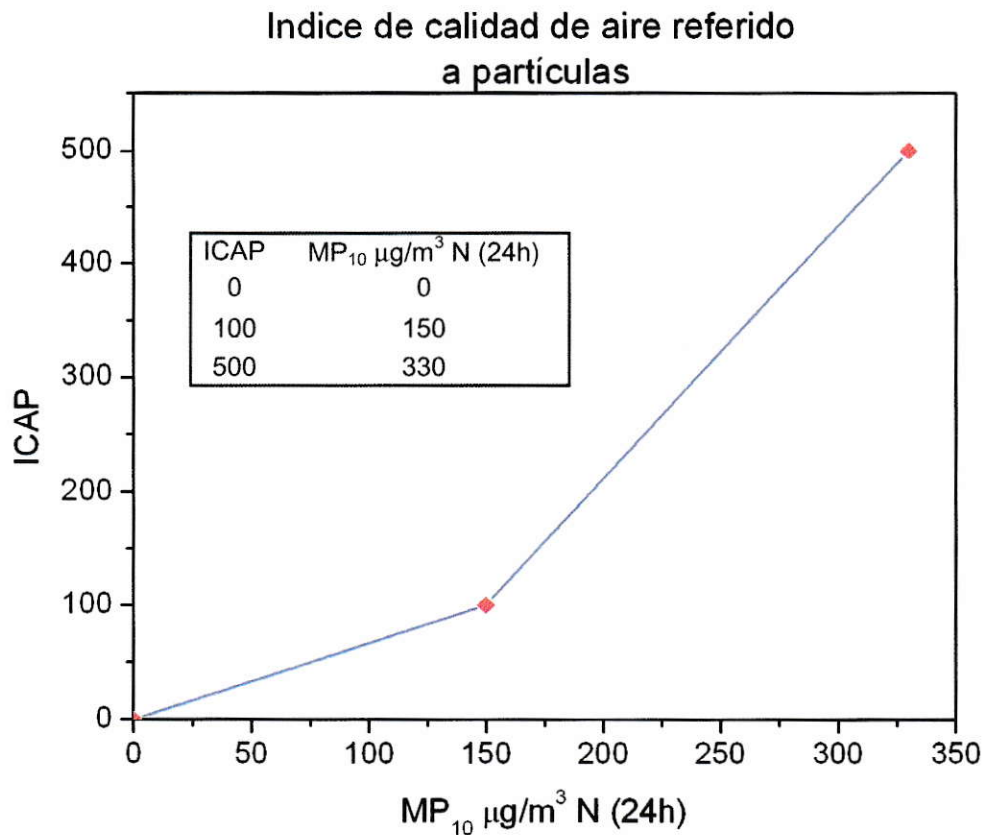


Figura 3: Función lineal segmentada para generar los ICAP a partir del promedio móvil de 24 horas de MP₁₀.

En el decreto supremo N° 59 se establecen también los niveles que determinan las situaciones de emergencia ambiental; los cuales permiten constatar primero, la ocurrencia de un episodio de contaminación y segundo, la gravedad o riesgo que implica para la población. La tabla 1 presenta estos niveles, extraídos del D.S. N° 59.

Tabla 1: Niveles que determinan situaciones de emergencia ambiental.

Nivel	MP ₁₀ µg/m ³ N (24h)	ICAP	Situación
1	195-239	200-299	Alerta
2	240-329	300-499	Pre-emergencia
3	330 o superior	500 o +	emergencia

En esta tabla se puede apreciar que los niveles están basados en el valor del ICAP y por lo tanto en el promedio móvil de 24 horas de la concentración de MP₁₀ medido en las estaciones con representatividad poblacional.

➤ Episodios críticos de MP₁₀

Las situaciones de emergencia ambiental o episodios críticos ocurren cuando la concentración de MP₁₀ aumenta a niveles peligrosos para la salud de la población por un período de algunas horas. Este aumento de la concentración de partículas se produce cuando se dan en la cuenca condiciones atmosféricas desfavorables para la dispersión de las partículas, vale decir, mala ventilación, atmósfera estable, inversión térmica de baja altura, etc. Esta condición puede permanecer durante uno o varios días, por lo que se produce una acumulación de las partículas con el consecuente episodio de alta contaminación.

En el año 1994 se logró establecer que existen dos tipos de configuraciones meteorológicas ligadas con la ocurrencia de episodios de contaminación, estos son los episodios tipo A y BPF. Los primeros están caracterizados por la entrada de altas presiones y temperaturas (dorsal cálida) en la tropósfera media y sobre la zona central, que reemplaza a un área de bajas presiones y temperaturas (vaguada en altura). Combinado a esta condición de altura se produce a nivel de superficie la formación de una vaguada costera entre un centro de altas presiones al otro lado de la cordillera de Los Andes en sector argentino (alta fría migratoria) y un centro de altas presiones sobre el pacífico (anticiclón subtropical del pacífico). Estos dos sistemas de altas presiones obstaculizan el desplazamiento de la dorsal cálida y la vaguada, las que se mueven desde el norte hacia el sur. El paso de este sistema por la zona central puede tomar entre 1 a 4 días.

Los episodios tipo BPF se caracterizan por la presencia de una vaguada costera en la tropósfera media (6 a 7 km de altura), acompañando a un sistema frontal débil, que pierde energía a medida que se aproxima a la cuenca de Santiago. En este tipo de episodios se distingue un centro de baja presión al este de la Cordillera de Los Andes y un área de altas presiones desplazada sobre el Atlántico (www.conamarm.cl).

Los episodios críticos de material particulado tienen una duración de algunas horas de la noche y en ocasiones algunas horas de la mañana, observándose como máximos de concentración en un perfil diario, o gráfico de la concentración de partículas en función del tiempo. Si las emisiones y las condiciones meteorológicas se mantienen, el episodio puede extenderse por varios días.

La figura 4 muestra una situación de alerta ambiental ocurrida en la estación La Florida en junio del año 2002. La ordenada representa la concentración de MP_{10} , y la abcisa el tiempo expresado en horas para cuatro días, la línea de color negro expresa la concentración horaria de MP_{10} , y la línea de color azul el promedio móvil de 24 horas que se obtiene a partir de la anterior. La línea roja destaca el estándar de calidad de aire para MP_{10} .

En esta figura se puede ver como el promedio móvil de 24 horas considerado en el ICAP responde de manera tardía a los cambios que se producen en el promedio horario de concentración, el cual representa de mejor forma la cantidad real de partículas en la atmósfera. En otras palabras, el promedio móvil de 24 horas contiene un significativo desfase temporal cuando se presentan episodios de alta contaminación, situación que se produce por la extensión del promedio móvil, el cual al considerar 24 horas de mediciones no puede representar acertadamente máximos de concentración que no se extienden por más de doce horas.

Esto trae consigo un problema de carácter operativo, ya que en caso de producirse un máximo de concentración, el promedio móvil de 24 horas subestima la concentración de partículas del momento, imposibilitando la toma de medidas sobre las emisiones por parte de la autoridad.

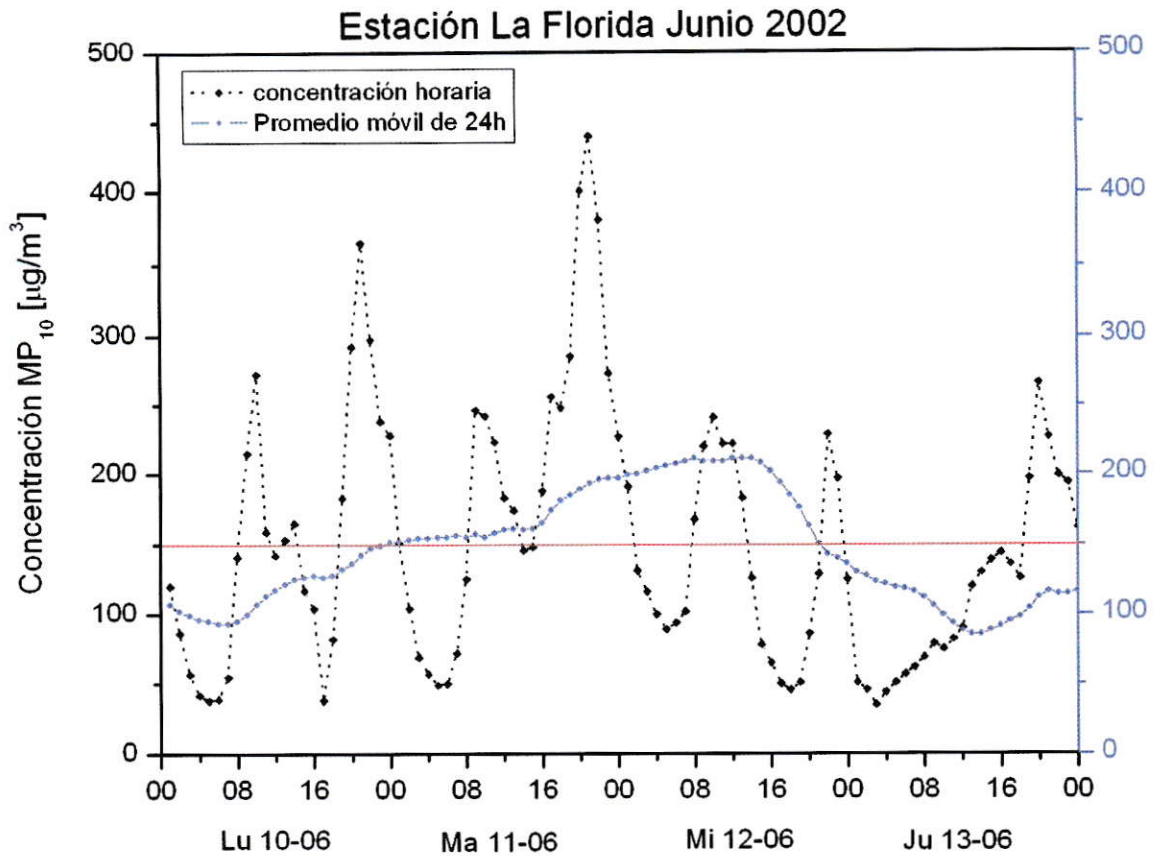


Figura 4: Perfil diario de un episodio crítico en la estación La Florida.

Una norma debe ser eficaz, vale decir, debe cumplir el objetivo para el cual fue establecida, tanto desde un punto de vista temporal como espacial. Una norma primaria de calidad de aire, tiene como objetivo proteger la salud de las personas, por lo tanto para ser eficaz debe contener herramientas que hagan posible la reducción de emisiones a tiempo.

▼ Hipótesis

Debido a que los episodios críticos ocurren, en general, con máximos de concentración de material particulado en un rango de alrededor de 10 horas, el promedio móvil de 24 horas no representa la situación física de la atmósfera con respecto a la concentración real de partículas.

▼ Objetivo General

⊕ Evaluar mediante un análisis comparativo las mediciones de concentración horaria de MP-10 v/s el promedio móvil de 24 horas para los días de episodios críticos de material particulado respirable en el período 1999-2002.

▼ Objetivos Específicos

⊕ Clasificar los episodios críticos de contaminación por partículas y comparar en ellos, el promedio móvil de 24 horas con la concentración horaria.

⊕ Identificar características cíclicas del comportamiento de la concentración horaria en episodios críticos.

⊕ Evaluar el desfase temporal y la subestimación de la concentración horaria de partículas que se produce en el promedio móvil de 24 horas, a través del análisis de los parámetros calculados desde los perfiles diarios en episodios críticos.

II.- DATOS Y METODOLOGÍA

Los datos utilizados para el desarrollo de este trabajo provienen de la red oficial de monitoreo de calidad de aire de la ciudad de Santiago, red MACAM-2 que en la actualidad cuenta con siete estaciones. La información empleada en este estudio corresponde a la *concentración horaria* de material particulado respirable de cada una de las estaciones para el período comprendido entre enero del año 1999 y octubre del año 2003. La figura 5 indica el nombre y la ubicación de las estaciones que componen la red MACAM-2.

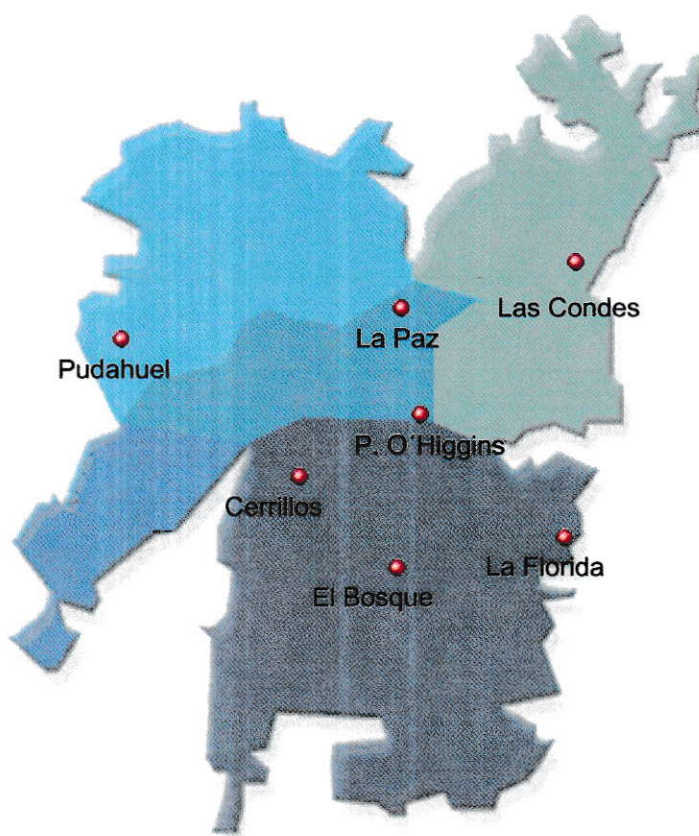


Figura 5: Red oficial de monitoreo de calidad de aire, red MACAM-2.

La medición de MP-10 en estas estaciones se efectúa mediante un equipo TEOM (Tapered Element Oscilating Microbalance), el cual es un sistema de *medición continua*, vale decir, tiene una resolución temporal de algunos minutos lo que permite conocer la concentración de partículas en tiempo real. Con estos datos y el cálculo de la media aritmética, se puede construir el promedio horario y a partir de éste último el promedio diario (promedio móvil de 24 horas). La figura 6 muestra un diagrama esquemático de un equipo TEOM.

De las estaciones presentadas en la figura 5, Pudahuel es la que reviste mayor interés, en términos de los niveles de concentración de partículas que allí se miden, por lo que en la evaluación de la calidad de aire es conveniente analizar el caso de esta estación por separado. En el lado opuesto, en la estación Las Condes se miden concentraciones de MP-10 que sólo superan la norma un 0,2% de las horas con datos disponibles (período 1999-2003) y en la cual no se registran episodios críticos de material particulado, por lo que será excluida del análisis. Las demás estaciones presentan niveles de concentración de partículas similares entre sí, por lo que serán analizadas en conjunto.

La calidad de los datos recogidos por la red es aceptable, a pesar de que existen períodos en que ocurre pérdida de información durante algunas horas. Esto no genera mayores inconvenientes para la realización del presente estudio ya que la información debe pasar primero por una etapa de validación. Sin embargo, es relevante en el caso de una situación de emergencia ambiental, en donde la autoridad competente debe decidir si decretar o no medidas, sin la cantidad de información necesaria.

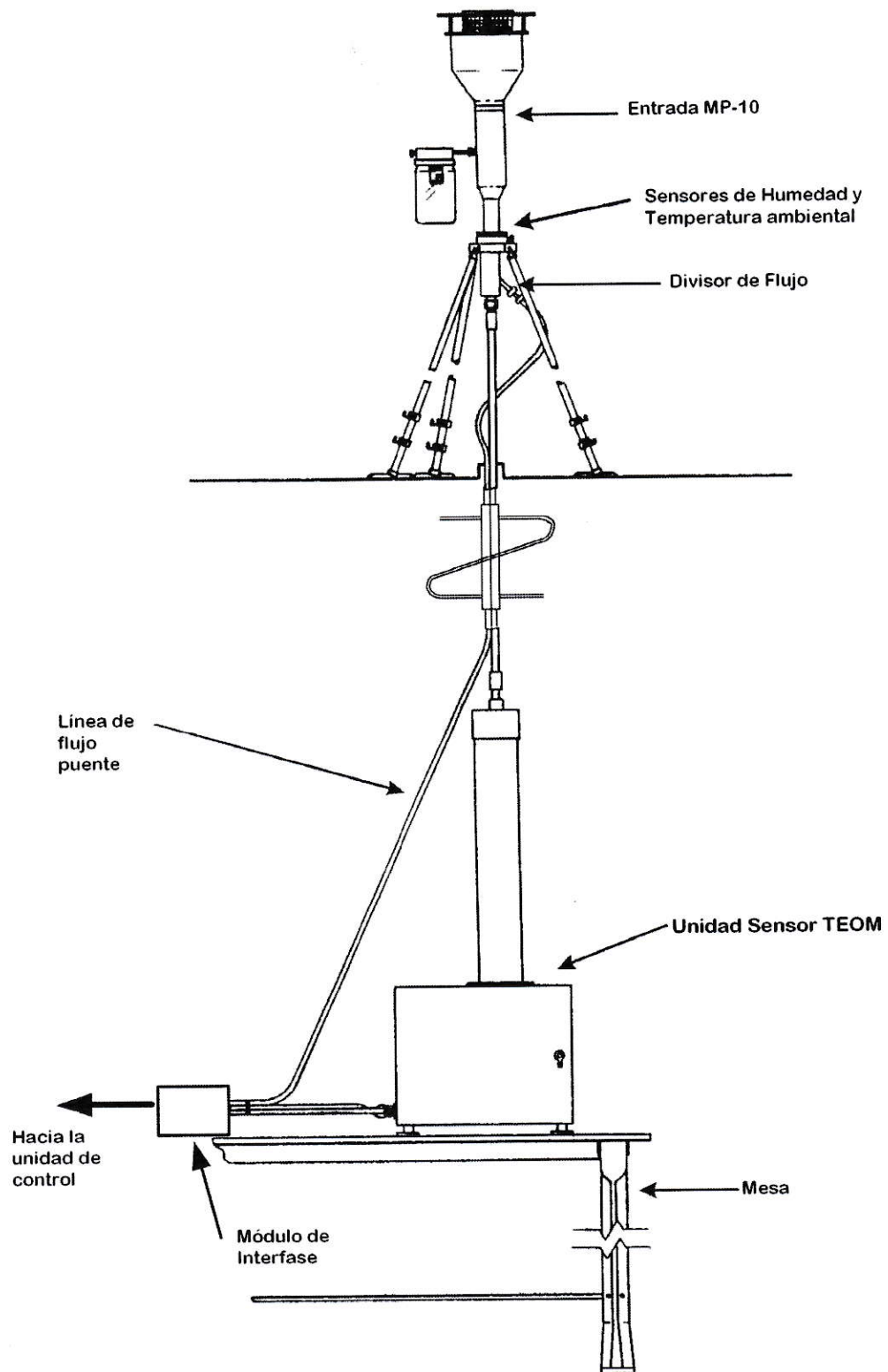


Figura 6: Diagrama equipo TEOM (Tapered Element Oscilating Microbalance).

La figura 7 muestra la estación de medición ubicada en el Parque O'Higgins y un acercamiento a los colectores de muestra de la estación.



Figura 7: Estación de monitoreo Parque O'Higgins (fuente: CONAMA-RM).

➤ Validación de los datos

La validación de los datos se realizó considerando los criterios de la norma, vale decir, se seleccionan como válidos las series de datos que contienen al menos el 75% de los valores necesarios para hacer efectivo el cálculo del promedio de tiempo que establece el estándar de calidad de aire. En el caso de las partículas es un promedio móvil de 24 horas, por lo que se requiere de al menos 18 horas de datos para hacer válida la aplicación de la norma.

Una vez que se tiene la concentración horaria de MP-10 y la concentración promedio de 24 horas de todo el período de información disponible, se seleccionan del total de datos los episodios críticos de material particulado según un criterio general, formulado en base a la intensidad de los niveles de concentración alcanzados por el promedio móvil de 24 horas. Con estos datos se construyen los perfiles diarios en episodios críticos, que consisten en una gráfica que reúne la información correspondiente entre tres y cinco días de datos a cada hora.

Al observar los perfiles diarios es posible tipificar los episodios en cuanto al comportamiento que tiene la concentración horaria de partículas, encontrándose patrones comunes entre los perfiles, en cuanto a la duración, periodicidad de los máximos, hora del día en que ocurren, etc.

Posteriormente, resulta conveniente agrupar los perfiles diarios de episodios críticos en función de los niveles alcanzados en la concentración horaria de material particulado, de modo de clasificar los episodios en base a la peligrosidad de estos niveles, que entregan una descripción mas cierta de la concentración de partículas de la atmósfera y por lo tanto constituyen un buen parámetro para evaluar el efecto agudo del MP₁₀ en las personas.

La figura 8 resume cada una de las etapas del estudio, algunas de las cuales serán desarrolladas con detalle en la sección de resultados.

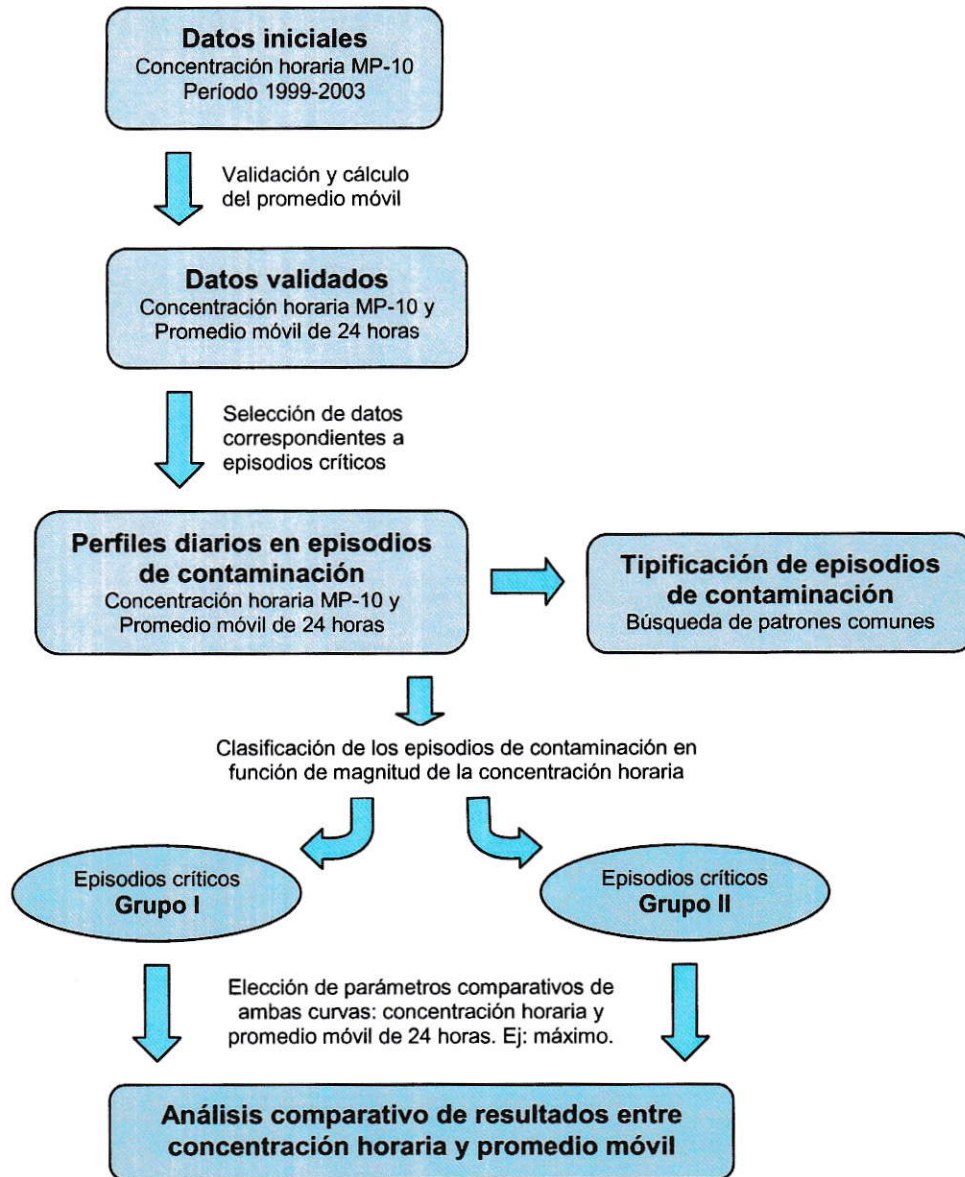


Figura 8: Diagrama simplificado de la metodología utilizada para evaluar el promedio móvil de 24 horas en episodios de contaminación.

Las últimas líneas de la figura anterior representan la etapa más extensa e importante de la evaluación del promedio móvil de 24 horas como indicador de calidad de aire, ya que consiste en extraer de los perfiles diarios características propias de cada curva (concentración horaria y promedio móvil de 24 horas), como el área o el máximo, de manera que sirvan como parámetro comparativo al momento de evaluar el comportamiento del promedio móvil de 24 horas con respecto a la concentración horaria de material particulado, que representa la situación física mas efectiva en relación con el contenido de partículas de la atmósfera en un momento dado. El desarrollo de esta etapa del estudio será abordado en extenso en la sección de resultados y discusión del presente escrito.

En el anexo C (disco compacto adjunto) se presentan planillas de Microsoft Excel con los datos de concentración horaria de MP_{10} y promedio móvil de 24 horas para los meses de otoño-invierno correspondientes al período 1999-2002.

III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

• Selección de episodios de contaminación por MP_{10} .

Para seleccionar del total de datos los correspondientes a días con episodios de alta contaminación, es necesario formular un criterio que defina un episodio como tal. El criterio debe estar determinado en función de la magnitud que alcance el promedio móvil de 24 horas, ya que éste es el estándar de calidad de aire para MP_{10} vigente en nuestro país.

En el decreto supremo N° 59 del SEGPRES, se establece como situación de emergencia ambiental o episodio crítico cuando la concentración promedio de 24 horas supera el valor de $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$, decretándose en este caso una situación de alerta ambiental. Sin embargo, el estándar aceptable es de $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio de 24 horas, por lo tanto existe un rango de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el que no se toma ningún tipo de medidas para proteger a los grupos más sensibles de la población (niños, ancianos y enfermos obstructivos pulmonares crónicos), que según la USEPA, ven afectado su estado de salud en estos niveles ($>150 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

En este trabajo hemos definido un nuevo parámetro denominado episodio de contaminación por MP_{10} (EC- MP_{10}), a todas aquellas situaciones en las que la concentración promedio móvil de 24 horas supera por más de ocho horas consecutivas el valor del estándar nacional de calidad de aire para partículas ($150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Nos hemos visto en la necesidad de formular esta precisión (EC- MP_{10}), atendiendo a que la norma chilena (D.S. 90), a diferencia de otras normas internacionales, establece el rango $150\text{-}195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como calidad de aire regular, sabiéndose que este margen de

concentración afecta a grupos de la población que son vulnerables al particulado atmosférico.

Este criterio permite además, incluir en el análisis episodios de contaminación que ocurren en corto período de tiempo, en el cual la concentración horaria alcanza niveles muy altos, circunstancias en las que el promedio móvil de 24 horas, por lo general, no alcanza a superar los $195 \mu\text{g}/\text{m}^3$ utilizados en nuestra normativa. La figura 9 presenta la cantidad de datos seleccionados desde el total de datos validados según este criterio de EC-MP₁₀.

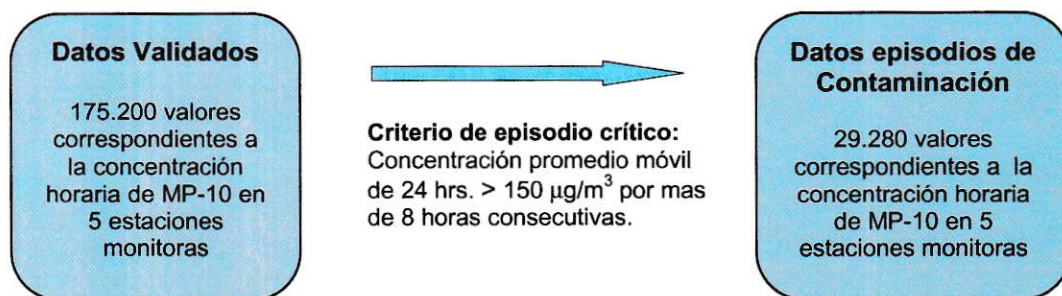


Figura 9: Selección de episodios de contaminación por MP₁₀.

El anexo A presenta los perfiles diarios seleccionados según este criterio, separados por estación y ordenados cronológicamente.

En virtud de la magnitud y frecuencia de los episodios de contaminación, fueron seleccionadas cinco estaciones monitoras para realizar la evaluación del promedio móvil de 24 horas. Estas son: Pudahuel, El Bosque, La Florida, Parque O'Higgins y Cerrillos. En la figura 10 se muestra la abundancia relativa de los episodios de contaminación en estas estaciones, con un total de 244 episodios en el período 1999-2002.

