

*Revista Electrónica Nova Scientia*

Física y  
contaminación atmosférica

**Héctor G. Riveros**

---

Instituto de Física, UNAM, México DF

---

**Artículo por invitación**

**México**

*Nombre de autor para correspondencia.* A.P. 20-364, México 20 DF, [riveros@fisica.unam.mx](mailto:riveros@fisica.unam.mx)

© Universidad De La Salle Bajío (México)

## Resumen

La Enseñanza de la Física sirve para enseñar a razonar, los temas estudiados sirven como motivación. El aprender a razonar sirve en prácticamente todas las actividades de los seres humanos. La Física tiene muchas aplicaciones en la lucha contra la contaminación atmosférica. En particular, estudiaremos la propuesta de la aplicación del Programa Hoy no Circula para reducir la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México. La conclusión es que mejora la circulación, pero no reduce las concentraciones medidas de los principales contaminantes.

**Palabras clave:** Contaminación, Monóxido de Carbono, Ozono, coches

*Recepción:* 07-08-08

*Aceptación:* 19-08-08

## Abstract

Teaching Physics can be used to teach ways to reasoning, the studied topics are used mainly as motivation. Reasoning is useful in practically all human activities. Physics has many applications against atmospheric pollution. In particular, we will analyze the proposal "Today No Car" to reduce atmospheric pollution in the Metropolitan Zone of the Valley of Mexico. The conclusion is that improves vehicle circulation, without reducing the measured concentrations of the main polluting substances.

**Key words:** Pollution, Carbon Monoxide, Ozone, cars.

## Introducción

La creciente contaminación atmosférica en las grandes urbes, es un problema global; lo que ha hecho que se trabaje continuamente buscando la manera de medir y reducir las emisiones contaminantes. El primer paso para resolver un problema es medir los parámetros que lo caracterizan, lo que ha llevado al diseño de muchos dispositivos para medirla. Los métodos más rápidos son ópticos basados en la espectroscopia infrarroja y ultravioleta, dependiendo de las bandas de absorción de las moléculas contaminantes.

En cuanto a reducir las emisiones, las mejoras en los motores, la eliminación del plomo en las gasolinas y la inclusión de convertidores catalíticos en los escapes de los autos, han sido las medidas más exitosas para reducir la contaminación ambiental. El plomo en el aire ha disminuido a valores no perjudiciales y las emisiones de monóxido de carbono CO, hidrocarburos HC y óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> se han reducido notablemente.

Pero a pesar de los avances logrados, el incremento del tamaño de las ciudades con mayores emisiones, hizo pensar en reducir el número de coches en circulación, como otro mecanismo para reducir la contaminación.

#### Ejemplo de aplicación del razonamiento físico:

##### El Hoy No Circula.

Cuando en el mes de noviembre de 1989 se implantó el programa “Hoy No Circula” HNC se hizo con el fin de retirar de la circulación, en los días laborables, el 20% de los autos particulares. Como hay 10 dígitos (0 a 9) posibles para el último número de la placa, y 5 días de lunes a viernes, retirando dos dígitos diarios se evita que circulen 20% de los coches. La medida se aplicó sin que se publicara una estimación de la reducción esperada en las emisiones. No se evaluó la relación costo/beneficio.

Podemos hacer un intento de calcular estas reducciones. Dado que estos coches son responsables del 60% de las emisiones contaminantes. Es de esperarse una reducción del 12% en ellas en los días entre semana. Tomando 5/7 del 12%, se obtiene 8.6% como máxima reducción. Este máximo se alcanza solamente si la población que utilizaba ese transporte se quedara en su casa. Si por el contrario, se desplaza en algún otro vehículo, o usando el transporte público, las emisiones por

este medio de transporte y el consumo de gasolina se incrementan, reduciendo así el impacto que se perseguía inicialmente con el programa.