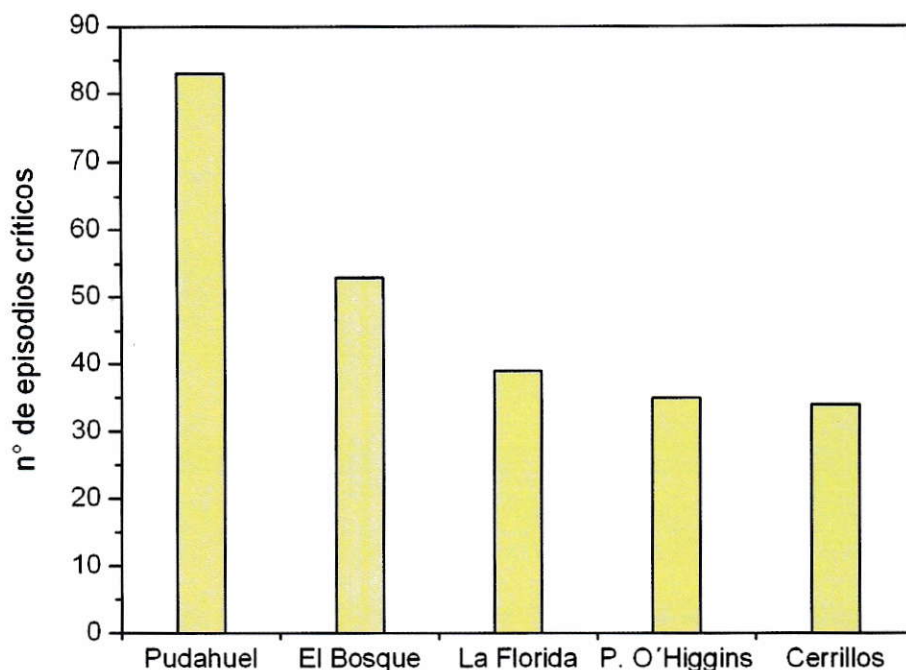


Figura 10: Distribución espacial de episodios de contaminación en la ciudad de Santiago, período 1999-2002.

En esta figura se puede apreciar como en la estación Pudahuel se registra la mayor cantidad de episodios, llegando incluso a duplicar la cantidad de situaciones en que se supera el estándar de calidad de aire en las estaciones La Florida, Parque O'Higgins o Cerrillos.

La estación Pudahuel registra además los episodios de contaminación más peligrosos, dado que se alcanzan concentraciones muy altas ($>500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en períodos de tiempo relativamente cortos, entre ocho a doce horas. Esta situación sólo puede apreciarse en toda su magnitud observando el perfil de concentración horaria, ya que por lo general, queda inadvertida siguiendo la concentración promedio móvil de 24 horas, la cual responde con un desfase de tiempo significativo y cuantificable a los máximos que ocurren en la concentración horaria de MP_{10} .

➤ Características de los episodios de contaminación por MP_{10}

Resulta difícil realizar una descripción general sobre las características de los episodios de contaminación, dado que presentan un comportamiento bastante aleatorio, que responde principalmente a las condiciones atmosféricas predominantes en la cuenca y al patrón diario de emisiones que se produce por los horarios de desplazamiento de los vehículos motorizados.

No obstante lo anterior es posible establecer que los episodios se producen con incrementos repentinos de la concentración horaria de partículas, seguida de un máximo que luego desciende mas gradualmente hasta niveles aceptables, en un ciclo que tiene una duración media de 12 horas en la estación Pudahuel y de 8 horas en el resto de las estaciones analizadas.

Los máximos ocurren por lo general en la noche, después de las 19:00 horas producto del descenso de la temperatura superficial y del efecto acumulativo que se produce por las emisiones a lo largo del día. En algunas ocasiones se dan también máximos en la mañana, después de las 09:00 hrs., que se corresponden con las emisiones tempranas del sector transporte, sin embargo, con el aumento de temperatura del mediodía estos máximos se ven disminuidos y por lo general, son de menor intensidad y de menor duración que los correspondientes nocturnos.

La duración total de los episodios de contaminación, vale decir, la sumatoria de todos los máximos consecutivos ocurridos, es muy variable, con un mínimo de un día y una media de tres días. En casos excepcionales han ocurrido episodios de contaminación con máximos nocturnos consecutivos durante más de diez días, en donde las condiciones meteorológicas y el nivel de emisiones se mantienen desfavorables para la calidad de aire de la ciudad.

La mayor parte de los episodios de contaminación se concentra en los meses de mayo, junio y julio, con algunos casos en abril, agosto y septiembre; en los meses restantes del año no se registran episodios de contaminación por MP_{10} en ninguna de las estaciones analizadas. En los meses cálidos, es decir, período octubre-marzo, el promedio móvil de 24 horas demuestra ser un buen indicador de calidad de aire, dado que como no hay máximos agudos de concentración horaria, el promedio móvil de 24 horas puede representar bien al promedio horario.

Existen episodios de contaminación en que el promedio móvil de 24 horas resulta ser una buena herramienta para representar la concentración de material particulado y expresar la calidad de aire en un momento dado. Tal es el caso presentado en la figura 11, en donde, efectivamente el promedio móvil de 24 horas sigue la misma tendencia que la concentración horaria de MP_{10} . En el eje de tiempo se representa la fecha y las horas correspondientes a cada día. Las líneas horizontales muestran los niveles que implican la superación del estándar y las situaciones de emergencia ambiental establecidas en la norma chilena.

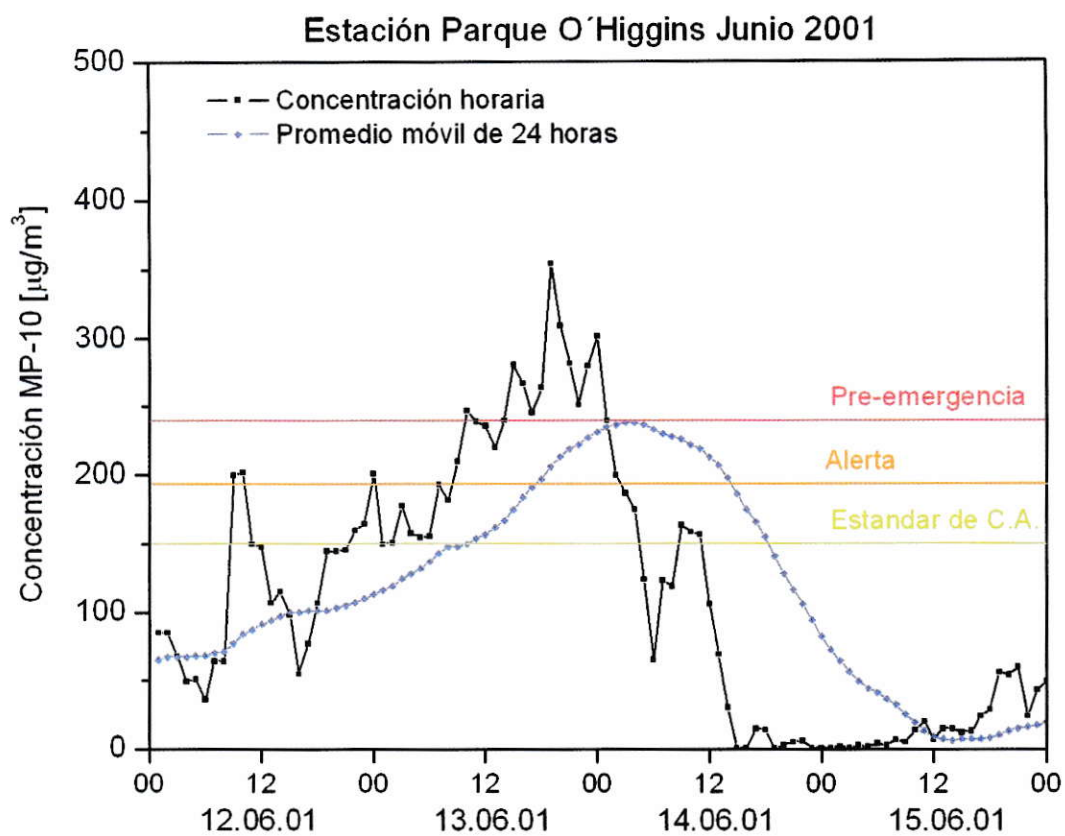


Figura 11: El promedio móvil de 24 horas se ajusta a la concentración horaria de MP_{10} en un perfil diario.

Lamentablemente, este es un caso excepcional, que se observó en menos del 2% de los casos analizados, y en donde se produce un aumento gradual de la concentración de partículas durante 24 horas, tiempo suficiente para que el promedio móvil de 24 horas alcance a manifestar un aumento importante. Luego se produce el descenso de la concentración horaria en alrededor de 12 horas, haciendo que el promedio móvil también disminuya al mismo nivel, en un período de tiempo razonable.

• Tipificación de episodios de Contaminación

Luego de observar los 244 casos de episodios de contaminación, es posible establecer algún grado de similitud entre los perfiles diarios graficados. Es así como surgen ciertas características comunes o patrones en los diferentes perfiles diarios, como la periodicidad, la duración total o simplemente la forma de las bandas de concentración horaria, que permiten clasificar los episodios de contaminación en diferentes tipos o casos, que sólo pretenden describir de manera simplificada la gran cantidad de complejos fenómenos que configuran un perfil diario determinado.

Caso n° 1: Máximo simple nocturno

Este es el caso mas frecuente en los perfiles diarios analizados, se caracteriza por el desarrollo de una única banda aguda de concentración horaria a partir de las 17:00 hrs. que alcanza un máximo alrededor de la media noche y decae en el transcurso de la madrugada. Este tipo de episodio crítico resulta difícil de pronosticar ya que los niveles de concentración se presentan bajos en los días anteriores al episodio y por otro lado el incremento de la concentración se produce en sólo algunas horas.

Dado que el máximo es en la noche se hace muy complicado implementar medidas que sirvan de algo, ya que al día siguiente la concentración vuelve a la normalidad.

El promedio móvil en estos casos, experimenta un aumento tardío con respecto a la concentración horaria, alcanzando un máximo cuando esta última ya ha vuelto a niveles aceptables, por lo que solo confunde la situación indicando que la calidad de aire es mala durante todo el día, en circunstancias en que el episodio de contaminación ya ocurrió.

La figura 12, representa un episodio de este tipo ocurrido en el invierno de 1999 en la estación Pudahuel. En este episodio se alcanza un máximo de $771 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a las 22:00 horas, concentración que indudablemente produce un efecto agudo importante en la población expuesta a estos altísimos niveles en un corto tiempo.

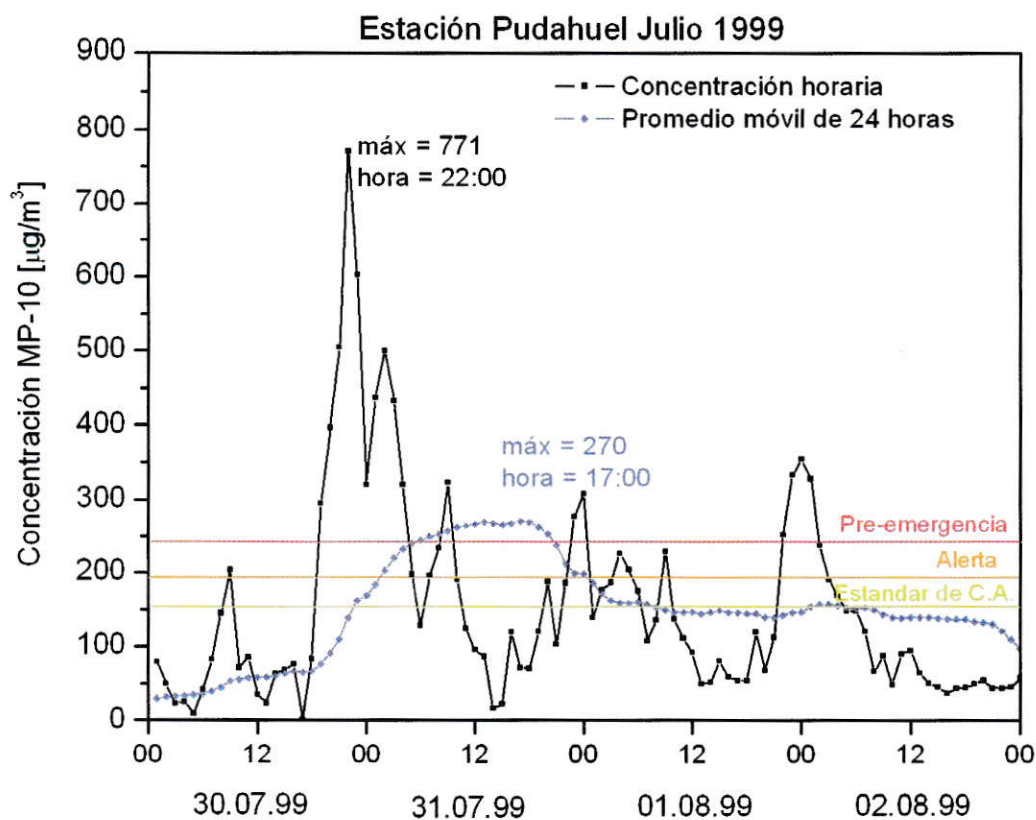


Figura 12: Casos de episodios de contaminación - Máximo simple nocturno.

Caso n° 2: Máximo múltiple creciente

Este tipo de episodio crítico se asemeja al primer caso en que las bandas de concentración horaria se desarrollan en la noche y tienen una duración similar, sin embargo, en este caso la duración total del episodio es mayor, ya que se producen bandas nocturnas consecutivas durante varios días con intensidad máxima creciente.

En estos episodios, el promedio móvil de 24 horas muestra un aumento gradual en su valor a medida que se producen mas bandas consecutivas. El principal inconveniente en estos casos es que el promedio móvil no advierte las bandas de concentración horaria iniciales del episodio, dado que estas son de menor intensidad y duración que las ulteriores, impidiendo que se tomen medidas de reducción de emisiones de carácter preventivo, que podrían evitar el desarrollo posterior de los máximos más nocivos.

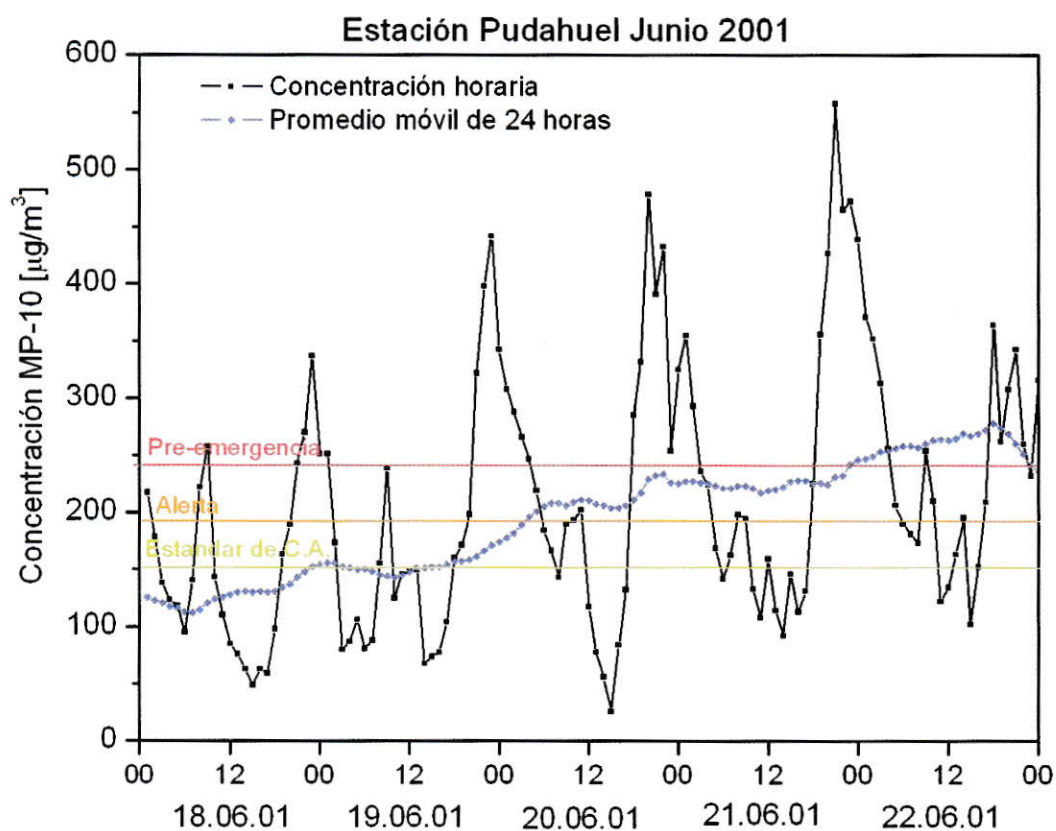


Figura 13: Casos de episodios de contaminación - máximo múltiple creciente.

Caso n° 3: Máximo múltiple decreciente

La figura 14 muestra un episodio crítico con las características de máximo múltiple decreciente, caso que ocurre con una frecuencia menor que el anterior.

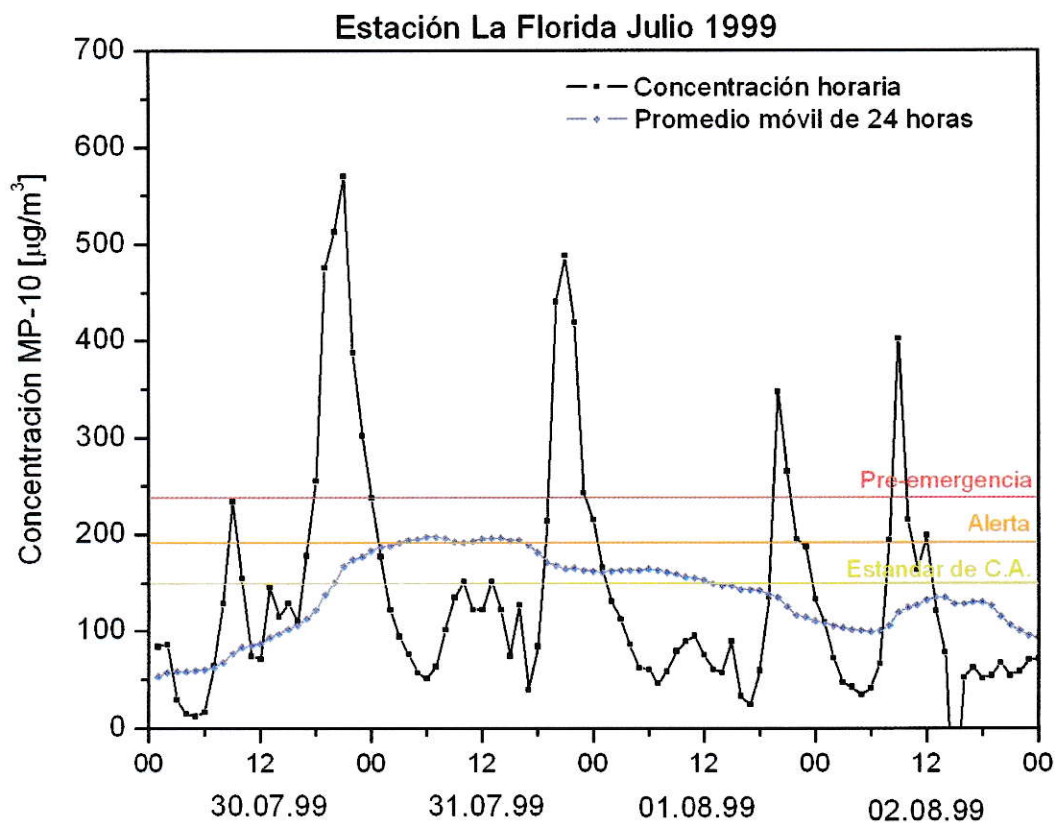


Figura 14: Casos de episodios de contaminación - máximo múltiple decreciente.

Al igual que antes, en este caso los máximos ocurren con mayor intensidad en la noche, lo que impide la posibilidad de efectuar alguna medida de reducción de emisiones oportuna. Sin embargo, a diferencia del caso n° 1, en éste las bandas siguen ocurriendo en los días posteriores, lo que se puede entender considerando por un lado, que las condiciones atmosféricas adversas en la cuenca se mantienen,

aunque en decaimiento, y por otro que las medidas de reducción de emisiones (en caso que existan) decretadas a raíz del primer máximo no son suficientes para evitar las exposiciones agudas posteriores de la población.

Caso n° 4: Máximo múltiple mixto

Este tipo de episodio corresponde a una combinación de los dos casos anteriores, en donde se desarrollan inicialmente bandas nocturnas periódicas de intensidad creciente, que luego, se ven atenuadas por una mejoría en las condiciones para la dispersión vertical de las partículas y/o por el efecto de las medidas de reducción de emisiones. La figura 15 muestra un episodio crítico con este comportamiento.

Naturalmente, las dificultades del promedio móvil para advertir el episodio crítico en un estado temprano y la imposibilidad de ejecutar medidas sobre las emisiones oportunamente, también son aplicables en este tipo de episodio.

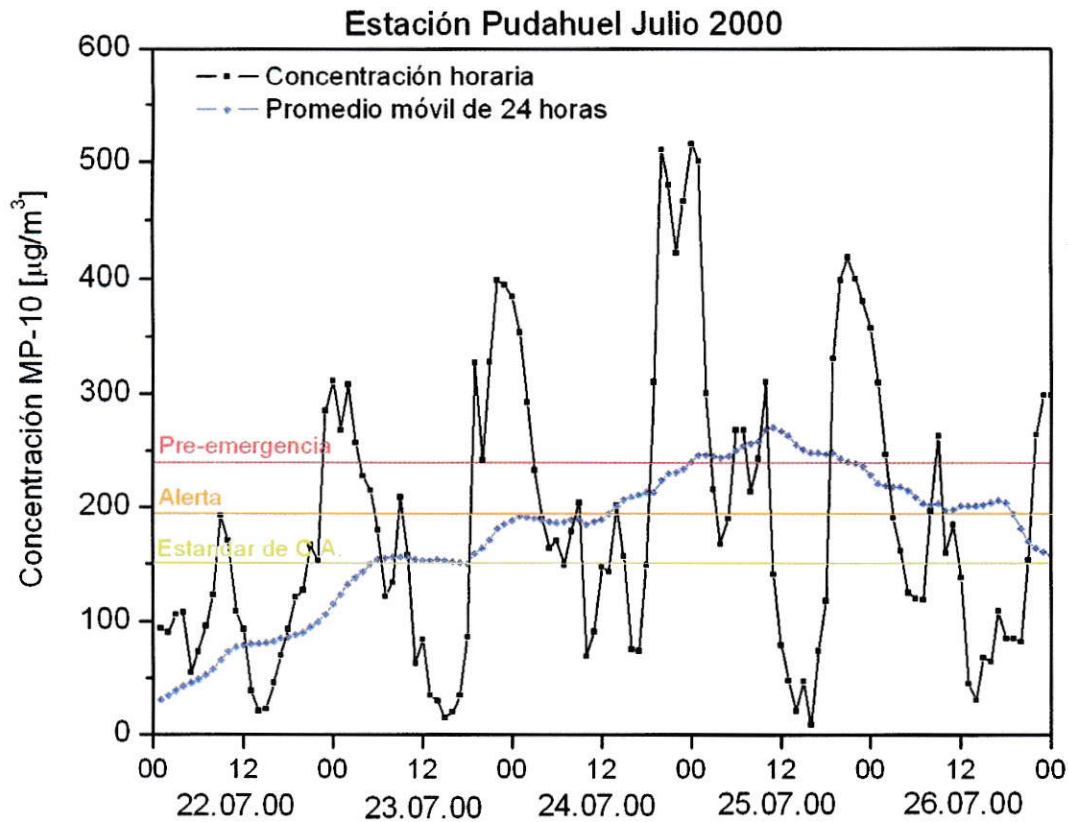


Figura 15: Casos de episodios de contaminación - Máximo múltiple mixto.

Caso n° 5: Máximo múltiple periódico

Este caso corresponde al último tipo de episodio observado en los perfiles diarios. El comportamiento de la concentración horaria en este caso es muy inestable, ya que se producen bandas periódicas de similar intensidad y duración, tanto en la mañana como en la noche. Por otra parte, no se aprecia en estos casos un patrón creciente o decreciente en los máximos, por lo que el promedio móvil de 24 horas tiende a ser invariable en el tiempo.

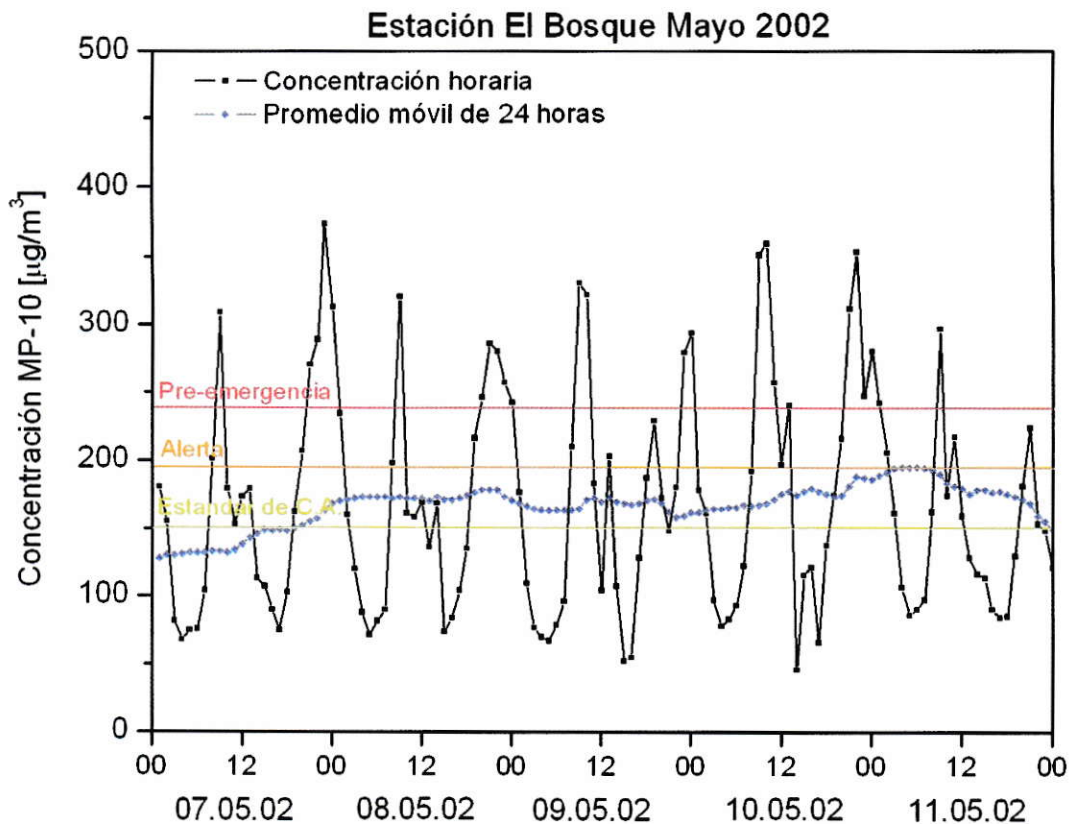


Figura 16: Casos de episodios de contaminación - Máximo múltiple periódico.

Es importante mencionar que, del total de episodios críticos observados, hay algunos que no es posible enmarcar en alguno de los casos antes presentados, ya sea porque presentan un comportamiento muy particular o bien porque sus características se encuentran en un grado intermedio entre dos o más de los casos descritos. Esto es una prueba de la complejidad del fenómeno de contaminación atmosférica por partículas que ocurre en la ciudad de Santiago, en donde la emisión de partículas sigue un patrón diario relativamente invariante y las condiciones meteorológicas determinan en gran medida la calidad de aire presente en la cuenca.

• Correlación entre promedio móvil y concentración horaria

Con el objetivo de evaluar la concentración promedio de 24 horas con respecto a la concentración horaria en los episodios de contaminación, se procedió a extraer del total de datos validados los correspondientes al máximo diario de concentración horaria y el promedio móvil de 24 horas a la misma hora de este máximo. Este procedimiento permite determinar cuánto se aleja el valor del promedio móvil de 24 horas del correspondiente valor horario, en el momento en que está ocurriendo la concentración horaria máxima de partículas de cada día. Una vez que se extraen estos valores del total de datos, se puede establecer la correlación entre ambos, en donde cada uno de los días con datos válidos genera un punto en el gráfico.

En esta correlación es posible agrupar la información correspondiente a varios años y a varias estaciones, lo cual permite evaluar el parámetro promedio móvil de 24 horas en todas las situaciones temporales y espaciales. Por otra parte, permite conocer también el comportamiento del promedio móvil en días con nivel de calidad de aire aceptable, puesto que la correlación incorpora todos los días que cuenten con información válida.

La Figura 17 muestra la correlación obtenida para los datos correspondientes las estaciones Pudahuel, La Florida, Parque O'Higgins y Las Condes en el período comprendido entre enero de 1999 y septiembre de 2003.

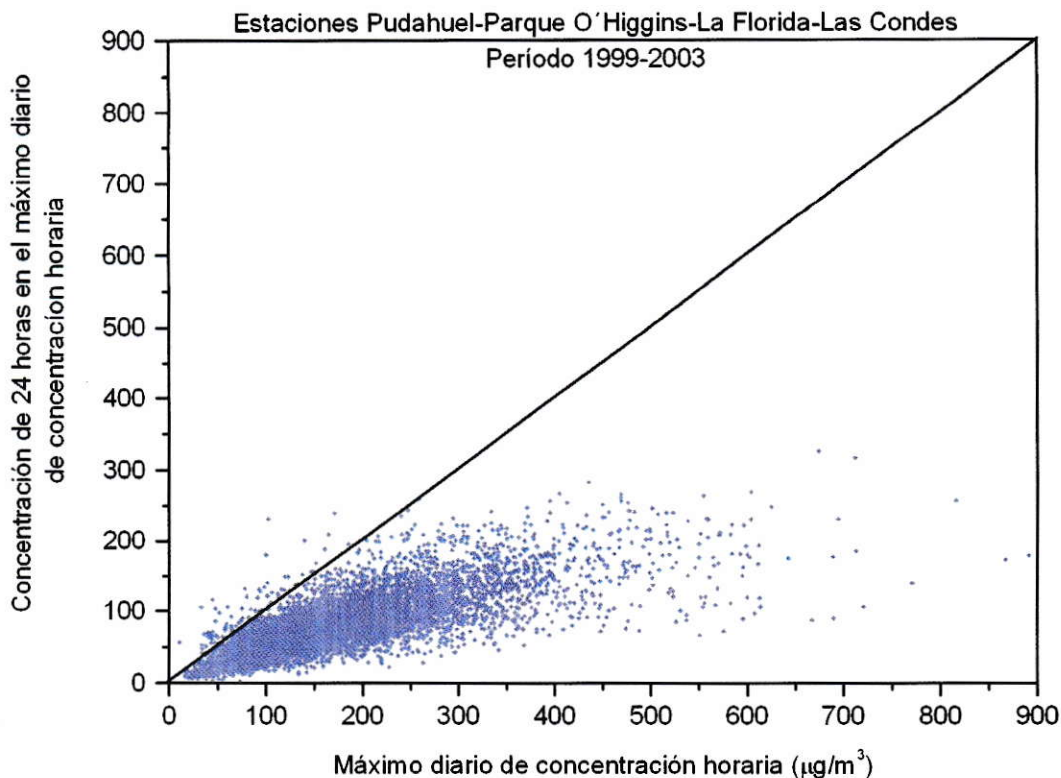


Figura 17: Correlación entre máximo diario de concentración horaria y promedio móvil de 24 horas a la misma hora del máximo.

La correlación muestra que el valor del promedio móvil de 24 horas y el de la concentración horaria se aproximan correctamente en casos en que el máximo diario de concentración horaria de partículas es un valor bajo ($< 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), vale decir, en los días de calidad de aire buena. No obstante, en la medida que los máximos diarios alcanzan valores más altos, el valor correspondiente del promedio móvil de 24 horas se aleja más sustancialmente de valor de la concentración horaria.

En otras palabras, cuando se producen episodios críticos, específicamente, cuando ocurre el máximo de concentración horaria de partículas del episodio crítico, el promedio móvil de 24 horas alcanza un valor que se distancia del máximo horario tan

claramente como aguda resulte la banda de concentración horaria de partículas en el episodio.

La Correlación obtenida para los datos de la estación Pudahuel se presenta en la figura 18, en la que se puede apreciar menos dispersión de puntos que en la figura anterior, y en donde se aprecia el mismo comportamiento mas acentuado.

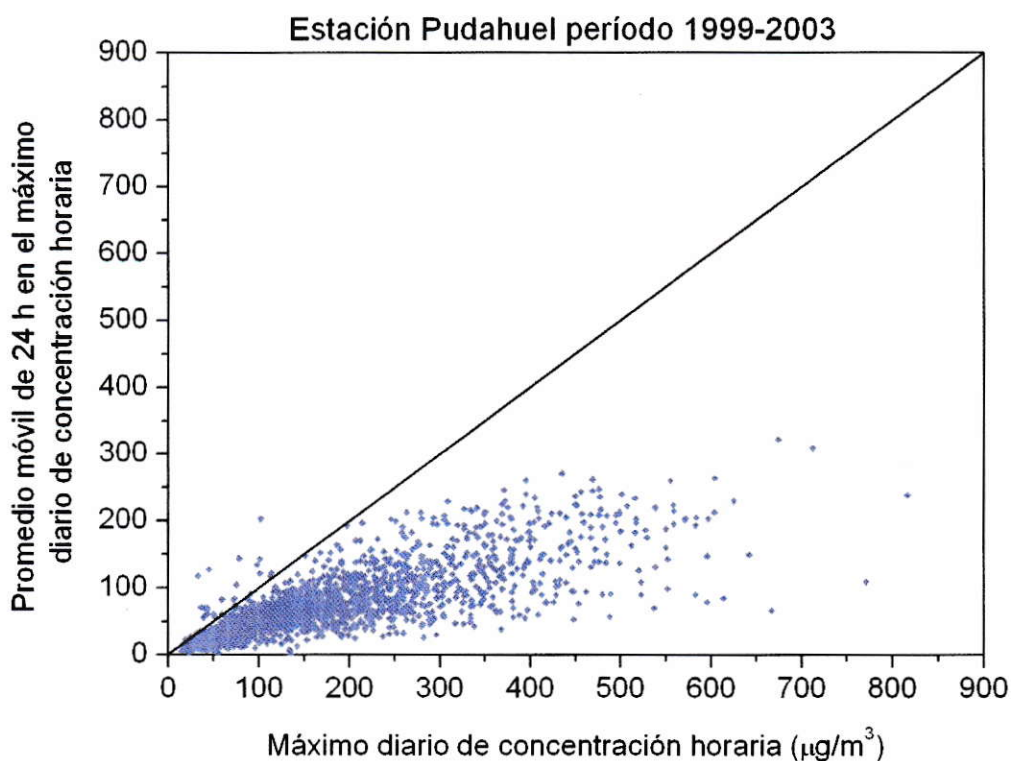


Figura 18: Correlación entre máximo diario de concentración horaria y promedio móvil de 24 horas a la misma hora del máximo. Estación Pudahuel.

El análisis de correlación es concluyente al demostrar la subestimación de la concentración horaria de partículas en episodios críticos, que se produce por el uso del promedio móvil de 24 horas como único parámetro del indicador de calidad de aire.

La razón de esta subestimación de la concentración horaria o actual de partículas se debe a la extensión del promedio móvil, el cual, al considerar una ventana tan amplia de horas, incluye además de las bandas de concentración horaria que dan origen a los episodios críticos, a los períodos entre bandas, lo que provoca que el promedio móvil de 24 horas no pueda reflejar la concentración real de partículas en un momento dado.

➤ Análisis de los perfiles diarios

Clasificación de episodios de contaminación en función de su peligrosidad

Del total de perfiles diarios seleccionados según el criterio $> 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante más de ocho horas consecutivas, resulta conveniente agrupar los episodios de contaminación en función de su peligrosidad para la salud de la población. En este sentido, se hace necesaria la elaboración de criterios de clasificación de episodios, fundamentados en los niveles de concentración horaria de MP_{10} , ya que estos representan de mejor manera la calidad de aire real a la que está expuesta la población en las situaciones de emergencia ambiental.

El primer criterio de selección conforma el grupo I, que consiste en episodios de contaminación cuyo máximo de concentración horaria se encuentra por sobre $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este criterio se fundamenta considerando que con estos máximos, la altura media de la banda de concentración horaria que genera el episodio de contaminación queda por sobre el nivel de pre-emergencia ambiental ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

El grupo II corresponde a episodios de contaminación que tienen máximos de concentración horaria en el rango de 390 - 479 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que implica que la altura media de la banda del episodio queda en el nivel de alerta ambiental (195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Estos criterios permiten extraer del total de episodios de contaminación, aquellos mas peligrosos para la salud, por lo que es conveniente designarlos como **episodios críticos de contaminación**, puesto que además, en ambos grupos de episodios, el promedio móvil de 24 horas supera el valor de 195 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, considerado en la norma chilena como criterio para definir un episodio crítico.

Los criterios escogidos permiten en una etapa posterior, evaluar el ancho a media altura de las bandas características de cada grupo de episodios, el cual indica el tiempo en que los niveles de concentración de MP-10 se encuentran efectivamente perjudicando la salud de la población.

La figura 19 presenta los criterios elegidos y su relevancia en términos de la intensidad de las bandas de concentración horaria que se desarrollan en episodios críticos.

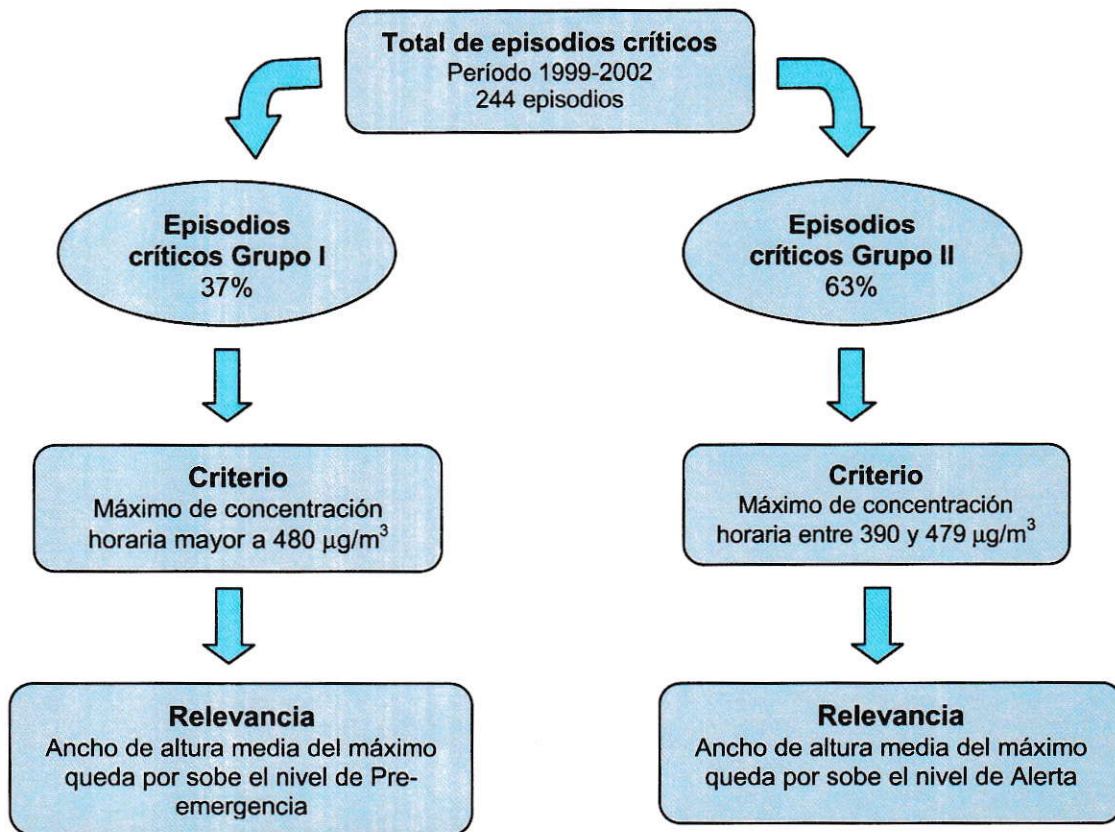


Figura 19: Criterios de clasificación de episodios críticos según niveles concentración horaria de MP-10.

Al agrupar los episodios críticos de las diferentes estaciones de medición según estos criterios, se observa nuevamente que la estación Pudahuel concentra gran parte de los episodios, sin embargo, las tendencias particulares son específicas para cada grupo de episodios críticos. La Figura 20 muestra la distribución de los episodios críticos para cada grupo en las estaciones analizadas.

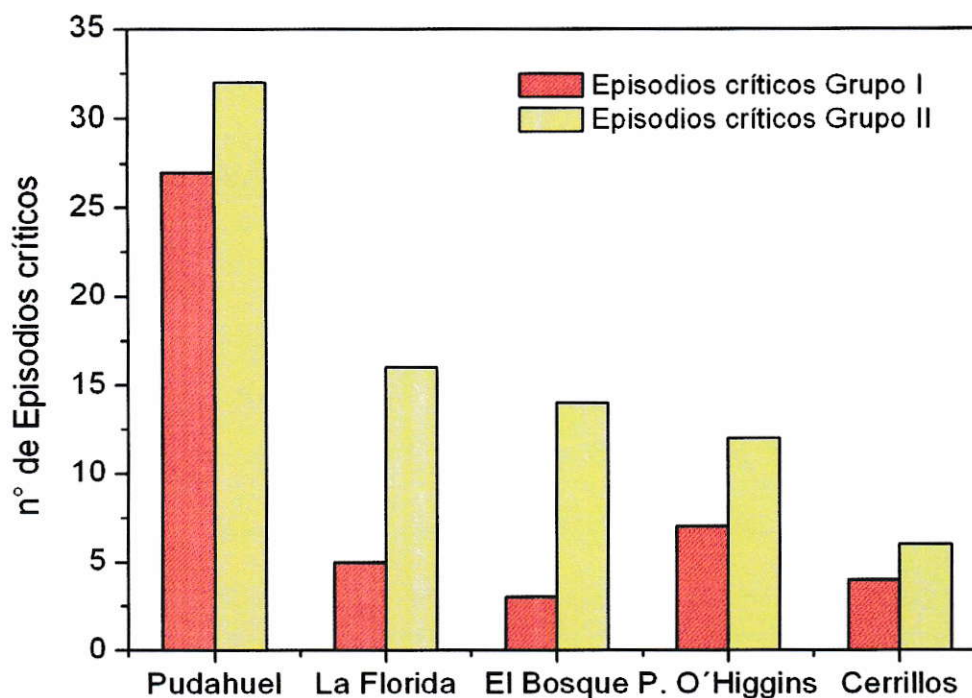


Figura 20: Distribución de episodios críticos en las estaciones de monitoreo, agrupados según de la peligrosidad del nivel de concentración horaria de MP_{10} .

En los episodios correspondientes al grupo II se obtiene un comportamiento similar al encontrado en la figura 10 a excepción del orden de importancia entre la estación La Florida y la estación El Bosque. En el grupo I se aprecia una distribución marcadamente distinta, con un 58,7% de los episodios críticos ocurridos en la estación Pudahuel, y una distribución en orden de importancia completamente distinto para el resto de las estaciones. Esto confirma la idea de un tratamiento separado para los episodios críticos ocurridos en la estación Pudahuel, dado que además de concentrar gran parte del total de episodios críticos de ambos grupos, el comportamiento observado en los máximos de concentración horaria de los perfiles diarios es notoriamente más nocivo tanto por la intensidad de las bandas como por su duración.

Parámetros comparativos entre concentración horaria y promedio móvil

La etapa siguiente para evaluar el promedio móvil de 24 horas en episodios críticos es el análisis de los perfiles diarios encontrados. Particularmente, el análisis de diferentes parámetros extraídos desde cada una de las curvas de los perfiles diarios, concentración horaria y promedio móvil. Los parámetros, que son una característica propia de cada curva, como el máximo o la duración de la banda, permiten evaluar el desempeño del promedio móvil como base del indicador de calidad de aire.

El primer parámetro de interés corresponde al máximo de cada curva en los episodios críticos seleccionados. Esto permite, al igual que el análisis de correlación, demostrar la subestimación de la concentración actual (horaria) que ocurre con el promedio móvil de 24 horas.

Una segunda característica de los perfiles, que proporciona información relevante para describir los episodios críticos y para evaluar el promedio móvil, es la hora del día o la noche en que ocurren los máximos de ambas curvas. Este parámetro proporciona una tendencia sobre el horario más frecuente en el que se producen los máximos de concentración horaria, por lo que es muy útil desde el punto de vista descriptivo. Por otro lado, la hora de los máximos permite estimar el desfase temporal que ocurre en el máximo del promedio móvil, con respecto al correspondiente de concentración horaria, lo cual es un indicador del retardo en la respuesta del promedio móvil a los cambios que ocurren en la concentración horaria de MP-10.

El ancho de banda a media altura ($A_{H/2}$) de los máximos proporciona un parámetro adicional que permite evaluar el tiempo de exposición de la población a niveles superiores a los establecidos en los criterios de agrupación de episodios críticos.

La figura 21 muestra los parámetros utilizados para evaluar el promedio móvil de 24 horas en un episodio crítico ocurrido en la estación Pudahuel.

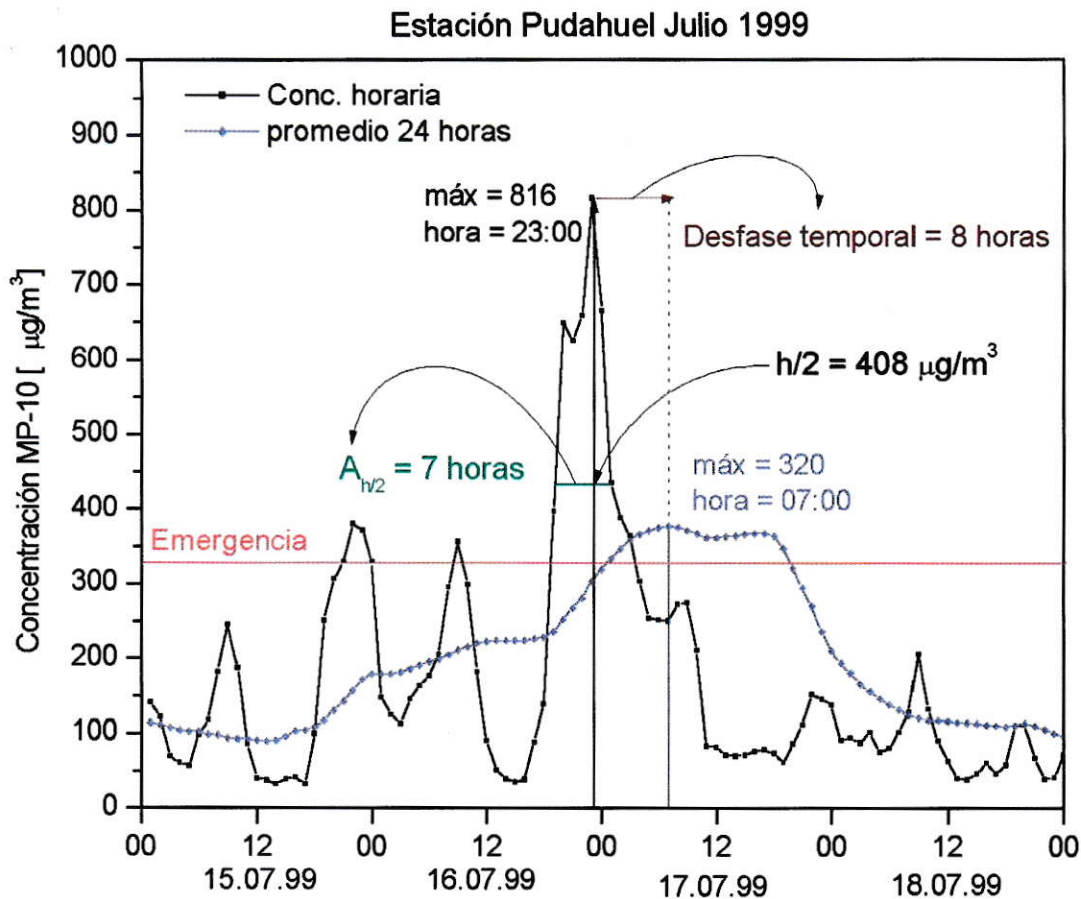


Figura 21: Parámetros seleccionados para evaluar el promedio móvil de 24 horas en episodios críticos.

En el Anexo B se encuentra la información correspondiente a estos parámetros para cada una de las curvas de episodios críticos incluidos en el análisis, separado por estación y grupo de episodios.

Análisis de resultados extraídos de los perfiles diarios

Como ya se indicó, los resultados serán analizados en forma separada para la estación Pudahuel y en forma conjunta para el resto de las estaciones, puesto que estas últimas presentan un número similar de episodios críticos con características de intensidad y duración también parecidas. La tabla 2 resume los resultados obtenidos para los episodios críticos del grupo II.

Tabla 2: Resumen de resultados para episodios críticos del Grupo II.

Parámetro comparativo	Estación Pudahuel		Estación PO-EB-LF-CE	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Desfase temporal [horas]	9,7	6,0	8,6	5,1
Ancho de banda en h/2 [horas]	8,2	2,1	5,5	1,5
Diferencia entre máximos [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	225,5	30,3	239,3	31,8
Moda horaria	10:00 p.m.		09:00 p.m.	

El desfase temporal encontrado en los episodios críticos de este grupo es cercano a las diez horas en promedio para la estación Pudahuel y de ocho horas y media para el resto de las estaciones. Este desfase temporal impide que se decreten medidas tempranas en las situaciones de emergencia ambiental y/o que simplemente se realice un llamado de alerta a la población, de modo que no se exponga a niveles de concentración de MP_{10} nocivos para la salud. Por otra parte, este desfase explica porque se decretan medidas de reducción de emisiones cuando el episodio crítico ya ha ocurrido, provocando pérdidas económicas innecesarias, considerando por ejemplo el caso de un episodios críticos del tipo máximo simple nocturno, en donde una vez

que se desarrolla la banda nocturna de concentración horaria, los niveles vuelven a un estado regular en donde las medidas ya no tienen ningún sentido.

La diferencia entre los máximos de concentración horaria y promedio móvil, que está representada en la figura 21 por una línea discontinua de color azul, es regular para todas las estaciones. Este valor, al igual que el análisis de correlación, refleja la subestimación de la concentración horaria que se produce con la utilización del promedio móvil.

La extensión del ancho de banda a media altura para este grupo de episodios críticos es considerablemente mayor en la estación Pudahuel, situación en la cual el tiempo de exposición de las personas a altos niveles de concentración de MP-10 supera las ocho horas. Las demás estaciones presentan una duración promedio de cinco horas y media en este parámetro, por los que el escenario en estos casos es menos crítico que el anterior.

La moda horaria expresa la hora del máximo de concentración horaria mas frecuente en los episodios críticos correspondientes a Pudahuel y el resto de las estaciones. Los valores presentados en la tabla 1 pone de manifiesto la compleja situación que se debe afrontar para decretar las situaciones de emergencia ambiental a las 18:00 horas, sin conocimiento de los niveles de contaminación nocturnos, que eventualmente podrían ser la causa de una posterior declaración tardía de situación de emergencia ambiental.

El primer grupo de episodios críticos presenta un panorama menos favorable que el anterior en la mayor parte de los parámetros analizados, el desfase temporal en estos casos resulta ser mucho mayor, acercándose a las doce horas en todas las estaciones. La tabla 3 resume los resultados para el Grupo I.

Tabla 3: Resumen de resultados para episodios críticos del Grupo I.

Parámetro comparativo	Estación Pudahuel		Estación PO-EB-LF-CE	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Desfase temporal [horas]	11,7	5,9	11,9	5,4
Ancho de banda en h/2 [horas]	8,0	1,7	4,8	1,8
Diferencia entre máximos [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	314,1	67,9	340,3	56,3
Moda horaria	09:00 p.m.		07:00 p.m.	

El tiempo de exposición para la estación Pudahuel, expresado por el ancho de banda en la altura media, es muy similar al obtenido para el grupo II, con la diferencia de que el ancho de banda de la tabla 3 considera niveles de concentración mayores que el grupo II, particularmente niveles de altura media de las bandas por sobre el nivel $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo que los efectos producidos en la salud de las personas se manifiestan mas notoriamente. Las estaciones restantes presentan una duración en altura media menor que el grupo II, cercana a cinco horas, sin embargo, este valor debe interpretarse con cuidado, puesto que no indica que la duración total de las bandas de concentración horaria es menor en este grupo, sino que muestra que la el ancho de banda en la altura media es cercano a cinco horas, y considerando que la altura de estas bandas es mayor, se deduce que su ancho basal es también mayor que las correspondientes bandas de concentración de los episodios críticos del grupo II.

La diferencia entre los máximos advierte un aumento importante con respecto al grupo II, diferencia que se acentúa mas en las estaciones PO-EB-LF-CE, en donde las bandas de concentración horaria tienen una menor duración que en Pudahuel y por lo tanto el efecto de éstas bandas sobre el valor del promedio móvil de 24 horas es poco significativo, produciéndose las diferencias señaladas en la tabla.

Los máximos de concentración horaria en este grupo se producen ligeramente más temprano que en el segundo grupo, lo cual puede significar una ventaja desde la perspectiva de poder entregar una advertencia temprana del episodio crítico, que considere la información correspondiente al máximo nocturno.

Los parámetros analizados demuestran las dificultades del promedio móvil de 24 horas para ser un buen descriptor de la calidad de aire real de la atmósfera en episodios críticos de material particulado respirable, dificultades que se producen a raíz de las características propias de la contaminación por partículas de la ciudad de Santiago, que se produce con bandas de concentración que se extienden por períodos de entre 8 y 12 horas y por lo tanto no pueden ser representadas con un promedio móvil de 24 horas, que desaprovecha información relevante sobre el comportamiento del sistema.

Desviación media del promedio móvil de 24 horas en episodios críticos

La desviación media (δ_m) del promedio móvil de 24 horas nos permite apreciar cuanto se aleja en promedio éste valor (c_{24h}), con respecto a los valores que lo originan, vale decir, las 24 horas de mediciones de concentración horaria de partículas (c_i).

$$\delta_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{24} (c_{24h} - c_i)^2}{(24 - 1)}} \quad (\text{Ec. 1})$$

La figura 22 muestra un episodio crítico de contaminación, en donde se ha calculado la desviación media del promedio móvil de 24 horas.

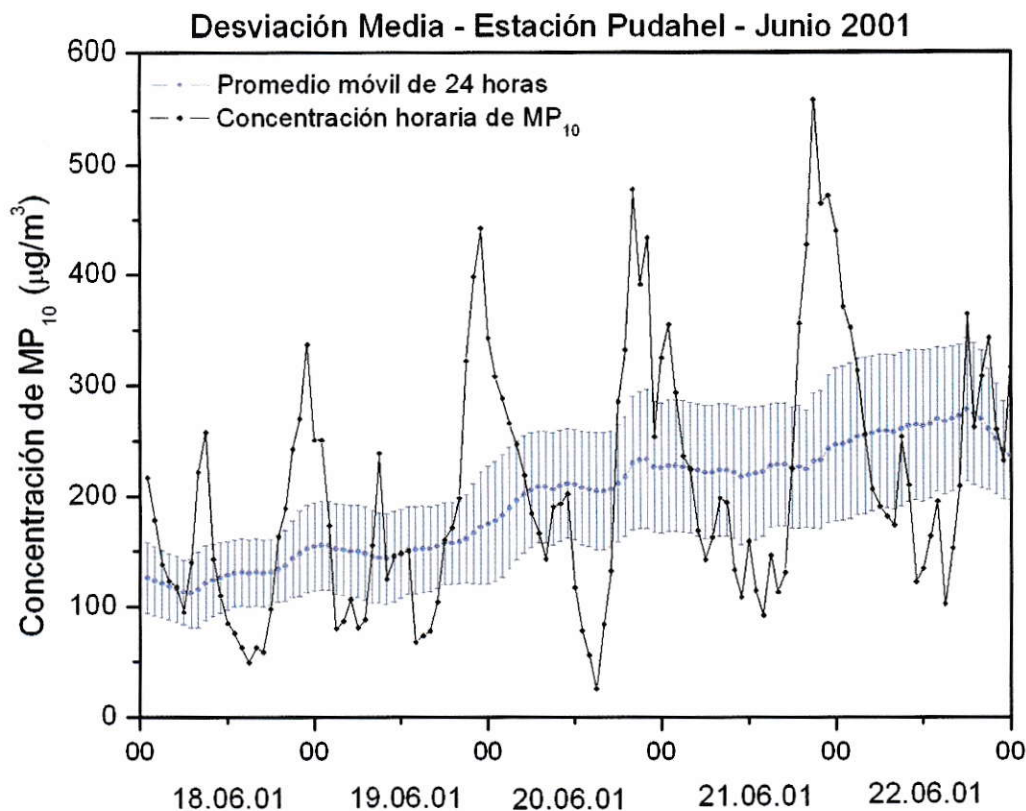


Figura 22: Desviación media del promedio móvil de 24 horas en un episodio crítico.

Las barras verticales muestran la magnitud de la desviación media de cada valor del promedio móvil de 24 horas. Este parámetro tiene valores muy pequeños cuando la concentración de partículas permanece invariante y en niveles bajos, produciéndose un aumento gradual a medida que se producen los máximos de concentración horaria propios de los episodios críticos. Finalmente, cuando el episodio crítico se extiende por varios días con máximos horarios agudos, la desviación media alcanza valores superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, demostrando nuevamente que el promedio

móvil de 24 horas, base del indicador de calidad de aire para partículas, no representa apropiadamente la concentración horaria de material particulado en episodios críticos de contaminación en la ciudad de Santiago.

La búsqueda de un nuevo índice, que permita evaluar la calidad de aire con respecto a la concentración de partículas en tiempo real, requiere del uso de un nuevo estándar de calidad de aire, que esté dirigido al efecto agudo del MP_{10} en la salud, vale decir, que considere el nivel de partículas respirables que asegura la ausencia de efectos nocivos en exposiciones de menor tiempo que un día.

El establecimiento de un nuevo estándar para MP_{10} no implica reemplazar el estándar vigente, sino que busca incorporar más información sobre la calidad de aire en episodios críticos, para una toma de decisiones efectiva temporalmente. Esta labor requiere la realización de estudios científicos y técnicos y además del desarrollo de un análisis de impacto económico y social de la incorporación en la norma de este nuevo índice.

La etapa descrita anteriormente puede tomar varios meses, dada la importancia que tiene, sin embargo, a raíz de este estudio se puede establecer como medida inmediata la incorporación de la concentración horaria de MP_{10} en la gestión de calidad de aire de los episodios críticos, ya que permite apreciar el comportamiento real de los niveles de concentración presentes a una hora determinada, y por lo tanto es una herramienta más acertada para describir la calidad de aire en episodios críticos de MP_{10} . Un ejemplo claro de las ventajas otorga el uso de la concentración horaria de MP_{10} , es el caso de los episodios críticos que se desarrollan durante varios días con un patrón de máximos múltiples nocturnos, en donde la toma de medidas se produciría a raíz de la primera banda horaria del episodio, permitiendo reducir significativamente los niveles de contaminación en los días posteriores.

IV.- CONCLUSIONES

Los episodios de contaminación por MP_{10} en Santiago presentan un comportamiento cíclico regular, con una duración total de entre uno y cinco días, caracterizados por una banda de concentración horaria en la noche y en algunos casos también en la mañana. La banda que se produce en la mañana es de menor intensidad y duración que la nocturna, por lo que en general, es esta última la que genera mayor impacto en la salud de la población. El ancho a media altura de las bandas horarias tiene en promedio ocho horas en la estación Pudahuel, por lo que es razonable pensar que la duración de las bandas no supera en promedio las doce horas, haciendo que un promedio de 24 horas resulte incapaz de describir las bandas que realmente dan origen al episodio crítico.

La estación de monitoreo ubicada en la comuna de Pudahuel, representa claramente una situación anómala con respecto al resto de las estaciones ya que además de presentar la mayor cantidad de episodios críticos, con cerca de dos tercios de los episodios correspondientes al grupo II, las características propias de los perfiles diarios resultaron diferentes en esta estación, lo cual está demostrado por los resultados encontrados en los parámetros comparativos de los episodios críticos para esta estación.

El análisis de los perfiles diarios permitió constatar empíricamente el desfase temporal que se produce entre la banda de concentración horaria y el promedio móvil de 24 horas, desfase que impide un diagnóstico temprano de la situación de emergencia y que además ocasiona que el índice de calidad de aire muestre una condición mala cuando realmente ésta ya ocurrió.

El análisis de correlación permite demostrar la desviación que se produce en el valor del promedio de 24 horas con respecto al valor horario a medida que este último alcanza máximos diarios mayores, indicando la existencia de una subestimación de la concentración horaria de MP_{10} mientras se desarrolla la banda, para luego producir una sobrestimación de la concentración horaria una vez que la banda de concentración horaria concluye.

Alcanzar una solución óptima del problema implica la incorporación de un nuevo estándar de calidad de aire que considere un tiempo de exposición menor, que puede ser incluso de una hora, lo cual permitiría establecer criterios adicionales de situación de emergencia ambiental, que por un lado eviten el desfase temporal que se produce con el uso de un promedio diario, y por otro permitan que la población de Santiago quede protegida de algún modo del efecto agudo del MP_{10} en su salud. No obstante, la recomendación inmediata consiste en incorporar la concentración horaria en la evaluación de las situaciones de emergencia ambiental, de manera que se utilice información más cercana a la realidad física de la atmósfera, que permita predecir mejor el comportamiento de los niveles de concentración de partículas en las horas posteriores.

No se debe perder de vista que el objetivo principal de una norma primaria de calidad de aire es la protección de la salud de la población, por lo tanto, la incorporación de indicadores relacionados directamente con el estado de salud de las personas tiene gran importancia en las proyecciones futuras de la gestión de calidad aire en episodios críticos.

V.- REFERENCIAS

Decreto Supremo N° 59: "Norma de calidad primaria para material particulado respirable MP10, en especial de los valores que definen situaciones de emergencia"; Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República; Comisión Nacional del Medio Ambiente; Santiago; 1998.

Dirección meteorológica de Chile <<http://www.meteochile.cl>> ; Fecha: 10/2004; Parte del Glosario.

"Evaluaciones del desempeño ambiental - CHILE". Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) y Comisión Económica Para América Latina y el Caribe (CEPAL); 2005; Parte I.

"Informe País, Estado del medio ambiente en Chile"; Comisión Nacional del Medio Ambiente; 1999; Capítulo 1.

"Quimiometría Ambiental. Gestión de las medidas contaminantes"; Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas; Ministerio de Industria y Energía de España; Madrid; 1990.

Aranda, C.; Astudillo, P.; Días, M.S.; Molina, A.; Pozo, P. (1998). "Correlación entre contaminantes atmosféricos y mortalidad infantil por bronconeumonía en Santiago"; *Enf. Resp. Cir. Torac.*; (supl.) 33.

Belmar, R. et al, (1982) "Estudio Epidemiológico sobre efectos de la contaminación Atmosférica", Intendencia Regional, SERPLAC.

Chow, J.C.; Watson, J.G.; Edgerton, S.A.; Vega, E. (2002). "Chemical composition of PM_{2.5} and PM₁₀ in Mexico City during winter 1997". *The Science of the Total Environment*, 287, 177-201.

CONAMA Metropolitana de Santiago, Gobierno de Chile <<http://www.conamarm.cl>> ; Fecha: 03/2004; D.S. 90 del Ministerio Secretaria General de la Presidencia de la República e información general con respecto a los episodios críticos.

Kuhns, H.; Bohdan, V.; Chow, J.C.; Etyemezian, V.; Green, M.C.; Herlocker, D.; Kohl, S.; McGown, M.; Ramsdell, J.; Stockwell, W.R (2003). "The Treasure Valley secondary aerosol study I: measurements and equilibrium modeling of inorganic secondary aerosols and precursors for southwestern Idaho". *Atmospheric Environment*, 37, 511-524.

McClellan Roger O. (2002). "Setting ambient air quality standards for particulate matter". *Toxicology* 181-182, 329-347.

M. Spiegel (1991). "Estadística". Segunda edición. McGraw-Hill. cap. 18.

Morel, B.; Yeh, S.; Cifuentes, L. (1999). "Statistical distributions for air pollution applied to the study of the particulate problem in Santiago". *Atmospheric Environment*, 33, 2575-2585.

Pérez, P.; Reyes, J. (2002). "Prediction of maximum of 24-h average of PM10 concentrations 30 h in advance in Santiago, Chile". *Atmospheric Environment*, 36, 4555-4561.

Préndez, M. and Ortiz, J. (1989), "Atmospheric pollution by fractionated particulate matter of Santiago, Chile". *Man and his Ecosystem, Amsterdam*, 3, 575-580.

Préndez, M.; Ortiz, J.; Cortés, E. and Cassorla, V. (1984). "Elemental composition of airborne particulate matter from Santiago City, Chile". *Journal of Air Pollution Control Association, JAPCA*, 34, 54-56.

R. E. Hester y R. M. Harrison (1998). "Air Pollution and Health". Issues in Environmental Science and Technology. The Royal Society of Chemistry. cap. 2 y 4.

Rutlant, J. (1973). "Factores Meteorológicos de la Contaminación Atmosférica de Santiago. Resultado de las mediciones 1971-72" Depto. de Geofísica, U. de Chile.

Sandoval H., Prendes M. y Ulriksen P. (1993). "Contaminación Atmosférica de Santiago, Estado Actual y Soluciones". Capítulos 2, 5 y 6.

Sandoval, H. (2002). "Normas de Calidad de aire internacionales". Apuntes de curso-Contaminación Atmosférica.

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (Semarnat), México <<http://www.semarnat.gob.mx>>; Fecha: 07/2005; Estándar de Calidad de aire utilizado en México.

Stockwell, W.R.; Kuhns, H.; Etyemezian, V.; Green, M.C.; Chow, J.C.; Watson, J.G. (2003). "The Treasure Valley secondary aerosol study II: modeling of the formation of inorganic secondary aerosols and precursors for southwestern Idaho". *Atmospheric Environment* 37 (2003) 525–534.

"The Partucle Pollution Report – Current Understanding of Air Quality and Emissions through 2003". U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Emissions, Monitoring, and Analysis Division (2003).

Ulriksen, P. (1980). "Variaciones diarias de la altura de la capa superficial sobre Santiago". Tralka. 1 (2)

USEPA - United States Environmental Protection Agency <<http://www.epa.gov>>; Fecha: 04/2005; Estándar de Calidad de Aire y niveles que determinan situaciones de emergencia ambiental en EEUU.

Anexos

Anexo A

Perfiles diarios de Episodios de Contaminación por MP-10

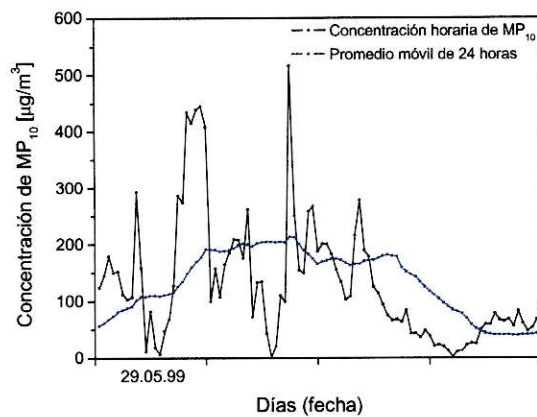
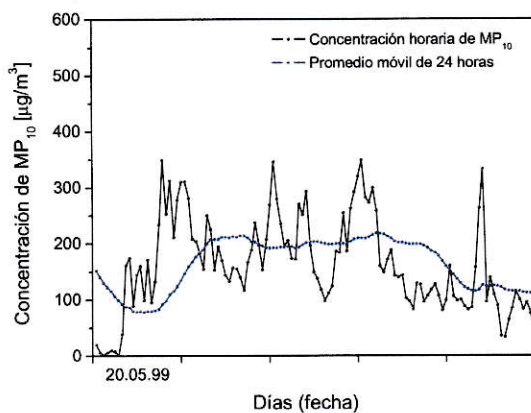
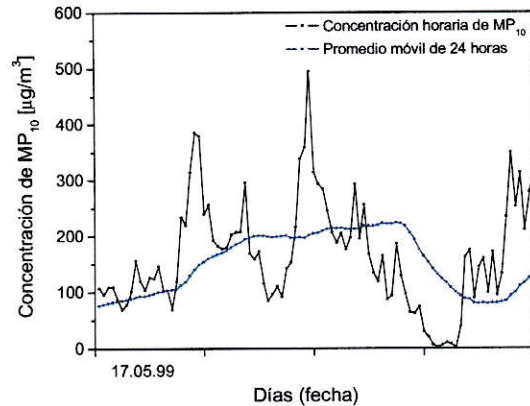
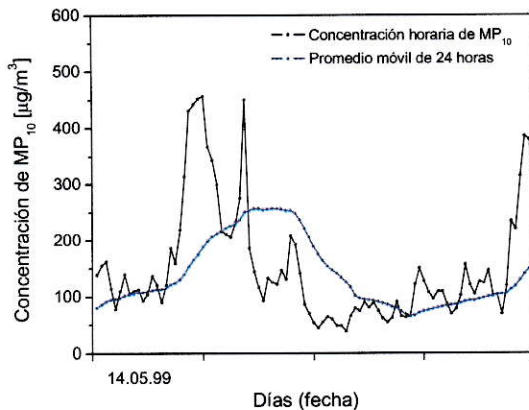
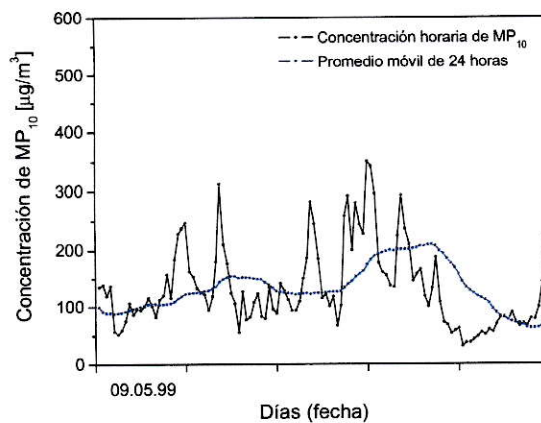
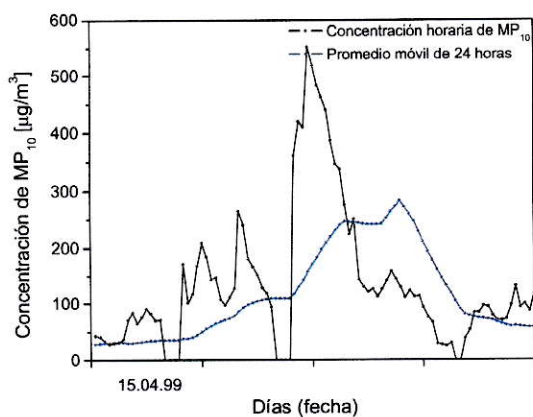
Estaciones:

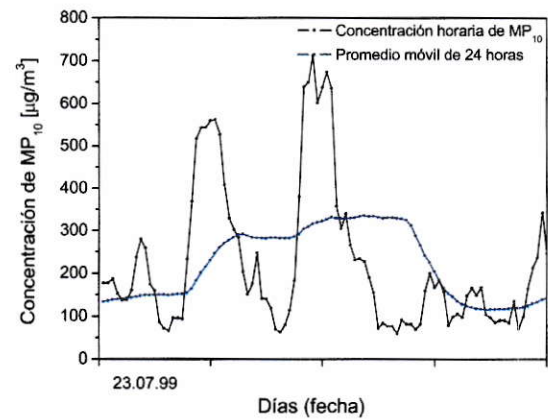
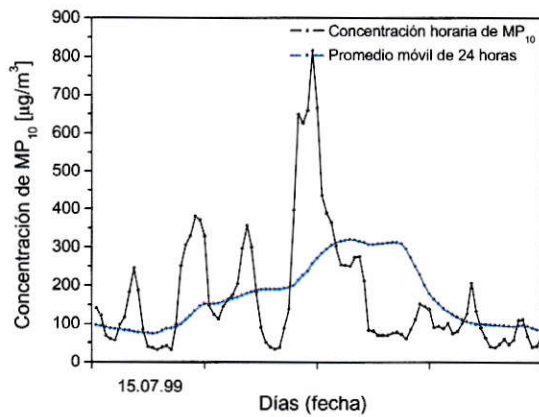
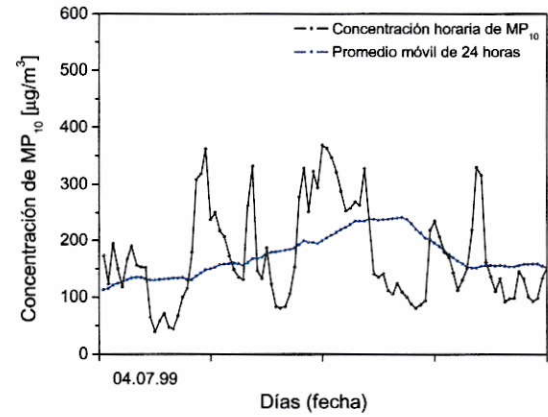
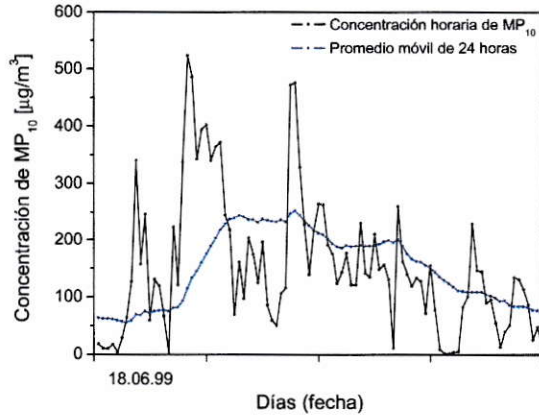
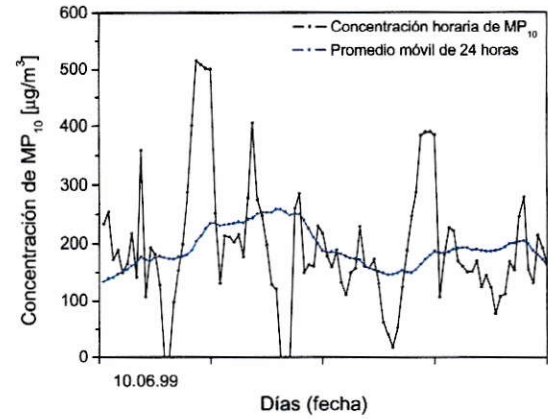
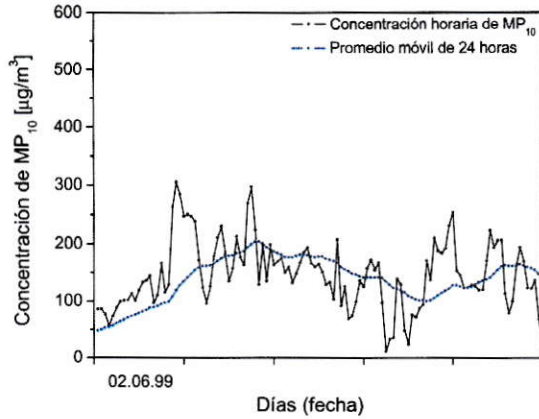
- Pudahuel
- Parque O´Higgins
- El Bosque
- La Florida
- Cerrillos

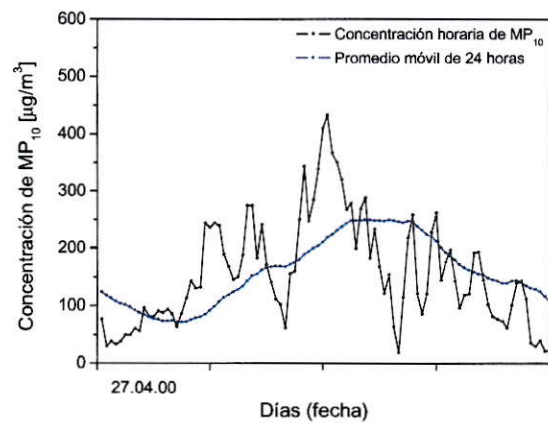
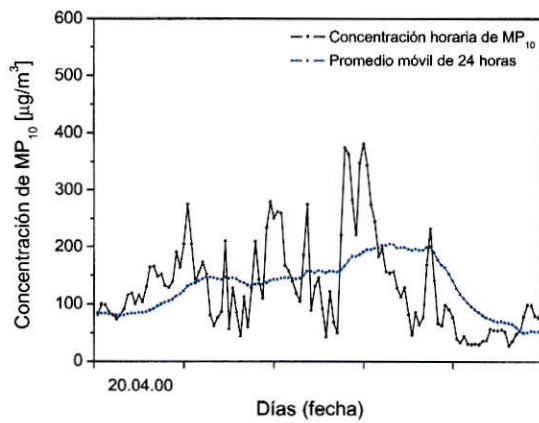
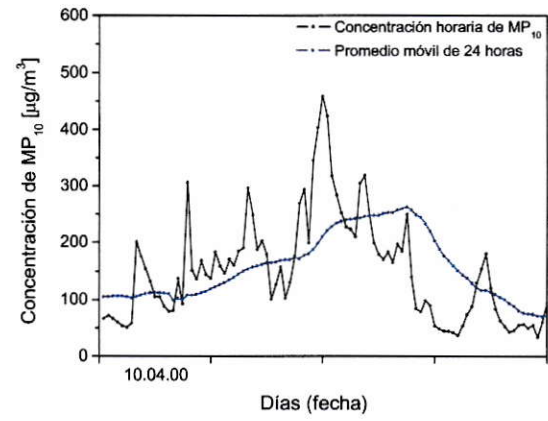
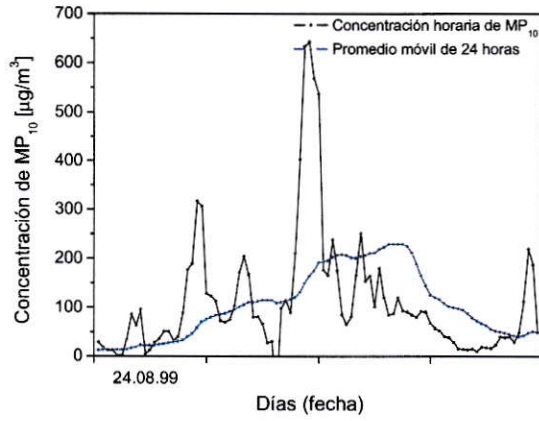
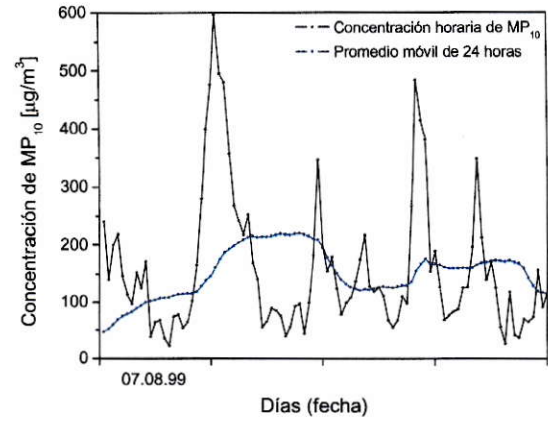
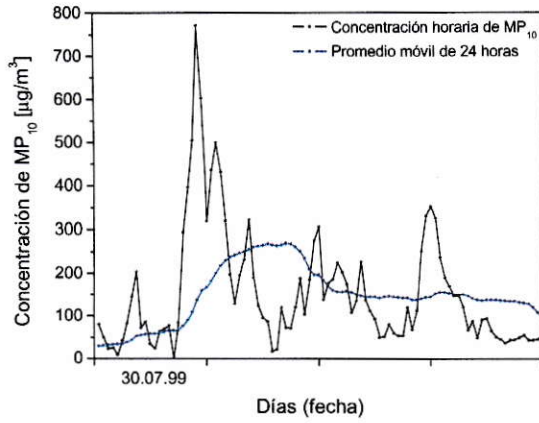
Período 1999-2002

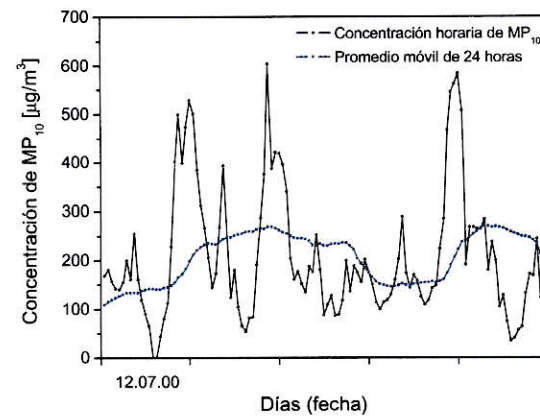
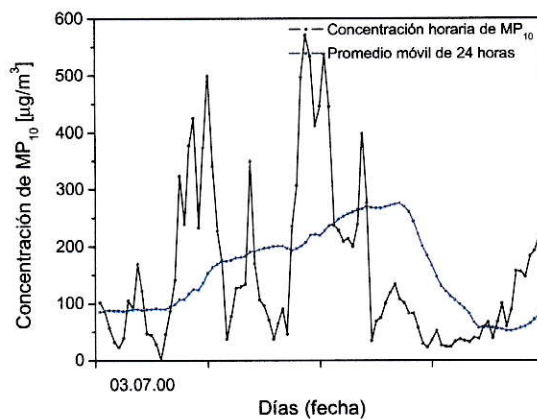
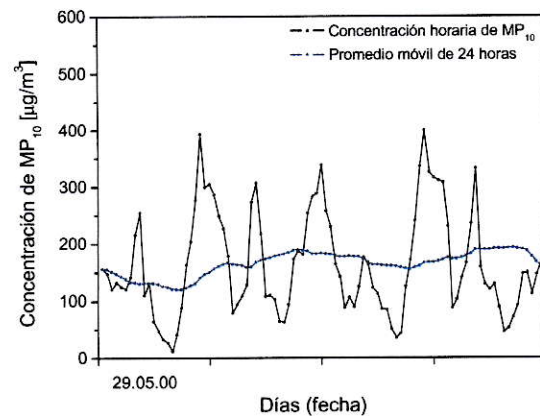
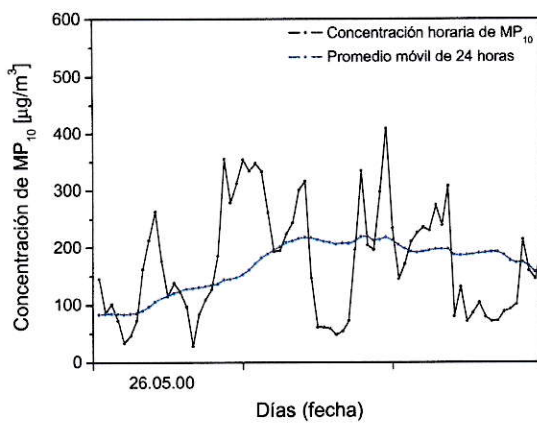
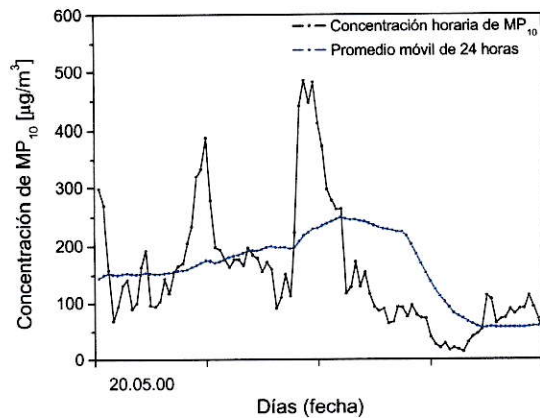
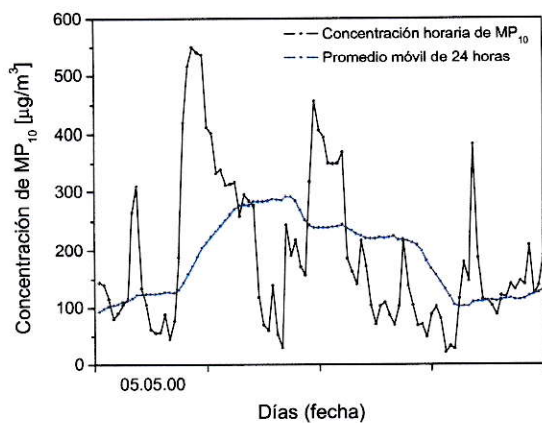
Contenido:

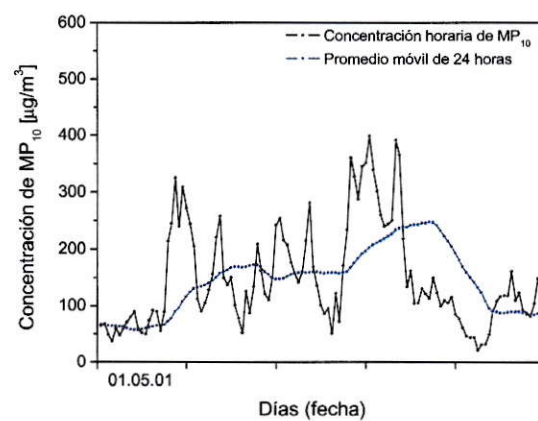
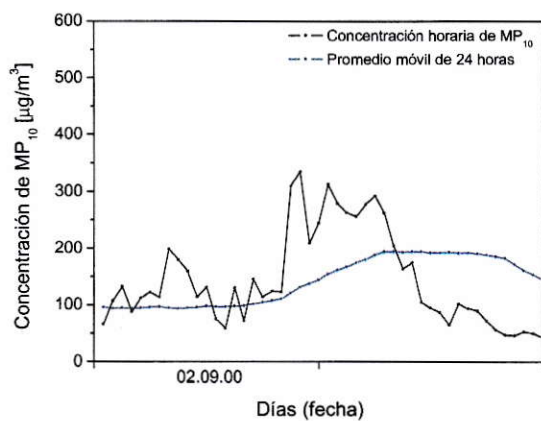
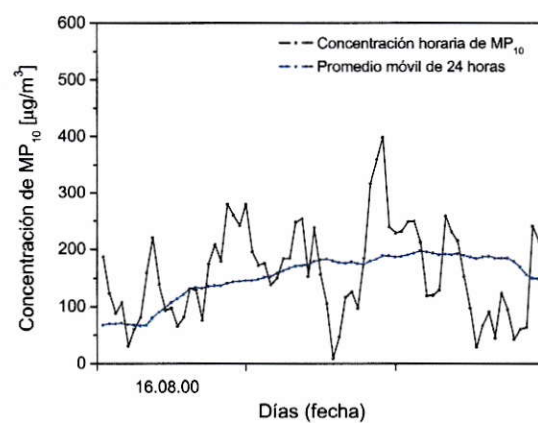
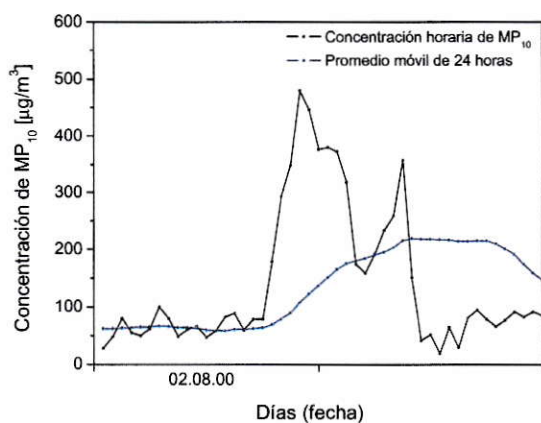
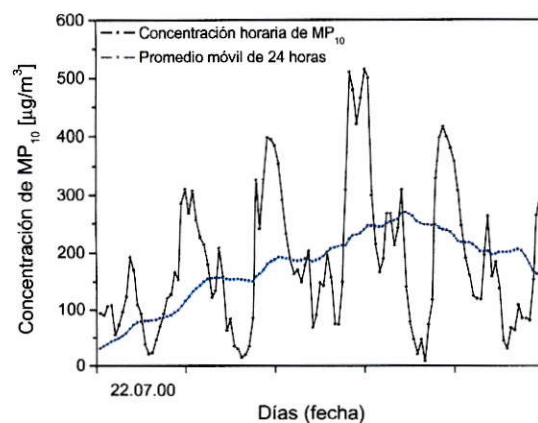
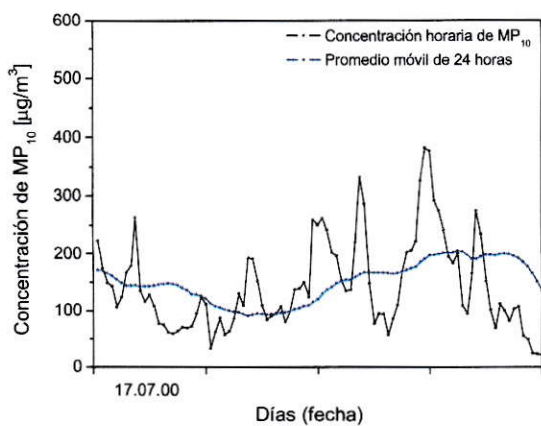
- Perfiles diarios de cada uno de los episodios de contaminación encontrados en el período de estudio. Cada perfil diario contiene entre dos y cinco días de datos correspondientes al episodio crítico y en algunos casos a días anteriores o posteriores a la banda de concentración horaria que genera la situación de emergencia.
- En el eje Y se expresa la concentración de MP₁₀ (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y en el eje X se representan los días, indicando en cada perfil diario la fecha correspondiente al primer día del conjunto, en la forma dd.mm.aa. La serie en negro expresa la concentración horaria de MP₁₀ y la de color azul el promedio móvil de 24 horas.

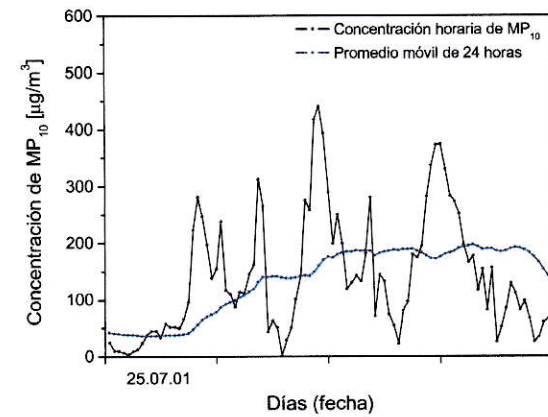
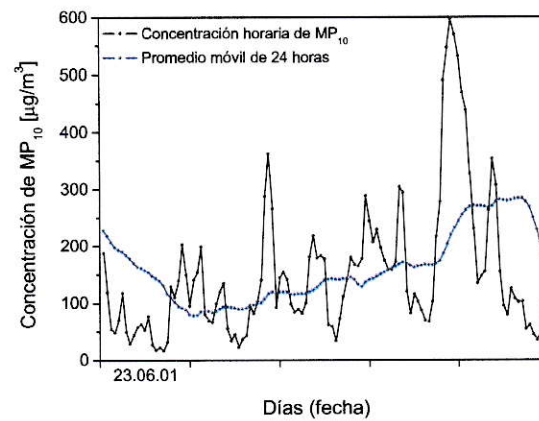
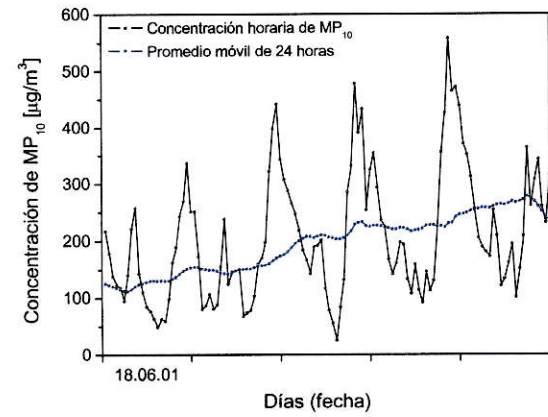
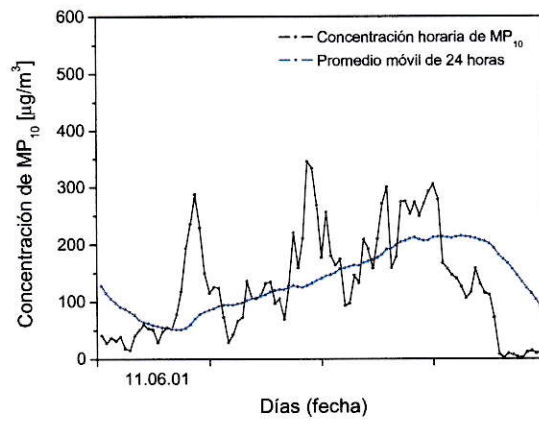
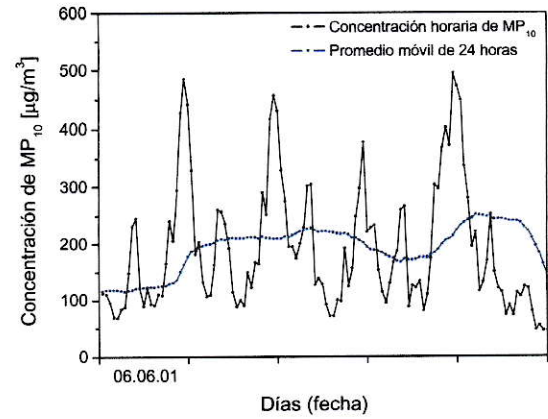
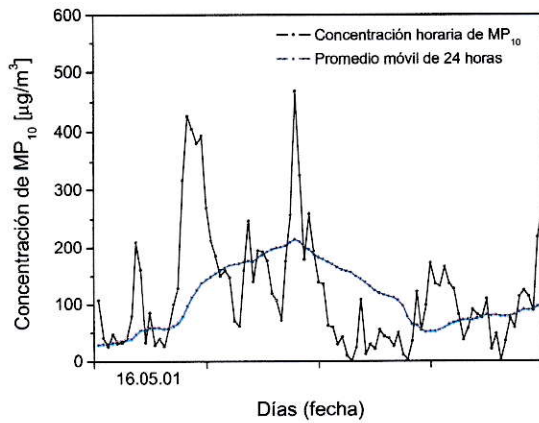
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Pudahuel

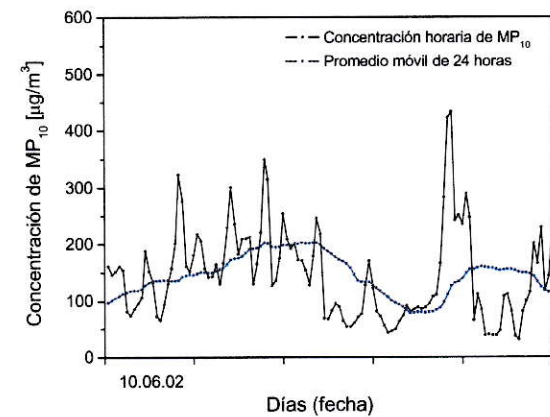
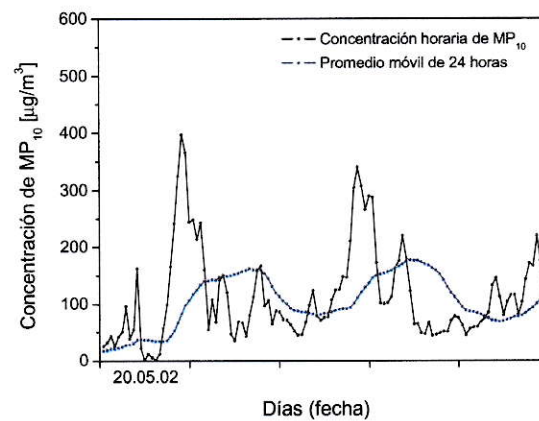
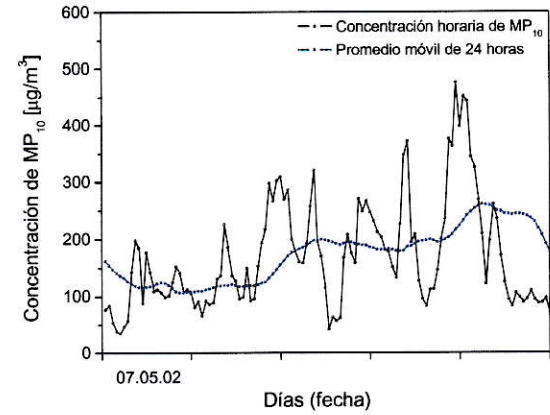
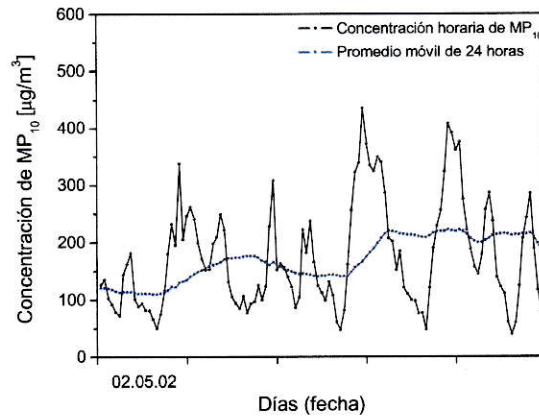
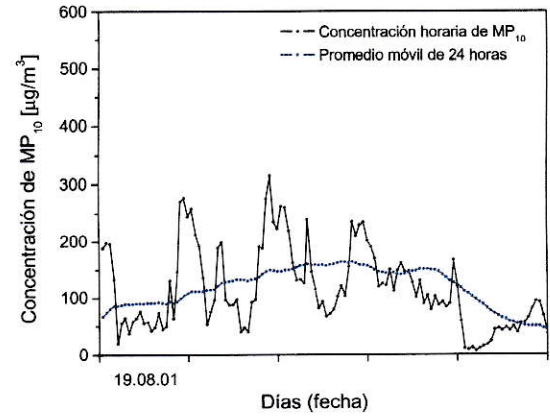
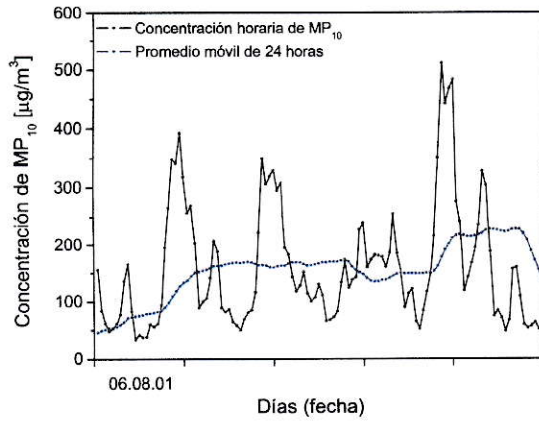
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Pudahuel

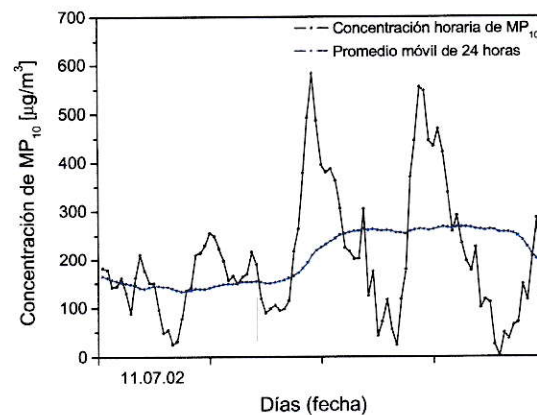
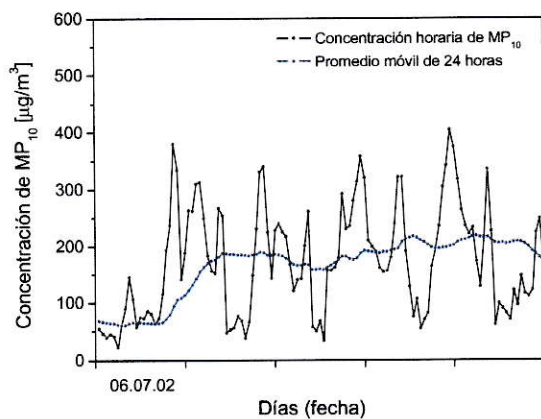
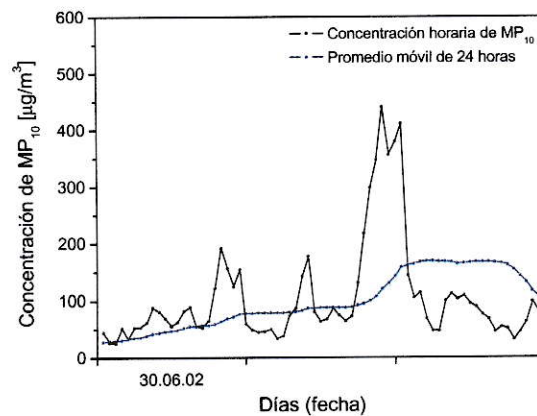
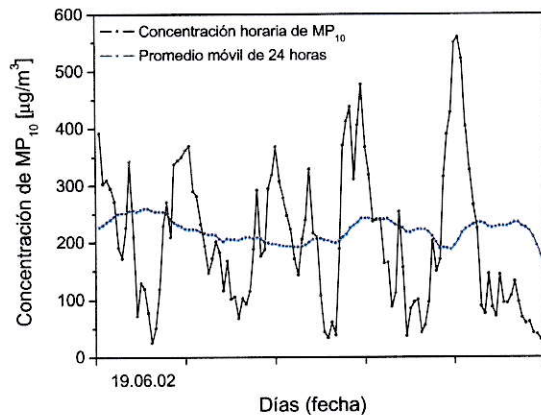
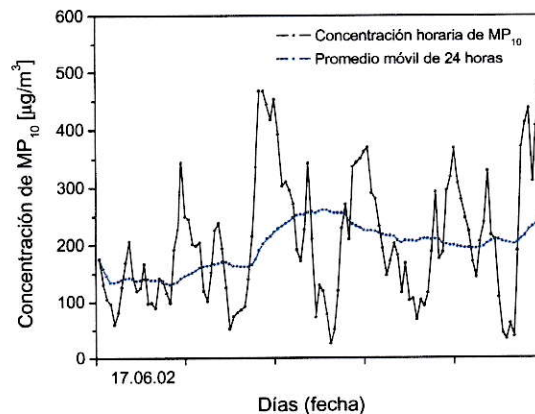
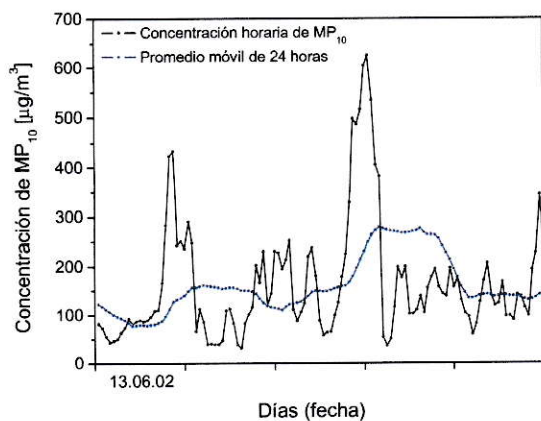
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Pudahuel

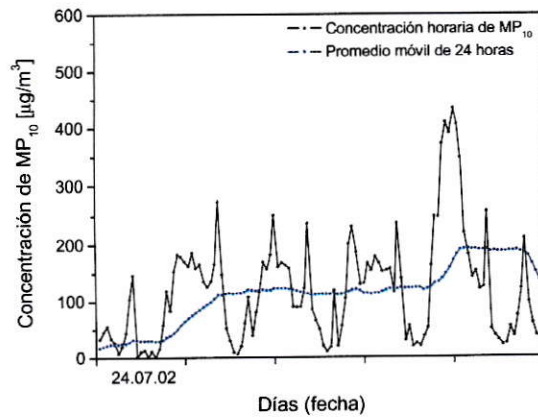
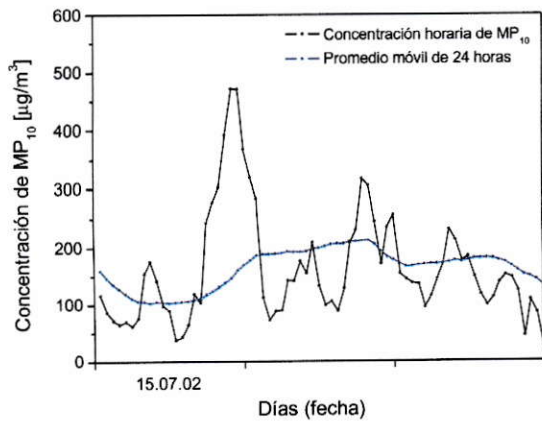
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Pudahuel

Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Pudahuel

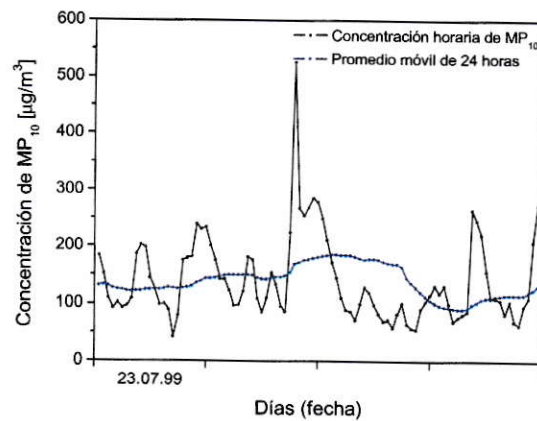
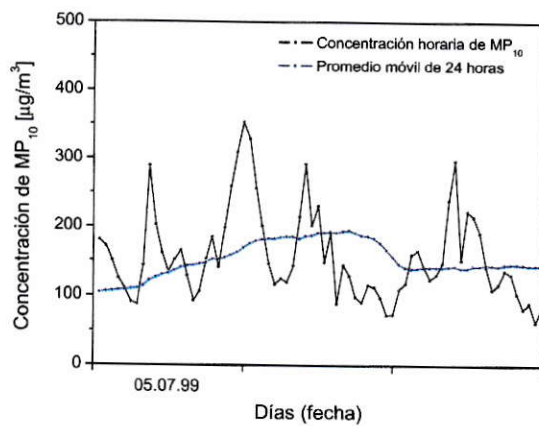
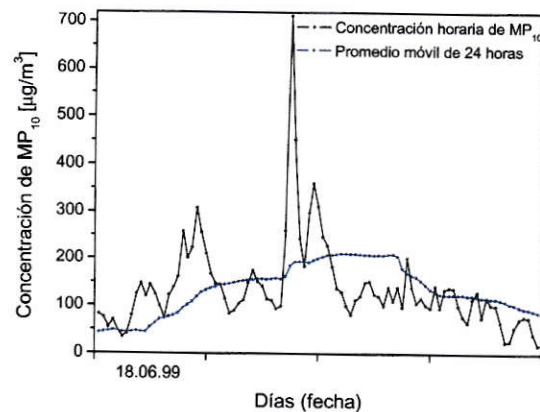
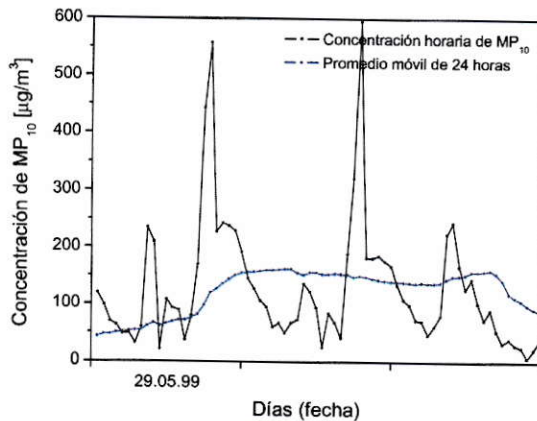
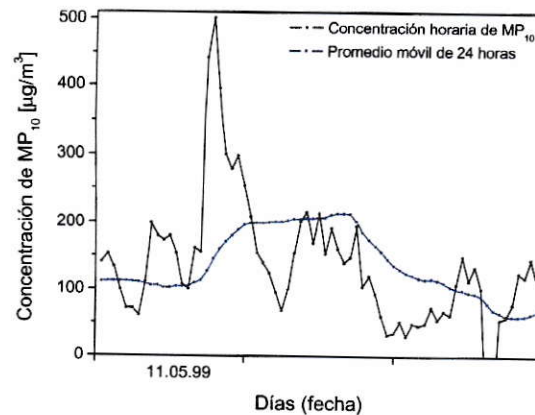
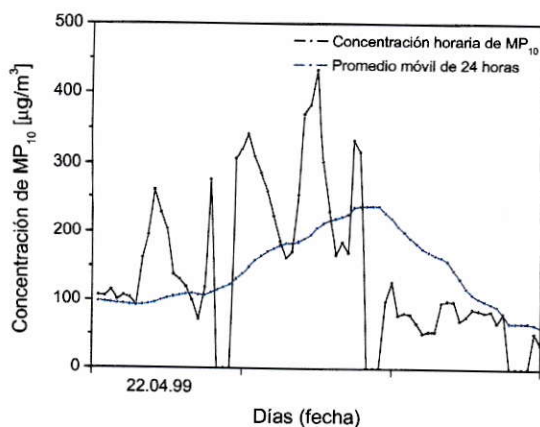
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Pudahuel

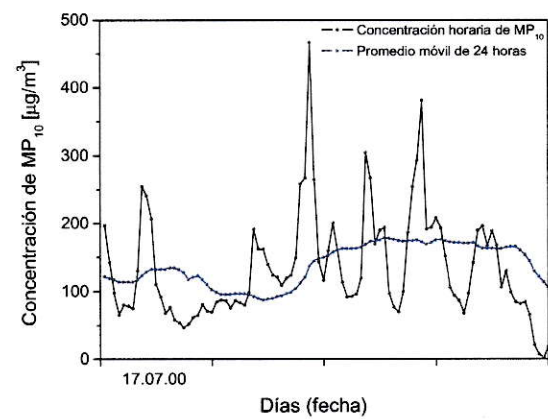
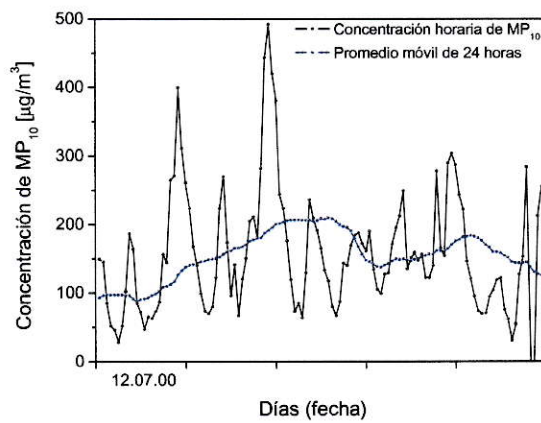
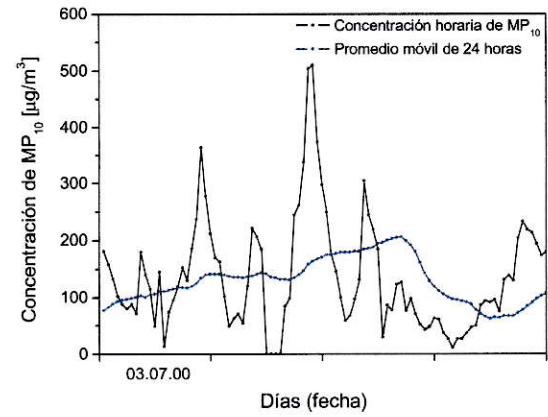
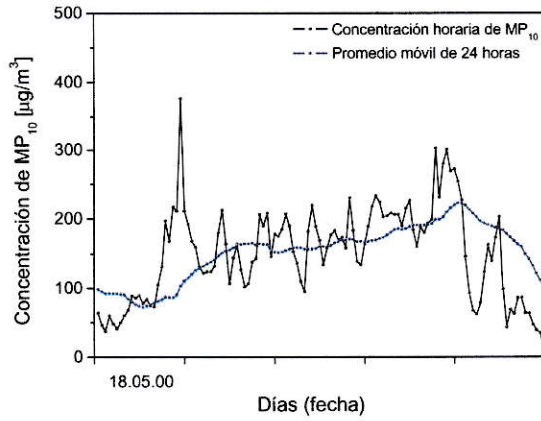
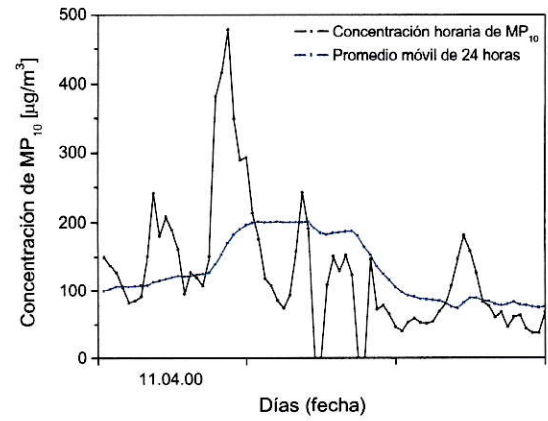
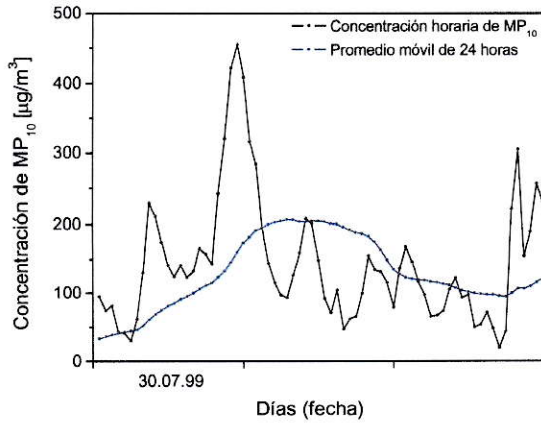
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Pudahuel

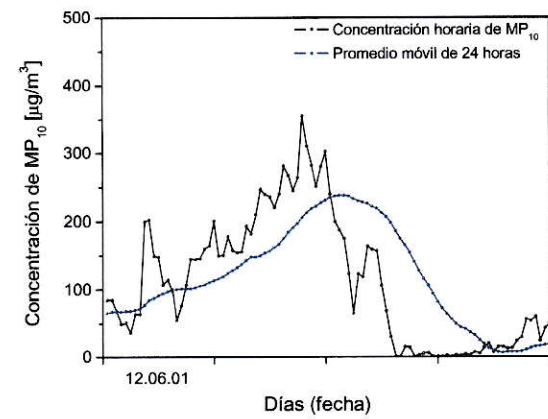
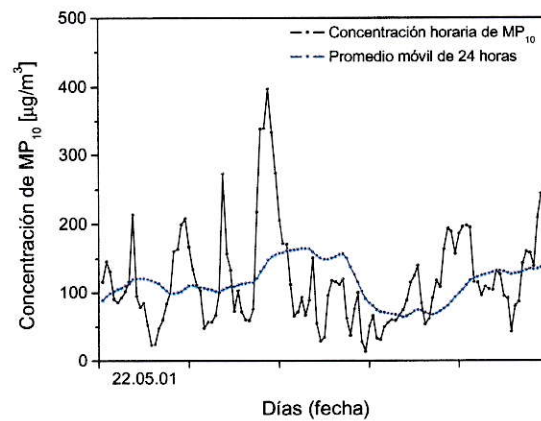
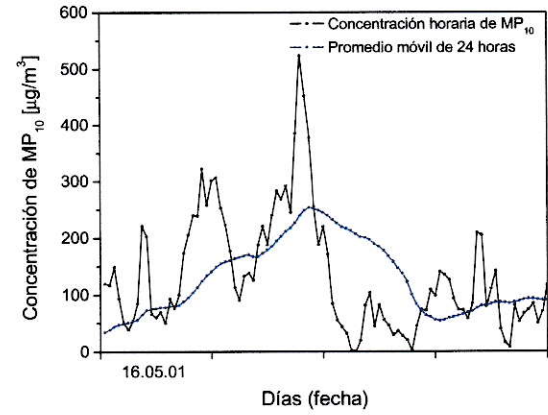
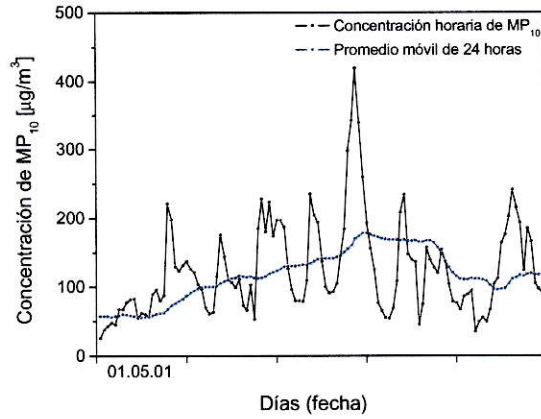
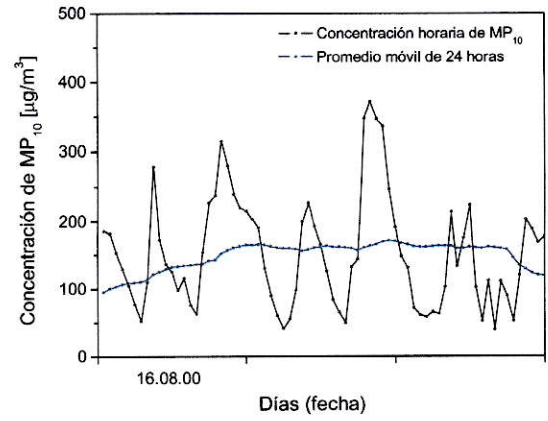
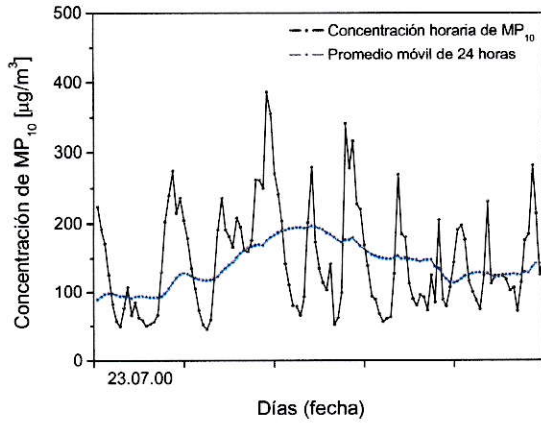
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Pudahuel

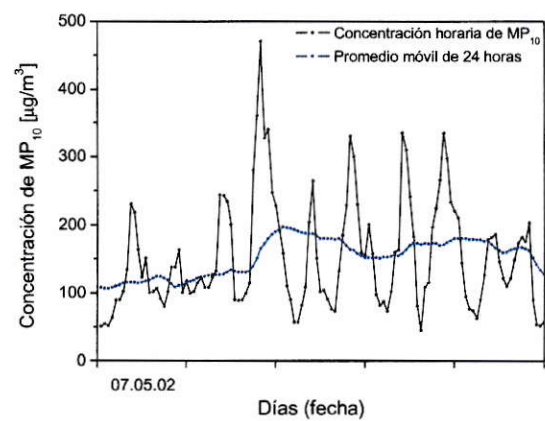
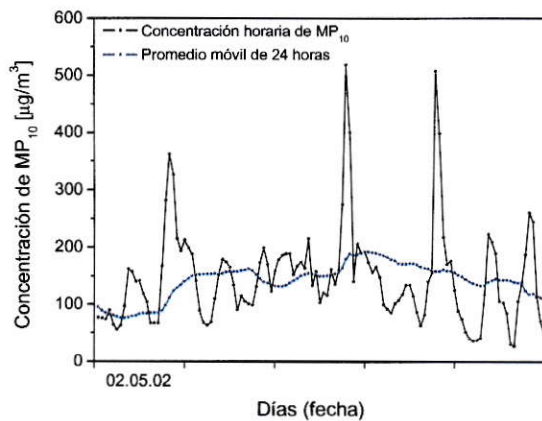
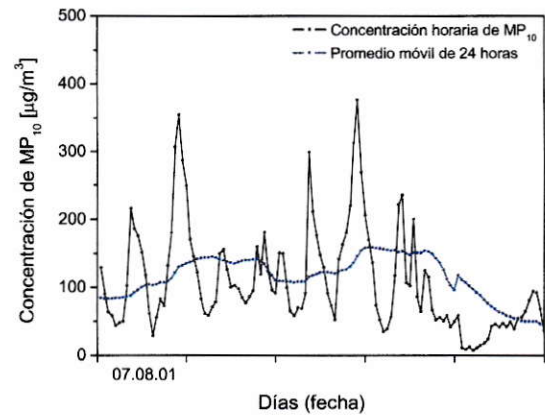
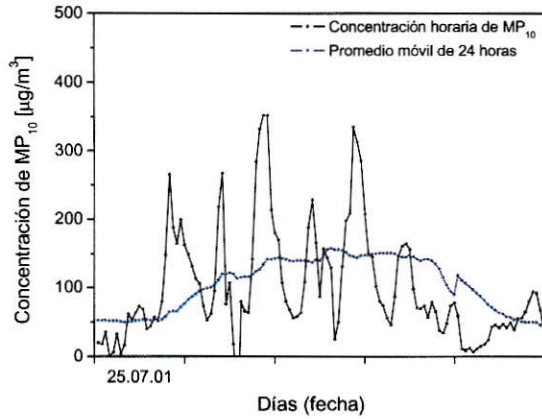
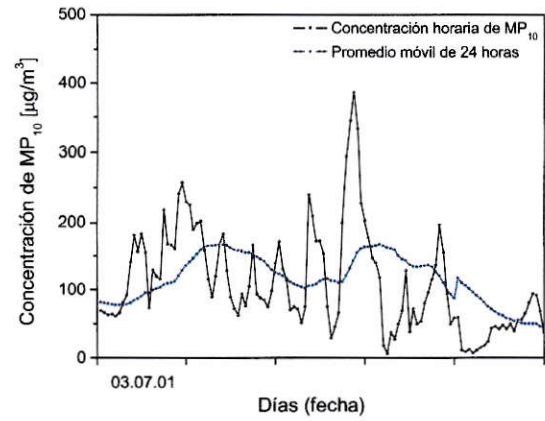
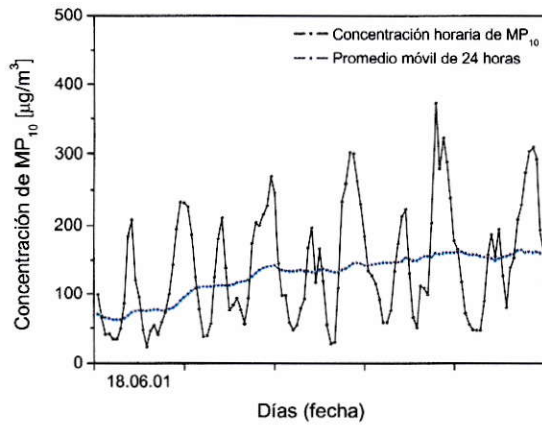
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Pudahuel

Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Parque O'Higgins

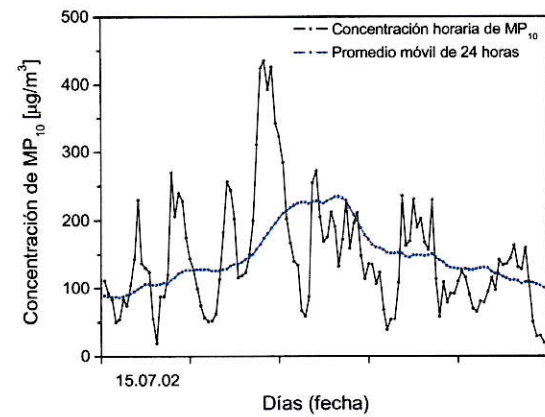
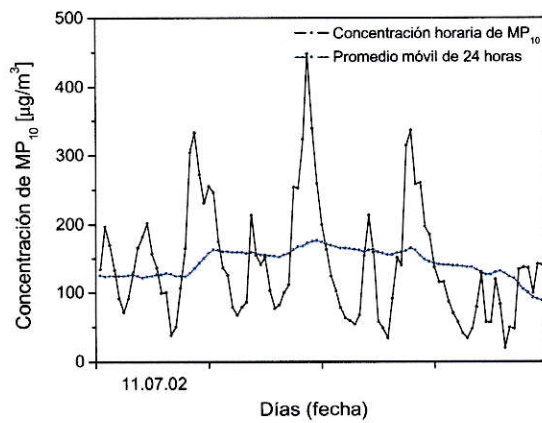
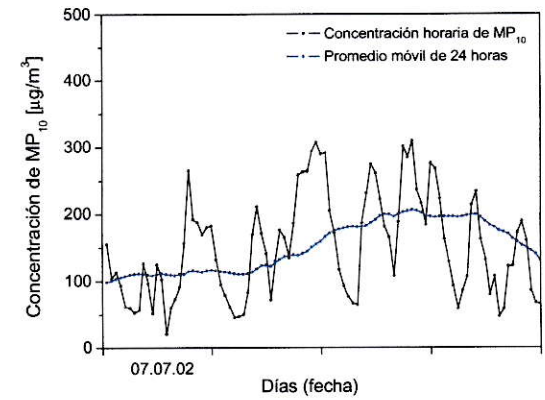
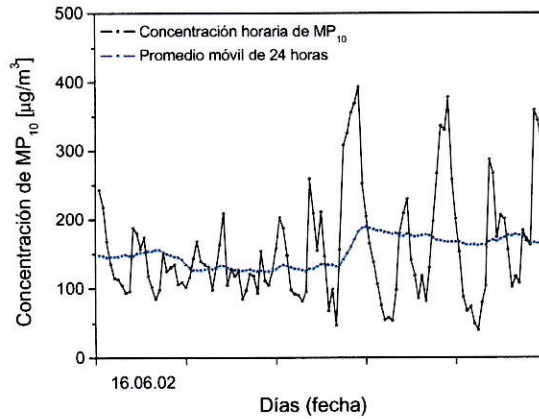
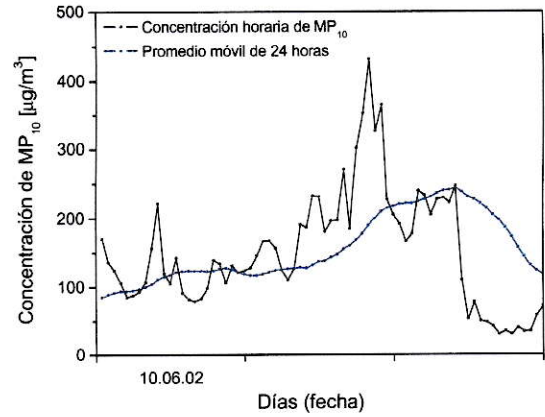
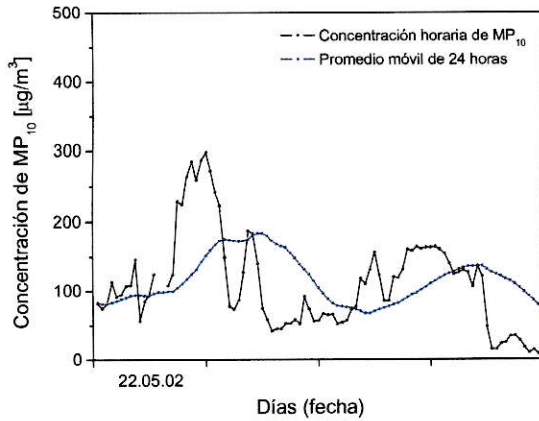


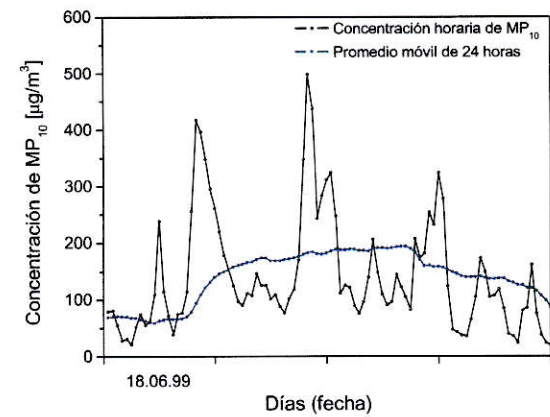
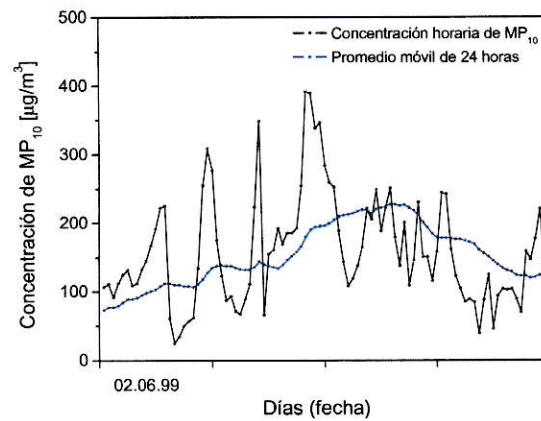
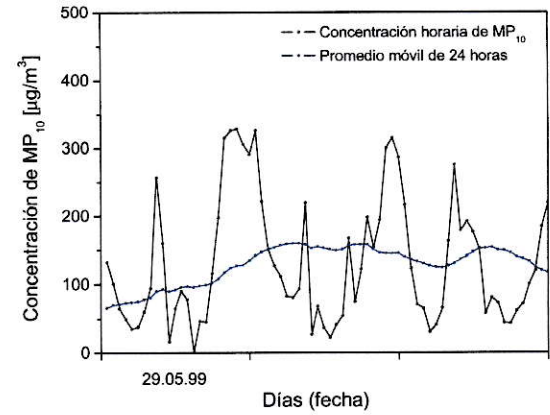
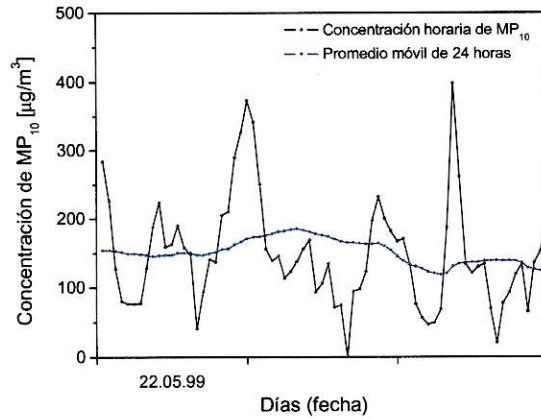
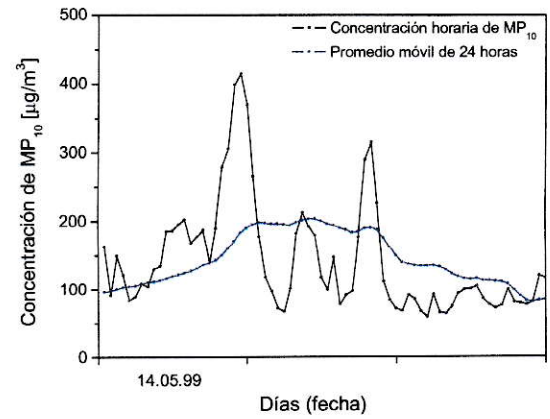
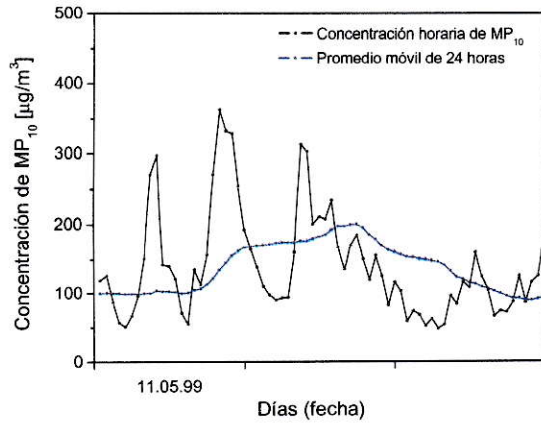
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Parque O'Higgins

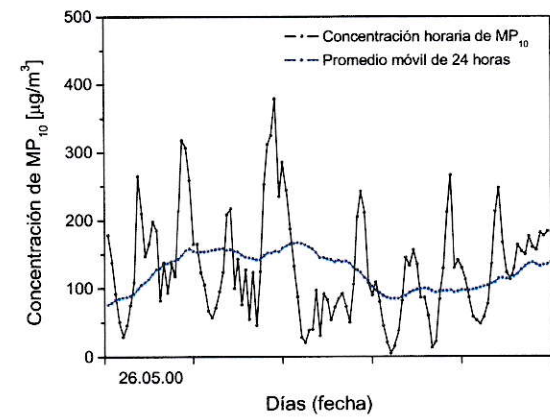
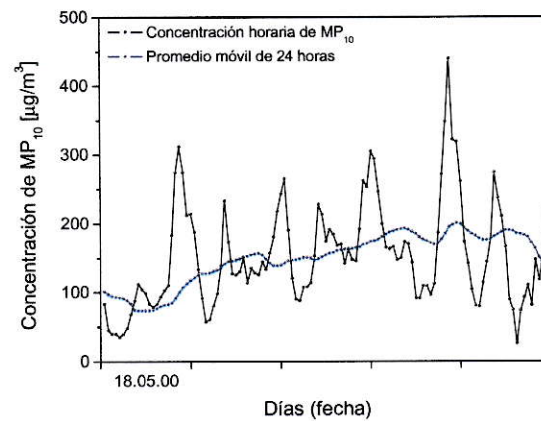
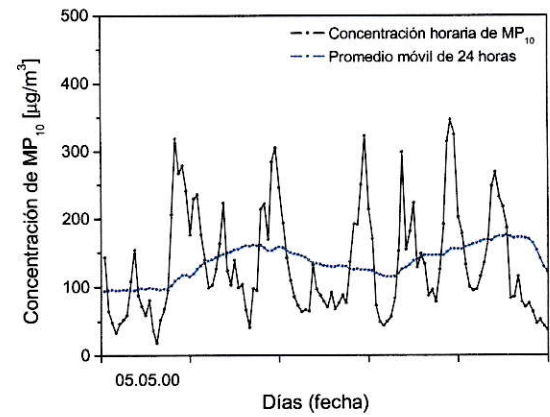
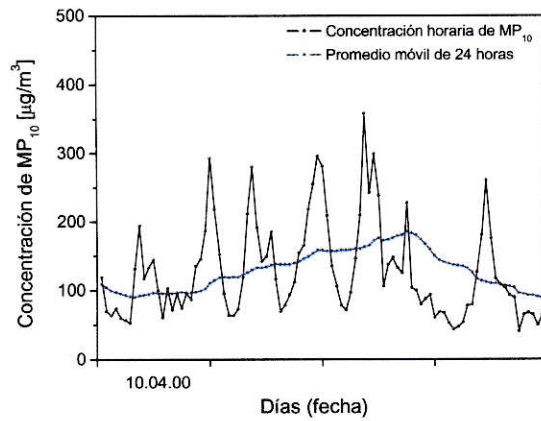
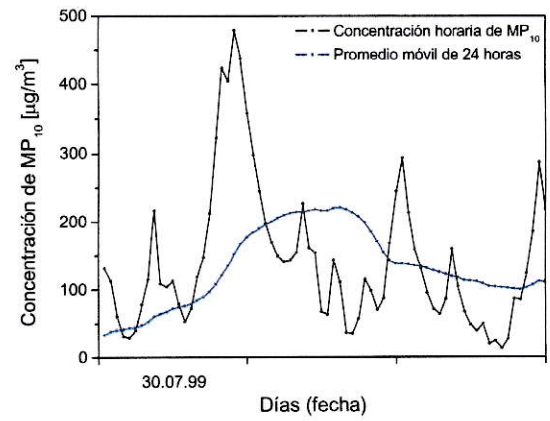
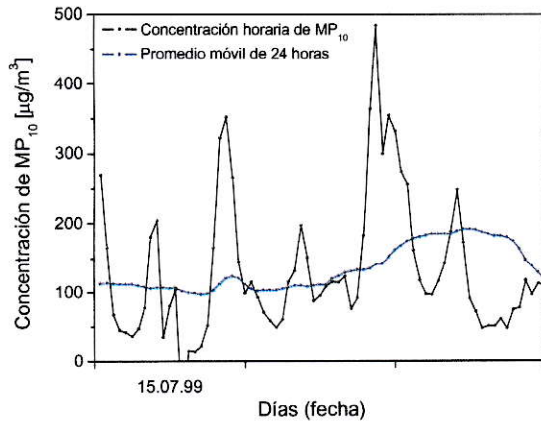
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Parque O'Higgins

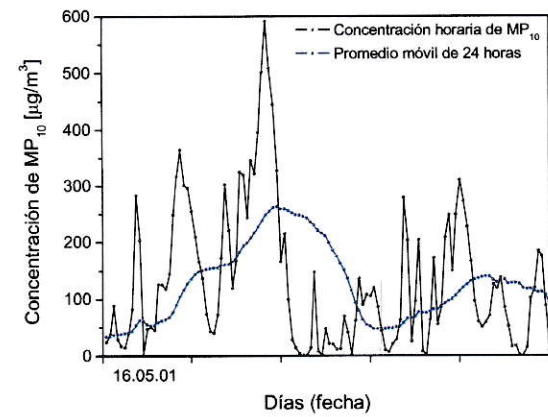
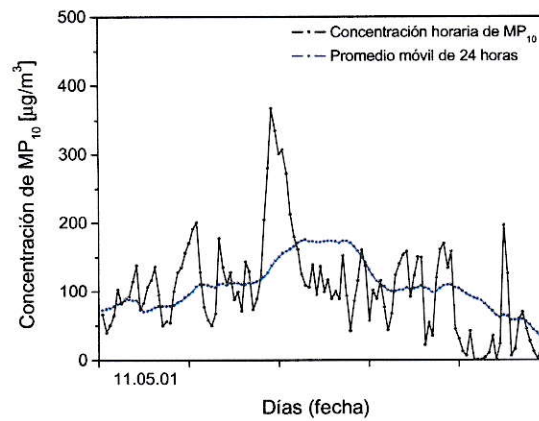
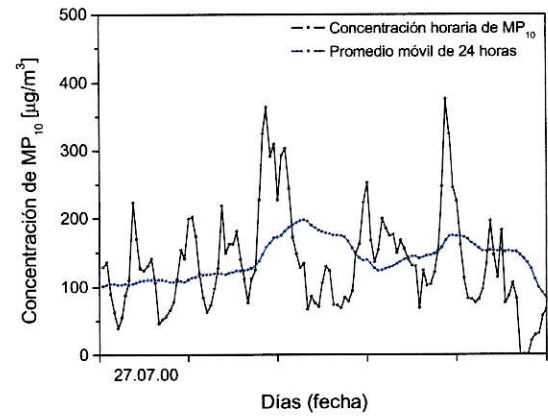
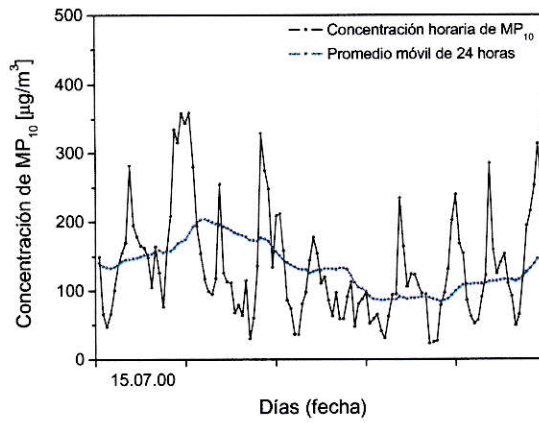
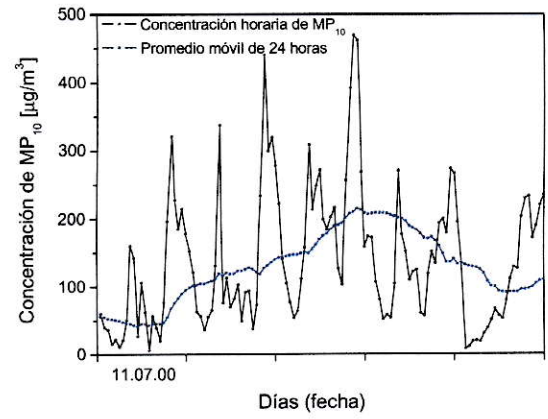
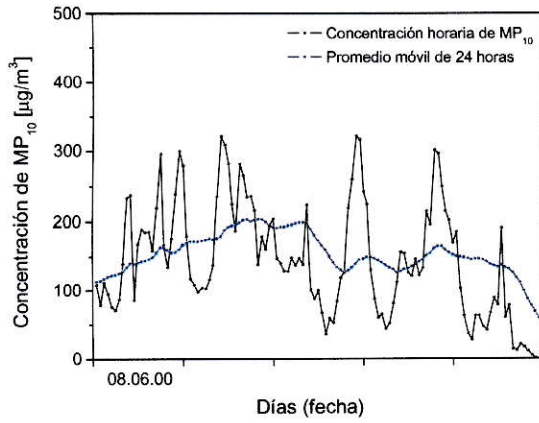
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Parque O'Higgins

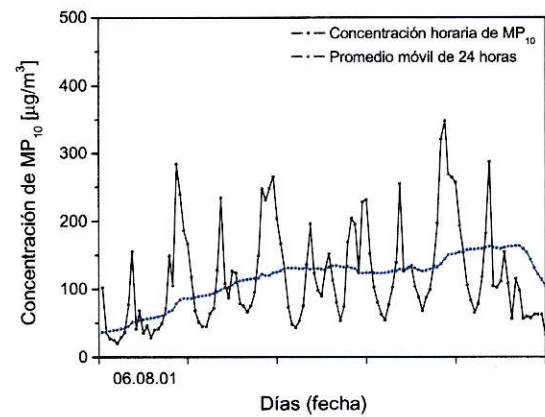
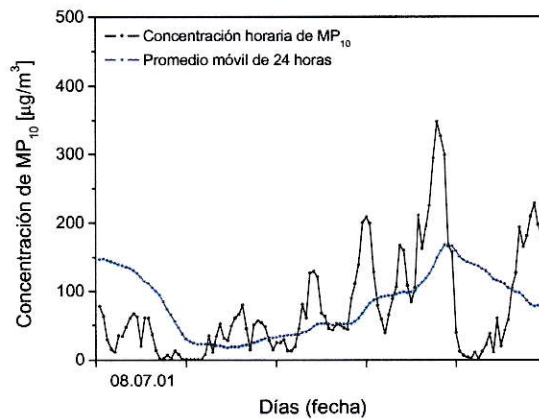
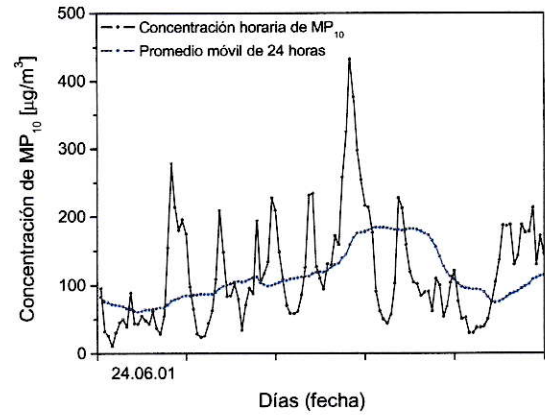
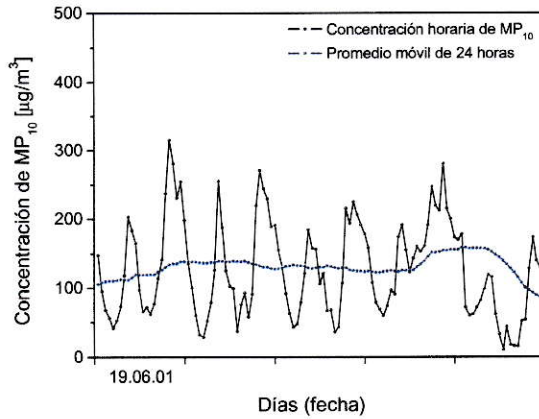
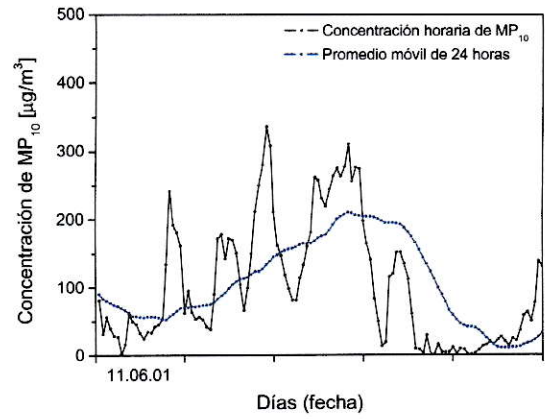
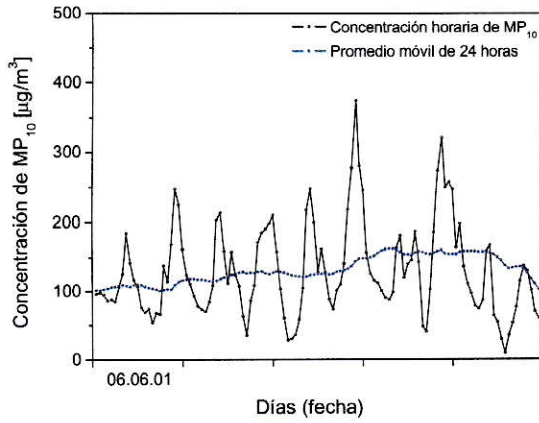
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Parque O'Higgins

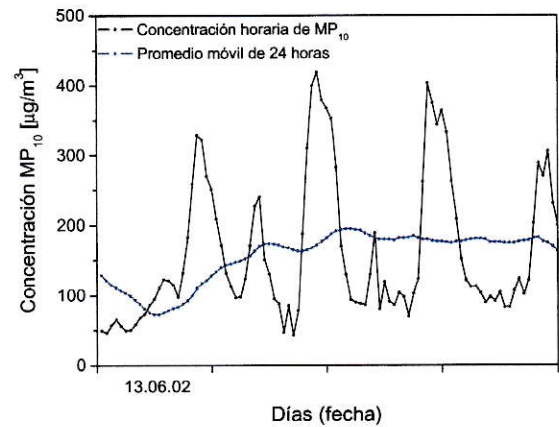
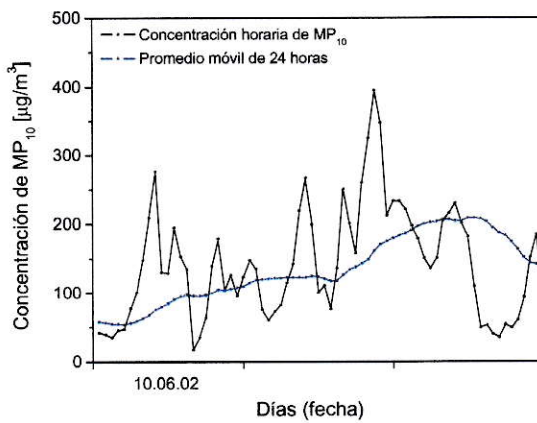
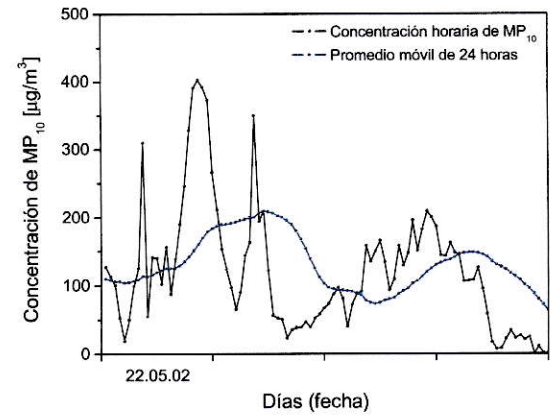
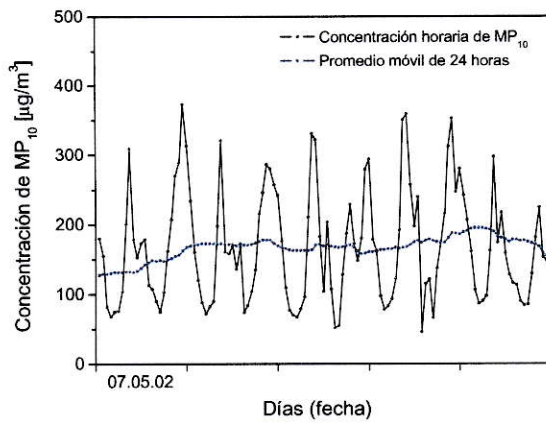
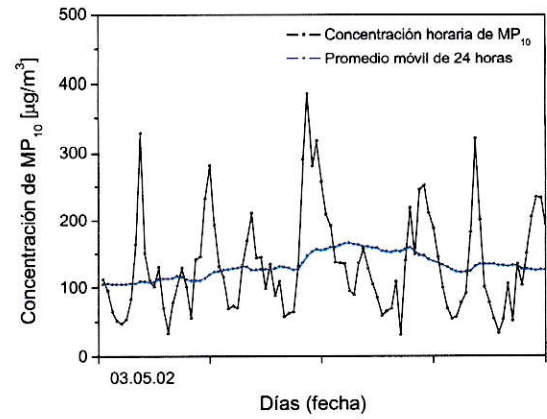
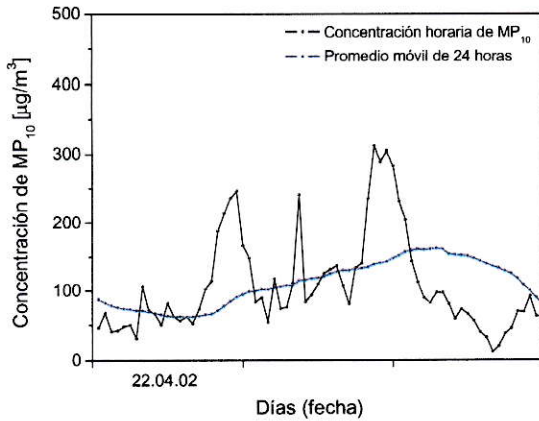


Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación El Bosque

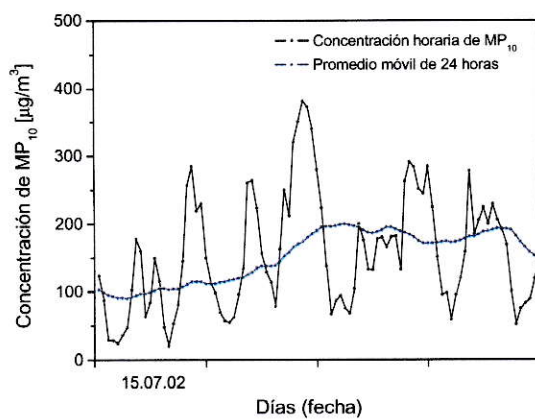
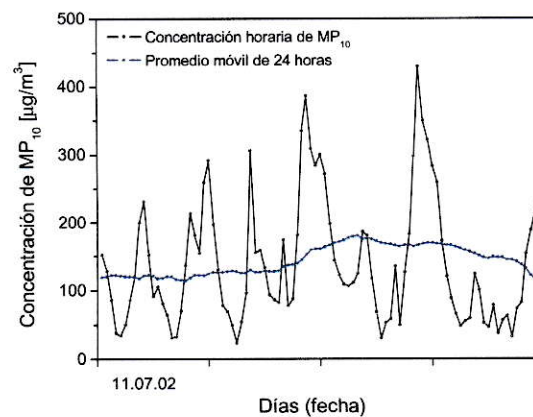
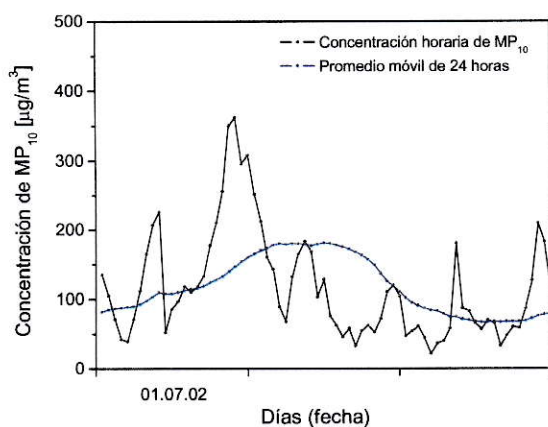
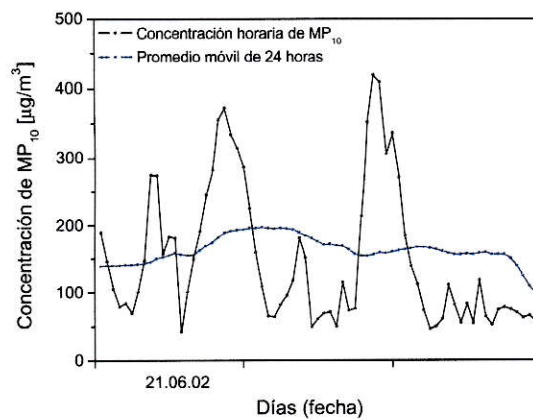
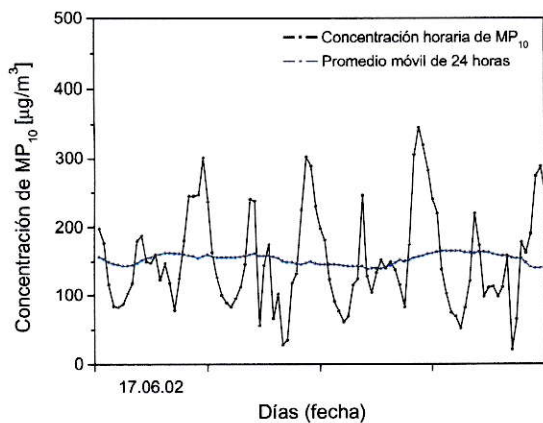
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación El Bosque

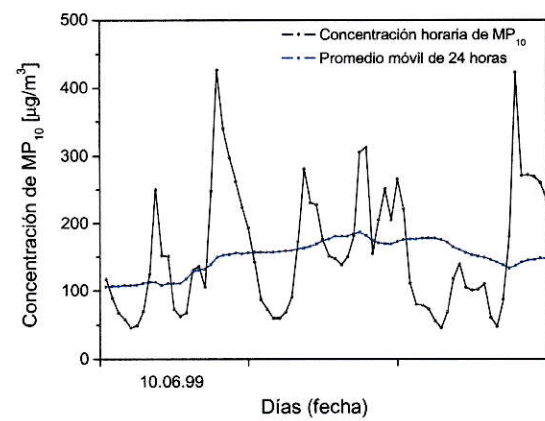
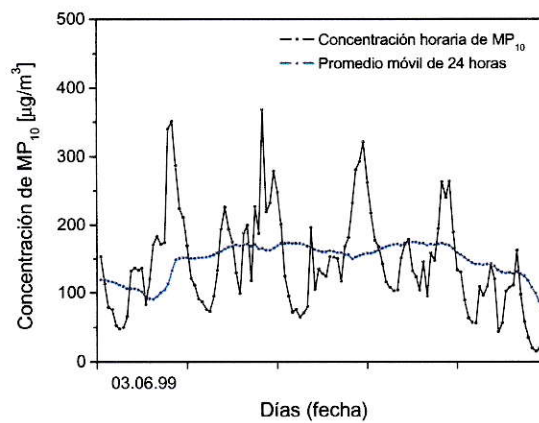
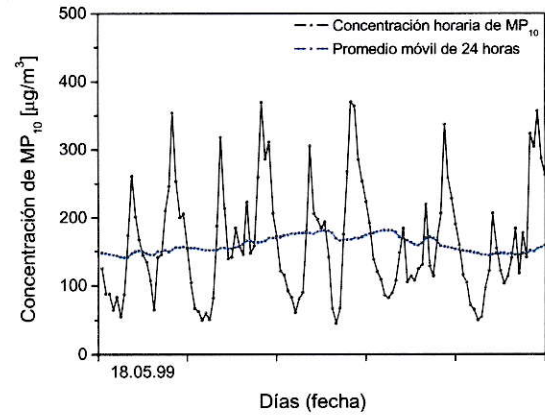
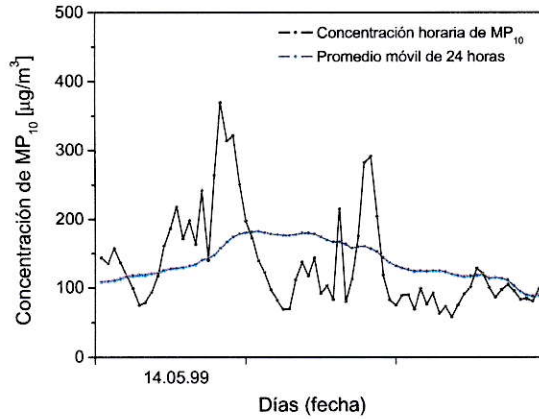
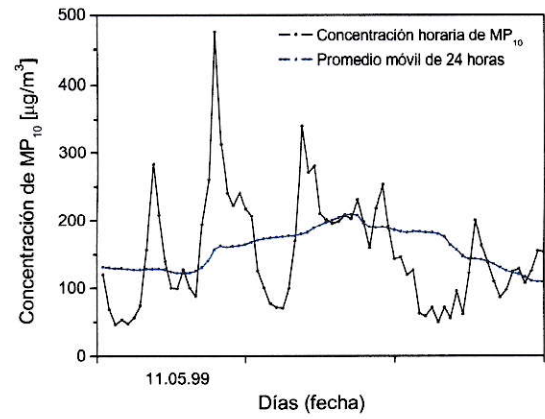
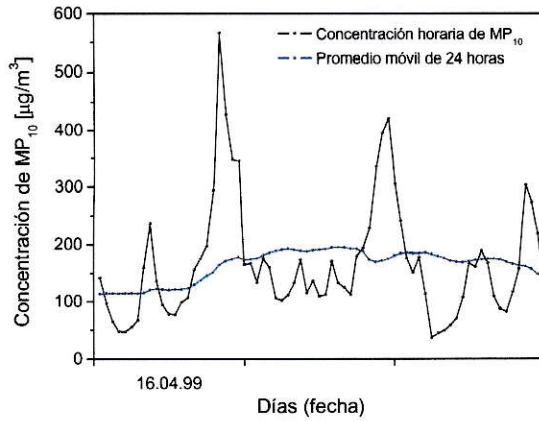
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación El Bosque

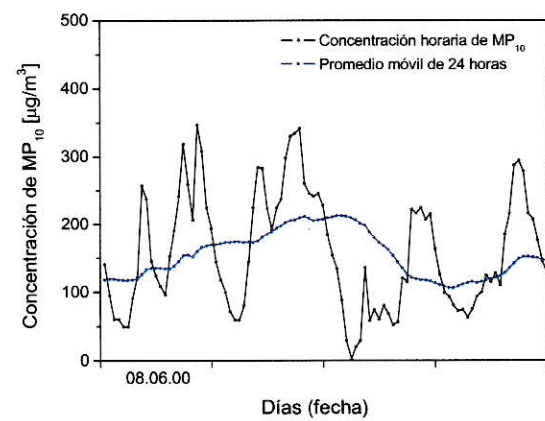
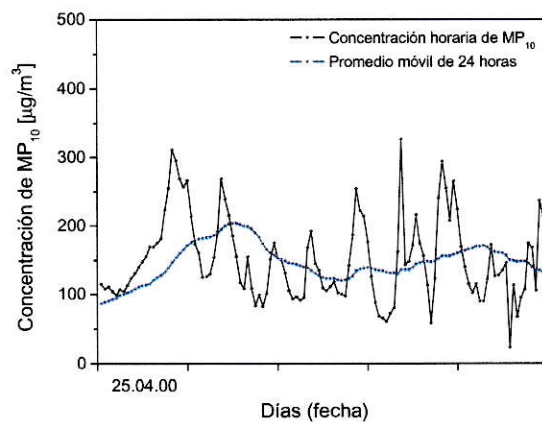
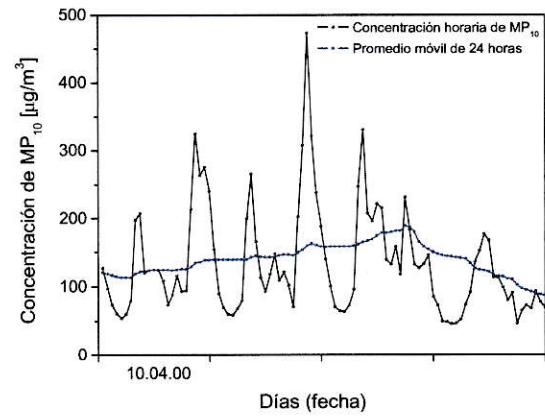
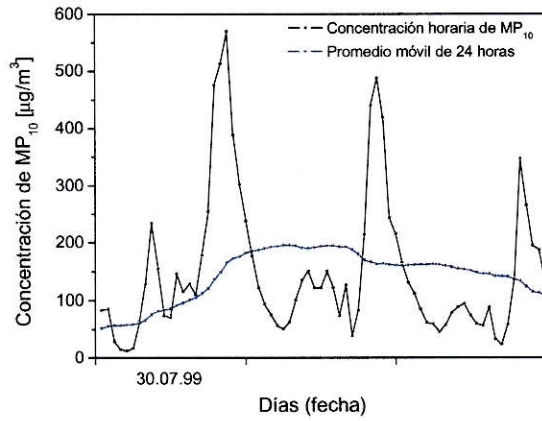
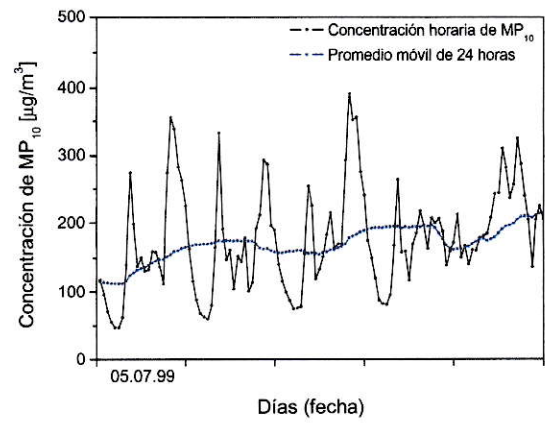
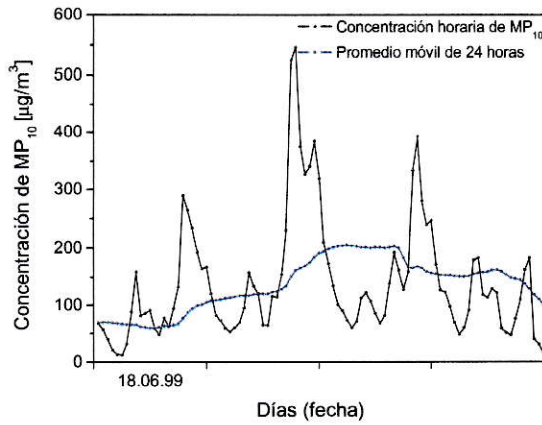
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación El Bosque

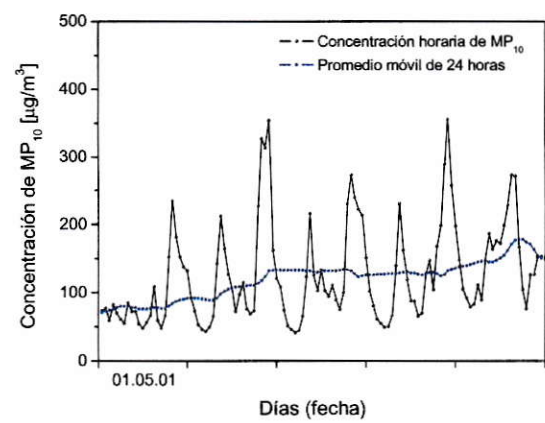
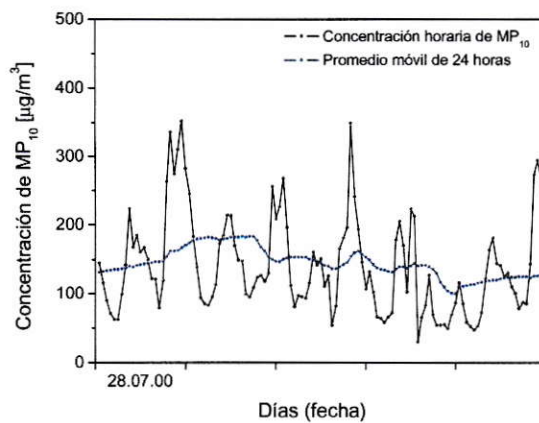
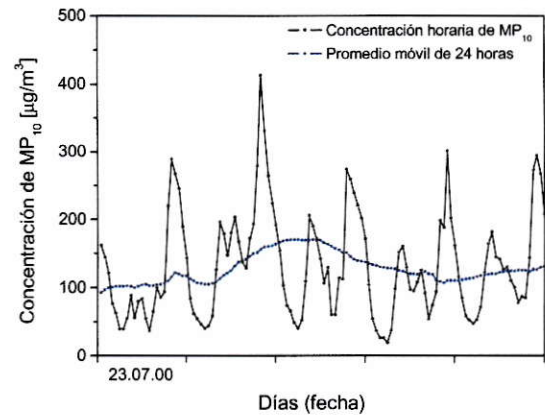
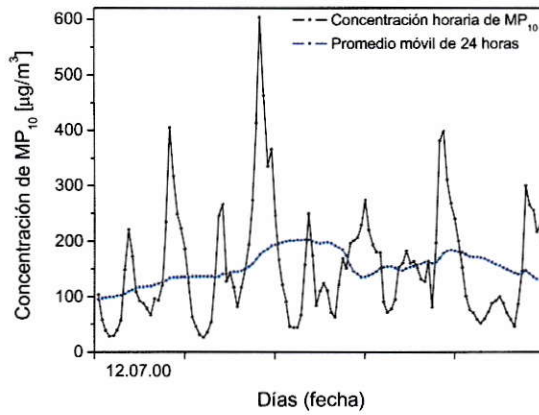
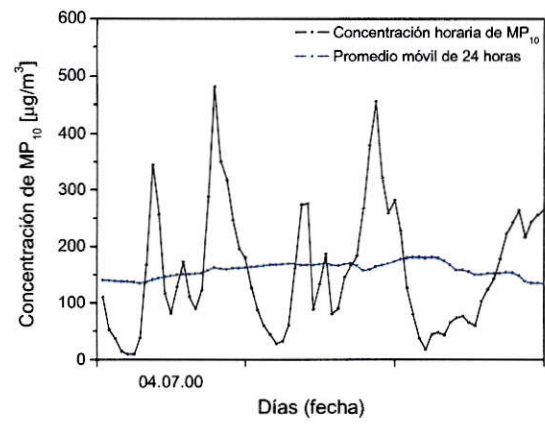
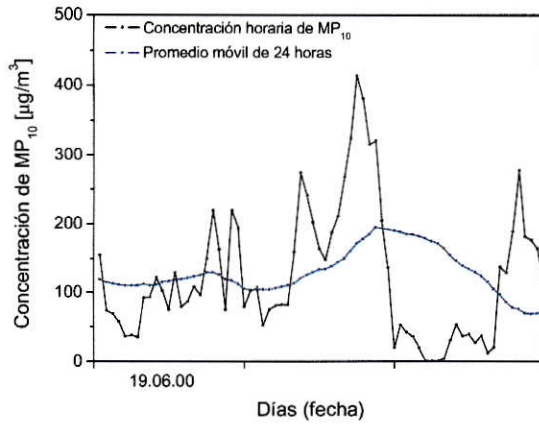
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación El Bosque

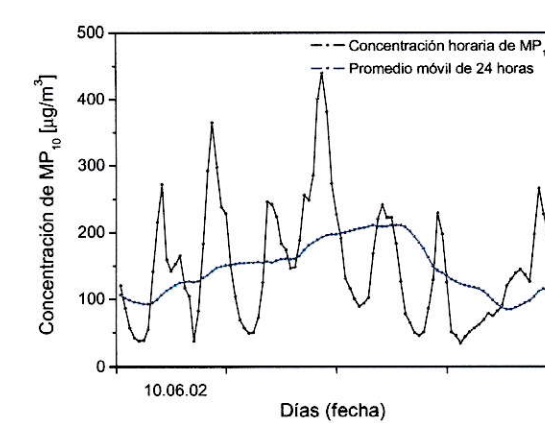
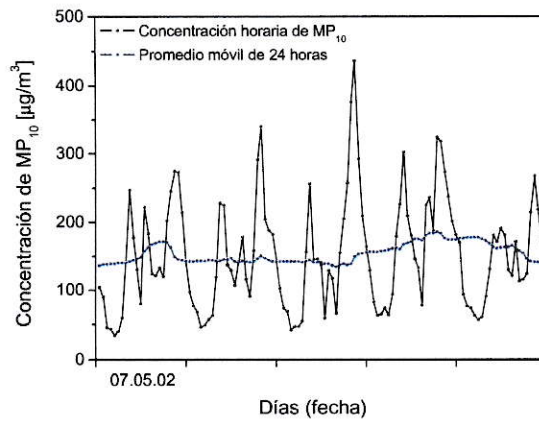
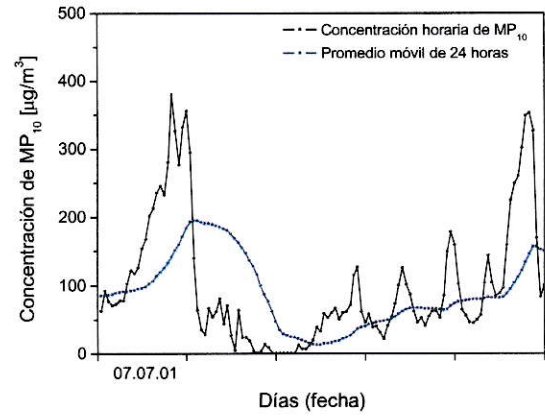
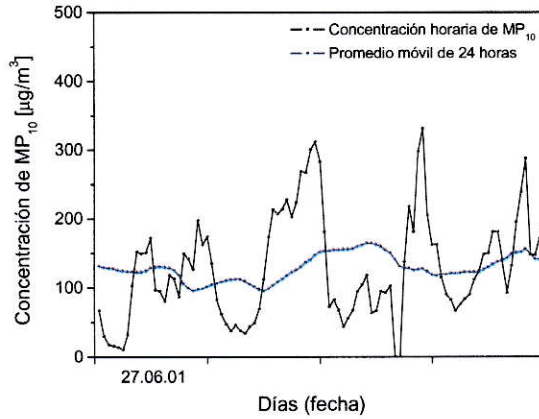
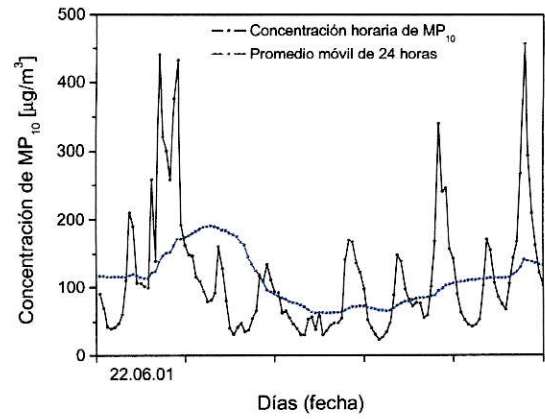
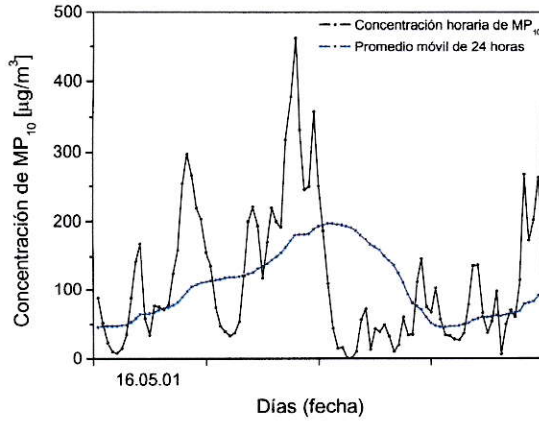
Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación El Bosque

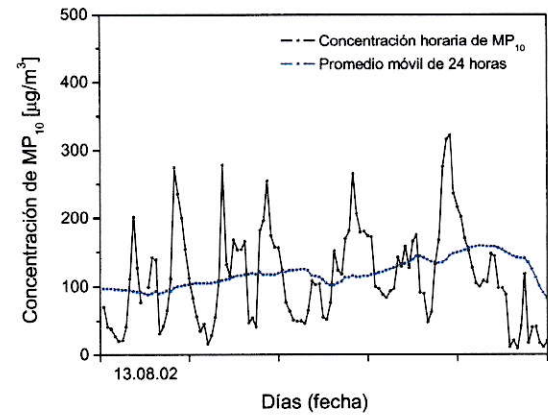
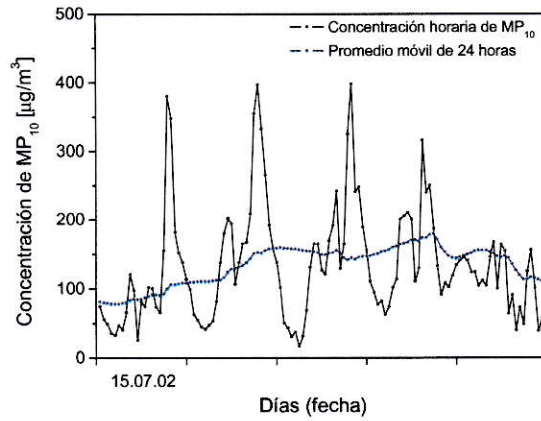
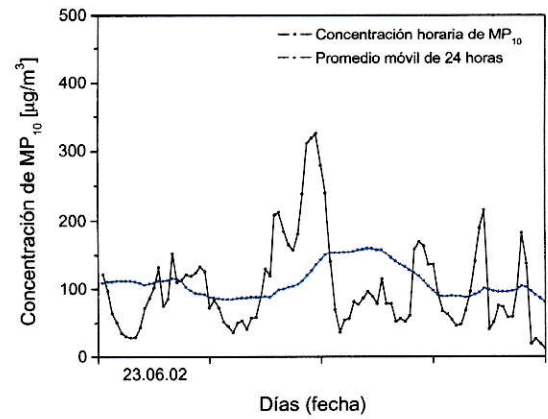
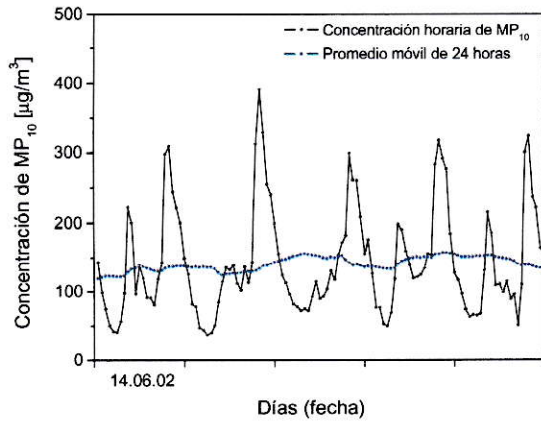


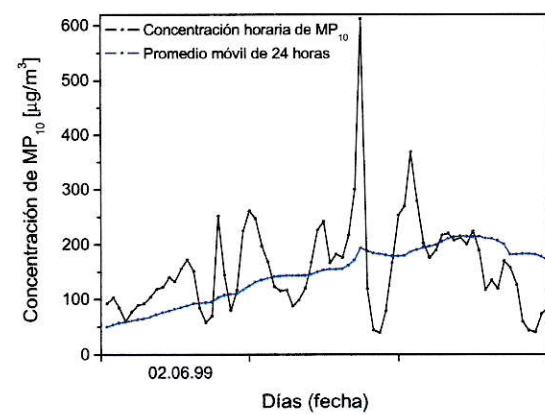
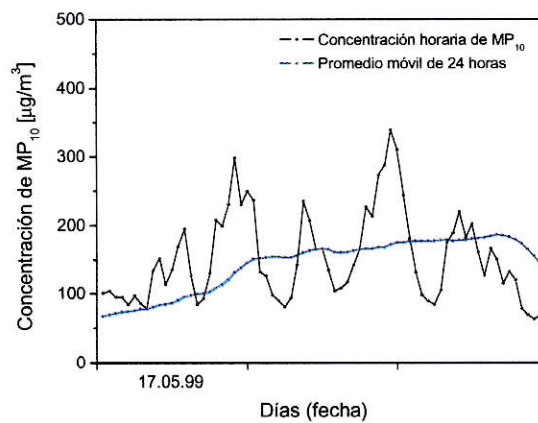
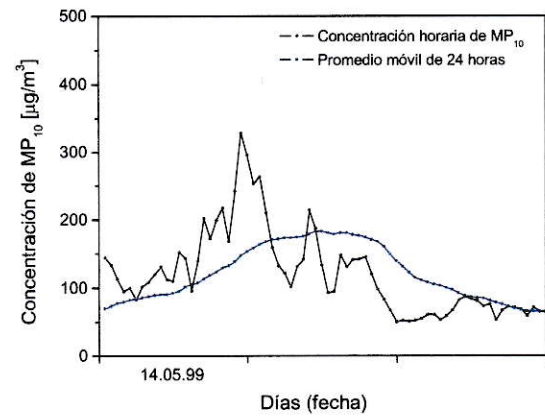
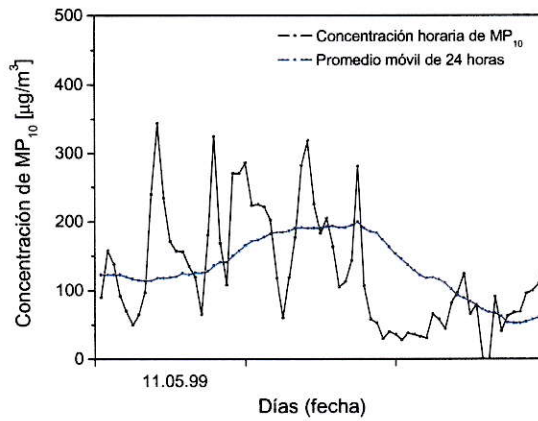
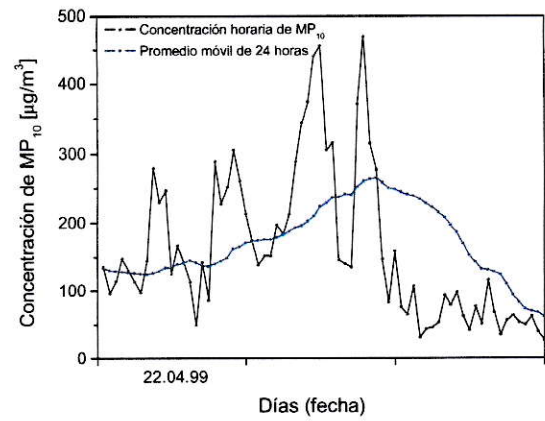
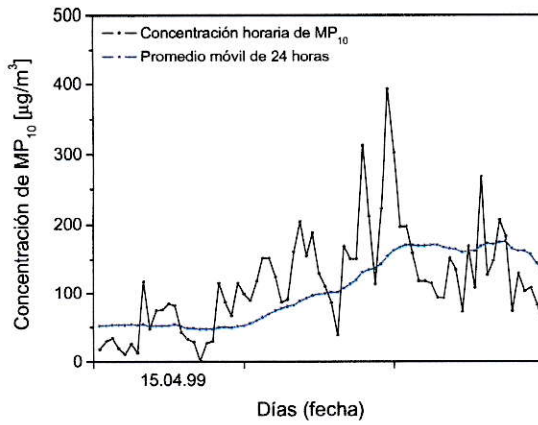
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación La Florida

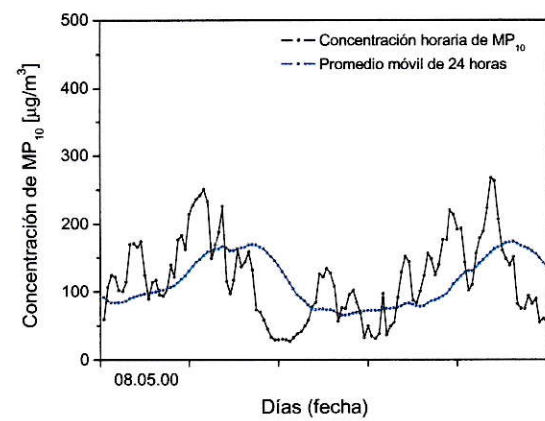
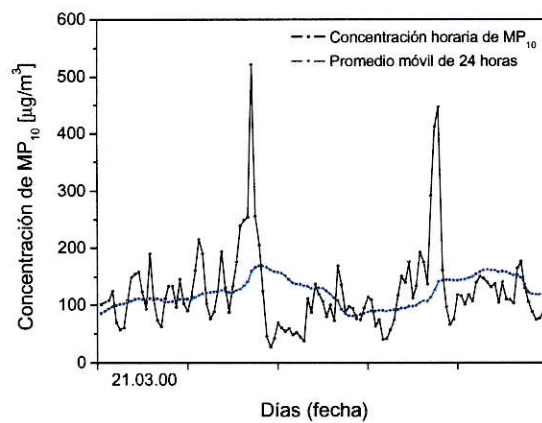
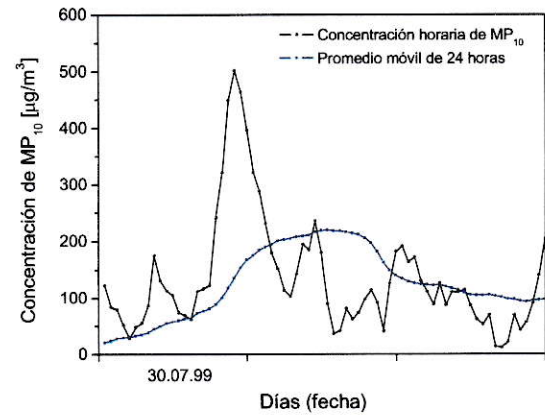
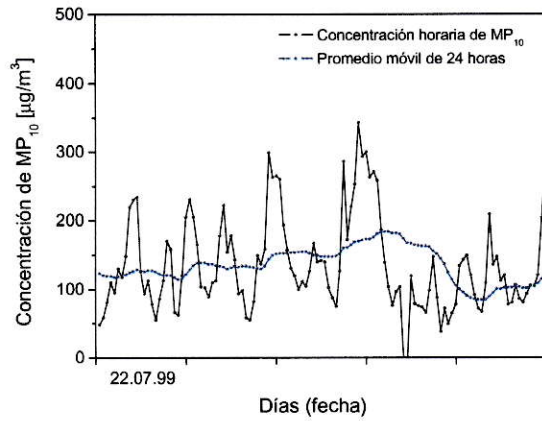
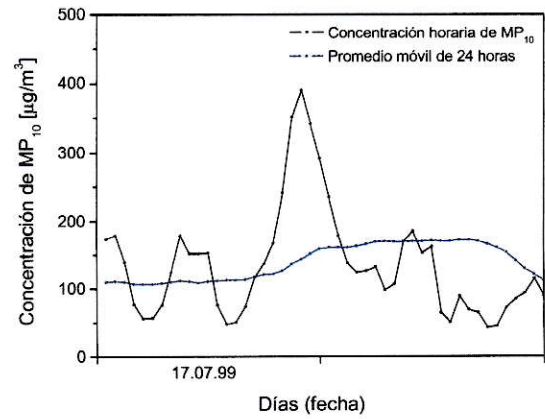
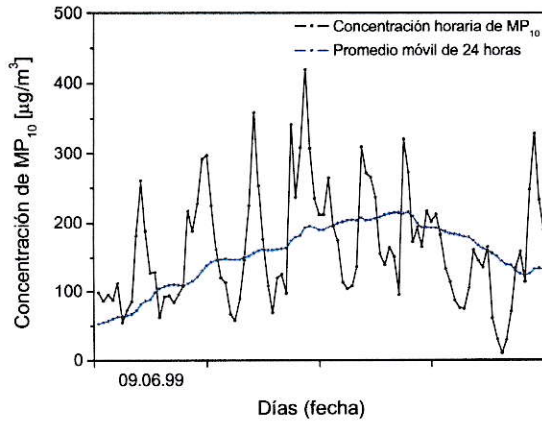
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación La Florida

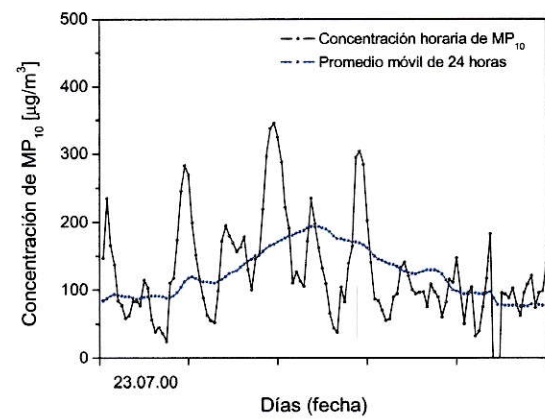
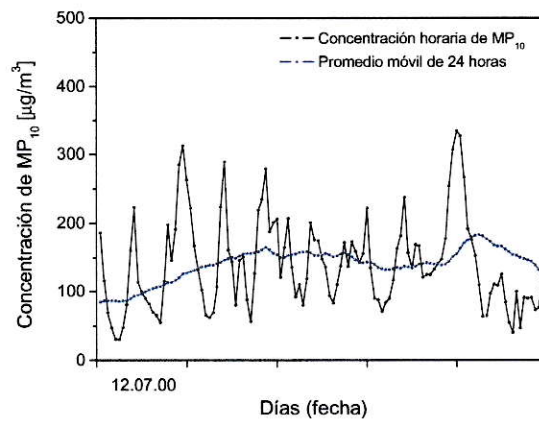
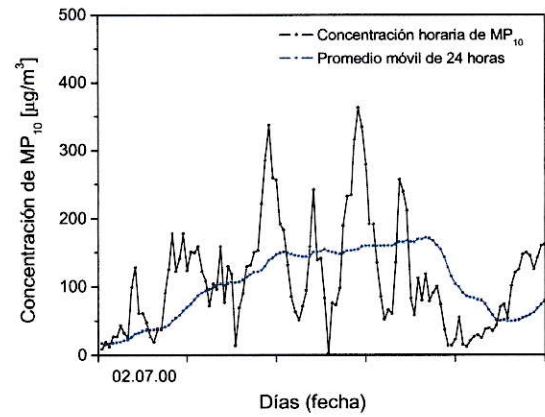
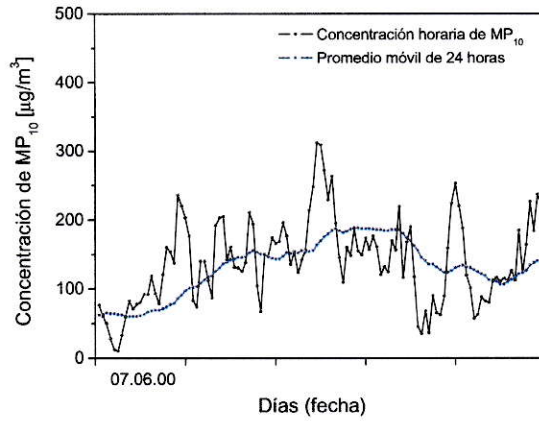
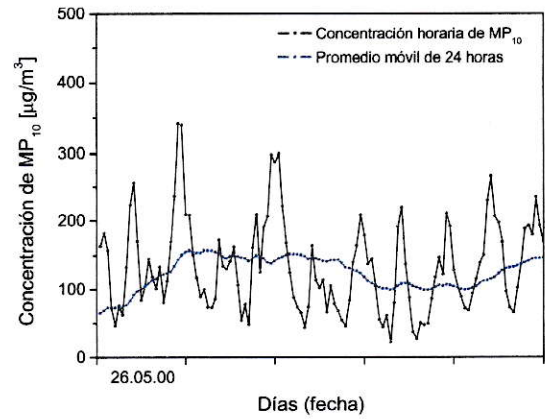
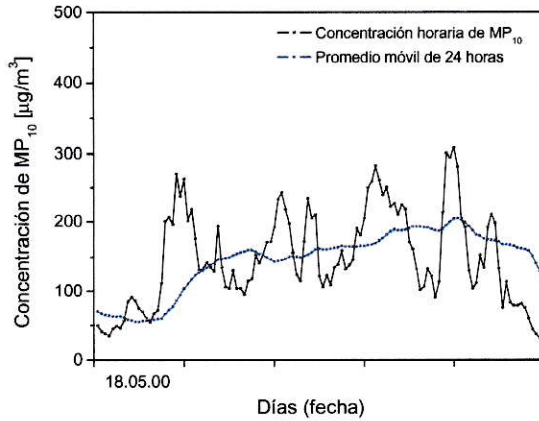
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación La Florida

Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación La Florida

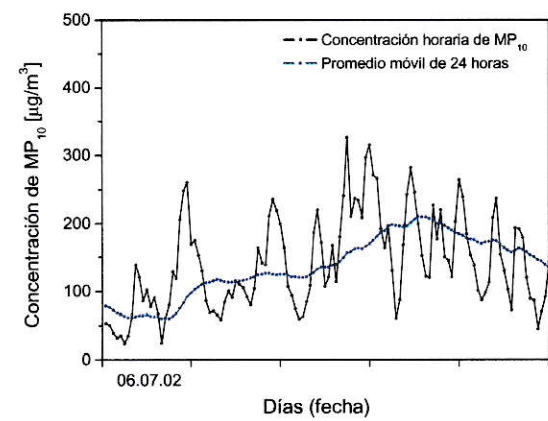
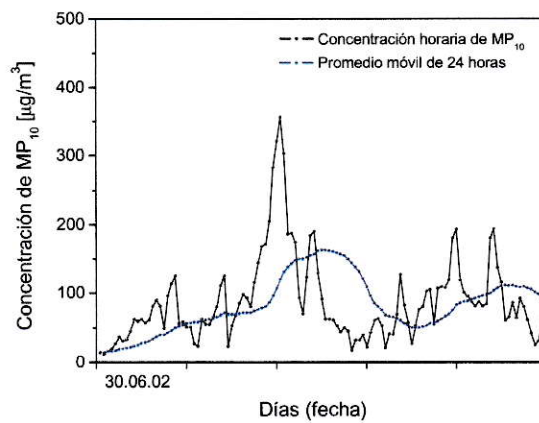
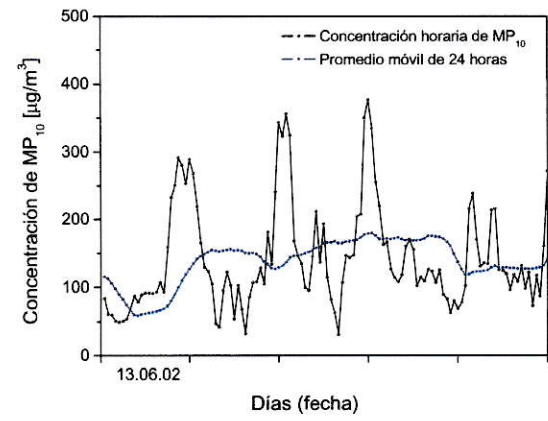
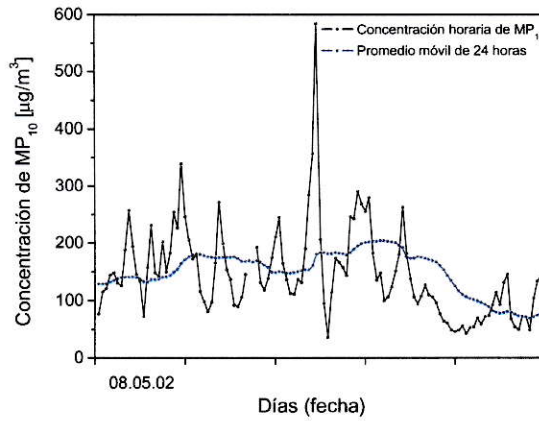
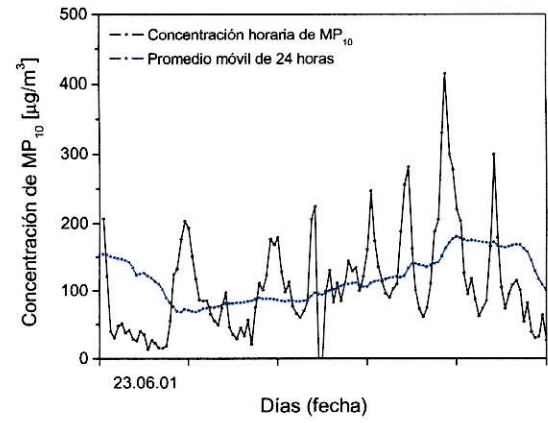
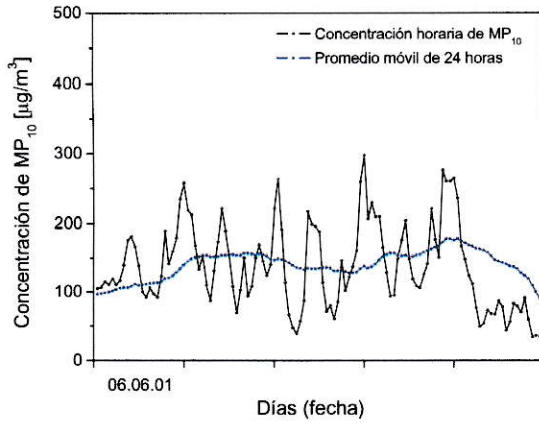
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación La Florida

Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Cerrillos

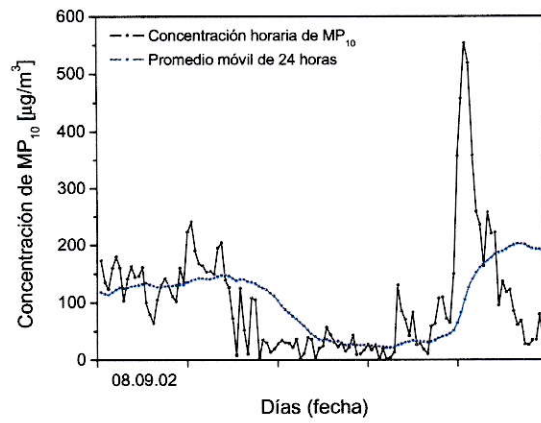
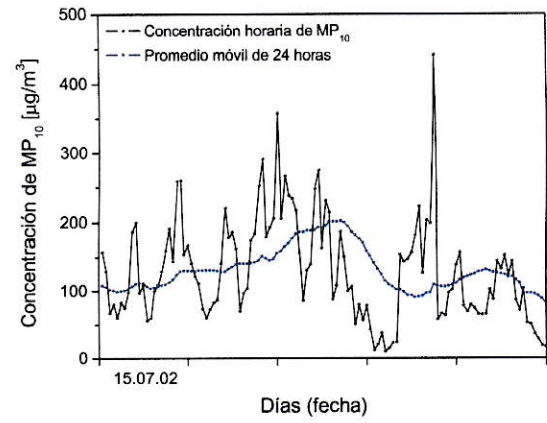
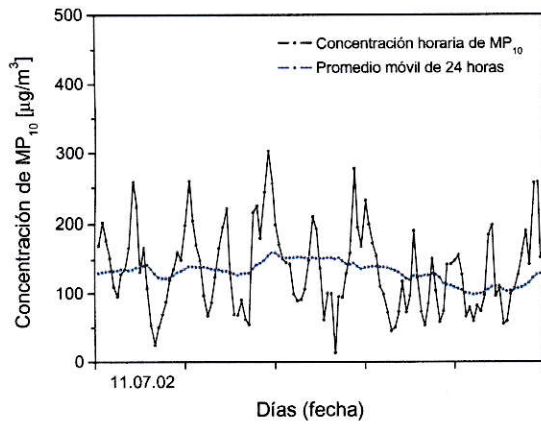
Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Cerrillos

Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Cerrillos

Episodios de Contaminación por MP_{10} - Estación Cerrillos



Episodios de Contaminación por MP₁₀ - Estación Cerrillos



Anexo B

Tablas de resultados análisis comparativo de los perfiles diarios de episodios críticos del grupo I y II

Estaciones:

- Pudahuel
- Parque O´Higgins (PO), El Bosque (EB), Cerrillos (Ce), La Florida (LF).

Contenido:

Tablas de datos con los resultados de los análisis comparativos de los episodios críticos del grupo I y II. Cada tabla contiene las siguientes columnas:

- **Fecha** del episodio crítico, por lo general, se indica la fecha en que ocurre la máxima concentración horaria de MP_{10} en la banda que origina el episodio de contaminación.
- **Tipo de emergencia**, si se trata de una alerta, pre-emergencia o emergencia. También se indica "nada" cuando no se decretó ningún tipo de situación de emergencia ambiental, nada...A cuando se decretó una situación de alerta en el(los) día(s) siguiente(s), y "nada...pre" cuando se decretó una situación de pre-emergencia en el(los) día(s) siguiente(s).
- **Año.**
- **Máximo 1h** [$\mu g/m^3$], representa el máximo valor de concentración horaria de partículas que alcanza la banda que origina el episodio crítico.
- **hora del máximo 1h**, expresa la hora en ocurre el máximo de concentración horaria.
- **Máximo 24h**, representa el máximo valor del promedio móvil de 24 horas que se produce a raíz de la banda de concentración horaria.
- **hora del máximo 24h**, expresa la hora en ocurre el máximo del promedio móvil de 24 horas.
- **Ancho de banda a media altura [hr]**, indica el ancho, expresado en horas, de la banda de concentración horaria de partículas que origina el episodio crítico.
- **Diferencia máximo**, es la diferencia entre máximo 1h y máximo 24h.
- **Diferencia hora del máximo**, que representa el desfase temporal del promedio móvil de 24 horas con respecto al valor de concentración horaria de MP_{10} .

Tabla B-1: Parámetros obtenidos para la **estación Pudahuel** en los episodios críticos del **grupo I**.

Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
16-Abr	Pre-emergencia	1999	552	23:00	283	19:00	12	269	20
19-May	nada	1999	495	23:00	224	18:00	8	271	19
11-Jun	Pre-emergencia	1999	516	21:00	242	08:00	6	274	11
19-Jun	Pre-emergencia	1999	523	20:00	244	07:00	9	279	11
17-Jul	Pre-emergencia	1999	816	23:00	320	07:00	7	496	8
24-Jul	nada	1999	562	01:00	292	07:00	11	270	6
25-Jul	Pre-emergencia	1999	712	22:00	335	09:00	8	377	11
31-Jul	Pre-emergencia	1999	771	22:00	270	17:00	7	501	19
08-Ago	Pre-emergencia	1999	596	01:00	220	15:00	7	376	14
26-Ago	Alerta	1999	642	22:00	229	15:00	5	413	17
05-May	nada...pre	2000	550	21:00	292	17:00	8	258	20
22-May	Alerta	2000	485	21:00	250	05:00	10	235	8
04-Jul	Alerta	2000	499	00:00	202	15:00	-	297	15
05-Jul	Pre	2000	571	21:00	276	17:00	9	295	20
13-Jul	Alerta	2000	529	00:00	235	05:00	9	294	5
14-Jul	Pre	2000	604	21:00	268	21:00	7	336	0
16-Jul	Alerta	2000	584	00:00	270	07:00	5	314	7
25-Jul	Pre	2000	516	00:00	270	11:00	8	246	11
07-Jun	A	2001	485	23:00	212	16:00	5	273	17
10-Jun	Pre	2001	495	23:00	252	05:00	10	243	6

Tabla B-1: Parámetros obtenidos para la **estación Pudahuel** en los episodios críticos del **grupo I**. (continuación).

Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
21-Jun	A	2001	558	21:00	269	14:00	8	289	17
26-Jun	Pre-emergencia	2001	597	22:00	284	16:00	8	313	18
09-Ago	A..nada	2001	512	21:00	228	10:00	7	284	13
16-Jun	Alerta	2002	625	01:00	278	04:00	8	347	3
23-Jun	Pre-emergencia	2002	559	01:00	235	06:00	8	324	5
12-Jul	Alerta	2002	583	22:00	263	09:00	9	320	11
13-Jul	Pre-emergencia	2002	555	21:00	267	02:00	9	288	5
			moda	09:00:00 PM		promedio	8,0	314,1	11,7
						desv. estandar	1,7	67,9	5,9

Tabla B-2: Parámetros obtenidos para la estación Pudahuel en los episodios críticos del grupo II.

Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
16-May	Pre-emerg	1999	456	00:00	257	11:00	9	199	11
29-May	Alerta	1999	445	23:00	201	08:00	7	244	9
13-Jun	nada*	1999	390	23:00	194	06:00	6	196	7
12-Abr	Alerta	2000	459	00:00	263	18:00	7	196	18
29-Abr	nada...pre***	2000	433	01:00	249	09:00	12	184	8
30-May	nada	2000	393	22:00	166	04:00	8	227	6
31-May	nada...pre	2000	400	22:00	193	17:00	8	207	19
18-Jun	nada...A**	2000	454	01:00	193	10:00	-	261	9
23-Jul	Alerta	2000	399	22:00	192	01:00	9	207	3
26-Jul	Pre-emerg	2000	418	21:00	206	17:00	8	212	20
02-Ago	nada	2000	480	22:00	220	10:00	7	260	12
17-Ago	Alerta	2000	398	22:00	198	04:00	9	200	6
04-May	A	2001	399	01:00	248	17:00	15	151	16
16-May	nada..A	2001	426	20:00	177	09:00	7	249	13
17-May	nada..A	2001	467	19:00	215	19:00	3	252	0
08-Jun	A	2001	457	23:00	228	09:00	6	229	10
17-Jun	nada..A	2001	428	00:00	169	07:00	-	259	7
19-Jun	A	2001	442	23:00	211	11:00	8	231	12
20-Jun	A	2001	478	20:00	233	22:00	9	245	2
27-Jul	A	2001	440	22:00	190	18:00	6	250	20

Tabla B-2: Parámetros obtenidos para la **estación Pudahuel** en los episodios críticos del **grupo II** (continuación).

Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
06-Ago	nada..A	2001	392	23:00	171	17:00	8	221	18
04-May	Alerta	2002	435	23:00	221	06:00	10	214	7
05-May	Alerta	2002	408	22:00	223	22:00	9	185	0
10-May	Alerta	2002	476	23:00	261	06:00	9	215	7
20-May	nada..A	2002	397	22:00	163	16:00	8	234	18
13-Jun	Pre-emerg	2002	433	21:00	161	05:00	7	272	8
18-Jun	Alerta	2002	467	20:00	260	13:00	11	207	17
21-Jun	Pre-emerg	2002	477	23:00	243	23:00	8	234	0
01-Jul	nada	2002	440	22:00	169	05:00	7	271	7
09-Jul	Alerta	2002	404	23:00	218	06:00	10	186	7
15-Jul	nada..A	2002	471	22:00	194	07:00	8	277	9
28-Jul	nada	2002	434	00:00	192	04:00	8	242	4
			moda	10:00:00 PM		promedio	8,2	225,5	9,7
						desv. estandar	2,1	30,3	6,0

*nada = no se decretó ningún tipo de situación de emergencia ambiental

**nada...A = se decretó una situación de alerta en el(los) día(s) siguiente(s)

***nada...pre = se decretó una situación de pre-emergencia en el(los) día(s) siguiente(s)

Tabla B-3: Parámetros obtenidos para las estaciones **PO-EB-Ce-LF**, en los episodios críticos del grupo I.

E	Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
Parque O'Higgins	12-May	Alerta	1999	501	19:00	214	15:00	7	287	20
	29-May	Alerta	1999	557	19:00	162	07:00	3	395	12
	19-Jun	Pre-emergencia	1999	713	18:00	212	05:00	2	501	11
	24-Jul	nada	1999	526	19:00	186	03:00	3	340	8
	04-Jul	Alerta...Pre	2000	510	22:00	206	17:00	6	304	19
	14-Jul	Pre	2000	492	22:00	210	14:00	5	282	16
	17-May	nada..A	2001	523	19:00	254	21:00	5	269	2
El Bosque	20-Jun	Pre-emergencia	1999	498	20:00	194	16:00	7	304	20
	17-Jul	Pre-emergencia	1999	484	21:00	192	11:00	6	292	14
	17-May	nada...A	2001	591	20:00	263	23:00	7	328	3
Cerrillos	31-Jul	Pre-emergencia	1999	502	22:00	220	13:00	7	282	15
	22-Mar	nada	2000	522	17:00	170	19:00	2	352	2
	10-May	Alerta	2002	584	11:00	205	04:00	2	379	15
	12-Sep	nada	2002	554	02:00	202	16:00	5	352	14

Tabla B-3: Parámetros obtenidos para las estaciones **PO-EB-Ce-LF**, en los episodios críticos del **grupo I**. (cont.)

E	Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
La Florida	16-Abr	nada	1999	566	20:00	193	07:00	4	373	11
	20-Jun	Pre-emergencia	1999	546	19:00	205	06:00	6	341	11
	31-Jul	nada	1999	570	21:00	197	06:00	5	373	9
	04-Jul	A	2000	481	19:00	170	07:00	4	311	12
	13-Jul	A	2000	603	20:00	203	08:00	5	400	12
				moda	07:00:00 PM		promedio	4,8	340,3	11,9
							desv. estandar	1,8	56,3	5,4

Tabla B-4: Parámetros obtenidos para las estaciones **PO-EB-Ce-LF**, en los episodios críticos del **grupo II**.

E	Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
Parque O'Higgins	23-Abr	Pre-emergencia	1999	433	12:00	238	19:00	5	195	7
	31-Jul	Pre-emergencia	1999	455	23:00	207	07:00	6	248	8
	12-Abr	nada...A	2000	478	21:00	201	02:00	5	277	5
	12-Jul	nada...A	2000	399	22:00	166	01:00	5	233	3
	18-Jul	Alerta	2000	467	21:00	163	04:00	4	304	7
	03-May	A	2001	419	21:00	179	23:00	5	240	2
	23-May	A	2001	397	21:00	165	06:00	6	232	9
	08-May	Alerta	2002	471	20:00	197	02:00	6	274	6
	11-Jun	nada..A	2002	432	20:00	244	10:00	5	188	14
	18-Jun	Alerta	2002	393	22:00	190	00:00	6	203	2
	12-Jul	Alerta	2002	448	21:00	177	23:00	6	271	2
	16-Jul	Alerta	2002	435	20:00	226	06:00	7	209	10
El Bosque	14-May	nada...P	1999	415	23:00	203	10:00	6	212	11
	24-May	Alerta	1999	398	09:00	140	16:00	2	258	7
	04-Jun	Pre-emergencia	1999	391	20:00	227	14:00	9	164	18
	18-Jun	nada	1999	417	20:00	174	10:00	6	243	14
	31-Jul	nada...P	1999	479	22:00	222	15:00	8	257	17
	21-May	nada..A	2000	440	21:00	201	23:00	5	239	2
	12-Jul	nada..A	2000	441	21:00	152	08:00	5	289	11
	13-Jul	A	2000	470	21:00	216	22:00	4	254	1

Tabla B-4: Parámetros obtenidos para las estaciones **PO-EB-Ce-LF**, en los episodios críticos del grupo II (cont.)

E	Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
El Bosque	24-Jul	Pre-emergencia	2000	392	21:00	168	15:00	-	224	18
	26-Jun	Pre-emergencia	2001	432	20:00	184	03:00	7	248	7
	22-May	Alerta	2002	402	21:00	199	08:00	8	203	11
	11-Jun	nada..PRE	2002	395	21:00	207	08:00	8	188	11
	14-Jun	Alerta	2002	419	22:00	195	04:00	7	224	6
	22-Jun	Pre-emergencia	2002	420	21:00	167	04:00	6	253	7
Cerrillos	16-Abr	nada	1999	393	23:00	171	02:00	4	222	3
	23-Abr	nada...Pre	1999	469	19:00	266	21:00	3	203	2
	10-Jun	nada	1999	419	21:00	215	16:00	8	204	19
	17-Jul	Pre-emergencia	1999	390	22:00	170	07:00	5	220	9
	24-Mar	nada	2000	447	19:00	163	08:00	3	284	13
	26-Jun	Pre-emergencia	2001	414	21:00	180	00:00	6	234	3
La Florida	18-Abr	Pre-emergencia	1999	421	23:00	186	02:00	5	235	3
	11-May	Pre-emergencia	1999	475	19:00	176	07:00	3	299	12
	10-Jun	nada	1999	427	19:00	162	08:00	5	265	13
	07-Jul	Pre-emergencia	1999	392	20:00	194	08:00	5	198	12
	12-Abr	nada..A	2000	473	21:00	189	18:00	3	284	21
	20-Jun	nada	2000	414	18:00	195	21:00	7	219	3
	05-Jul	Pre-emergencia	2000	455	21:00	181	03:00	6	274	6

Tabla B-4: Parámetros obtenidos para las **estaciones PO-EB-Ce-LF**, en los episodios críticos del **grupo II** (cont.)

E	Fecha	Tipo de emergencia	Año	Máximo 1h	hora del máximo 1h	Máximo 24h	hora del máximo 24h	Ancho de Banda a media altura [hr]	diferencia Máximo	diferencia Hora del Máximo
La Florida	12-Jul	nada..A	2000	405	20:00	137	02:00	4	268	6
	15-Jul	Pre-emergencia	2000	398	21:00	184	23:00	6	214	2
	24-Jul	A	2000	413	20:00	170	04:00	5	243	8
	17-May	nada..A	2001	462	19:00	197	02:00	7	265	7
	22-Jun	A	2001	441	17:00	191	07:00	6	250	14
	09-May	Alerta	2002	436	21:00	163	08:00	4	273	11
	11-Jun	nada..A	2002	440	21:00	211	08:00	7	229	11
	15-Jun	Alerta	2002	391	20:00	156	08:00	5	235	12
	16-Jul	Alerta	2002	397	19:00	160	01:00	5	237	6
			moda	09:00:00 PM		promedio	5,5	239,3	8,6	
						desv. estandar	1,5	31,8	5,1	