Al retirar el 20% de los vehículos particulares, en principio, se debe facilitar la circulación en las calles reduciendo así los embotellamientos y por consiguiente la contaminación y el consumo de gasolina. Sin embargo, al sumar el incremento en el consumo del transporte alternativo, generalmente con mayores emisiones, no podía esperarse una reducción significativa en la contaminación, pero sí un aumento considerable en las molestias a que está sujeta la población.

De estos simples razonamientos se deriva que el programa “Hoy NO Circula” carece, desde un principio, de fundamentos sólidos que permitieran reducir la contaminación y el consumo de gasolina y por ello nunca debió de implantarse.

### Métodos gráficos

La Red Automática de Monitoreos Atmosférico RAMA de la Secretaría del Medio Ambiente mide cada minuto los principales contaminantes en muchos lugares de la Ciudad. Con los datos de cada minuto se saca un promedio horario que se almacena en archivos que se pueden bajar del sitio web de la RAMA. Las estaciones más representativas son: Tlanepantla, Xalostoc, Merced, Pedregal y Cerro de la Estrella. La figura 1 muestra el promedio del Ozono medido en estas 5 estaciones desde la una de la mañana del lunes (1-24 horas) hasta las 24 horas del domingo (144-168 horas) para dos semanas consecutivas del mes de junio de 2008.

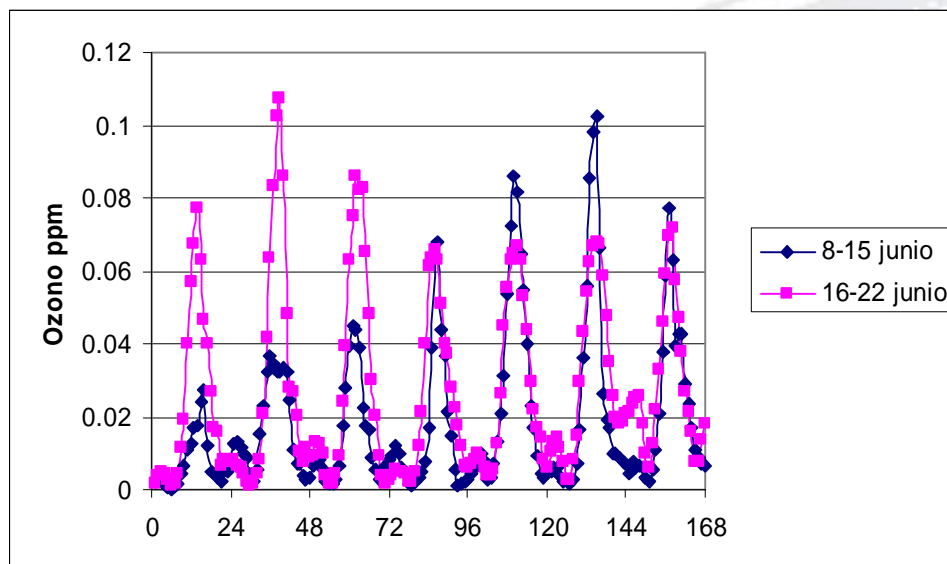


Fig. 1.- Ozono promedio de cinco estaciones en el Distrito Federal. El valor máximo aparece a la misma hora todos los días de la semana, pero su valor cambia según las condiciones meteorológicas.

Para interpretar tendencias es necesario reducir el número de datos, teniendo en mente su interpretación. Graficando los datos de un año solamente se observa una banda que no es fácil de interpretar. En el caso del Ozono interesa el valor máximo porque es el que usa para declarar contingencia y restringir la circulación de vehículos.

Tomando el valor de CO de las 9 horas para las cinco estaciones de la RAMA en el período del 1 de octubre al 31 de diciembre de 1989 se obtiene la figura 2, en donde también se muestra el llamado promedio móvil de 30 días que suaviza las fluctuaciones ya que toma el promedio de 15 días antes y 14 días después del día considerado.

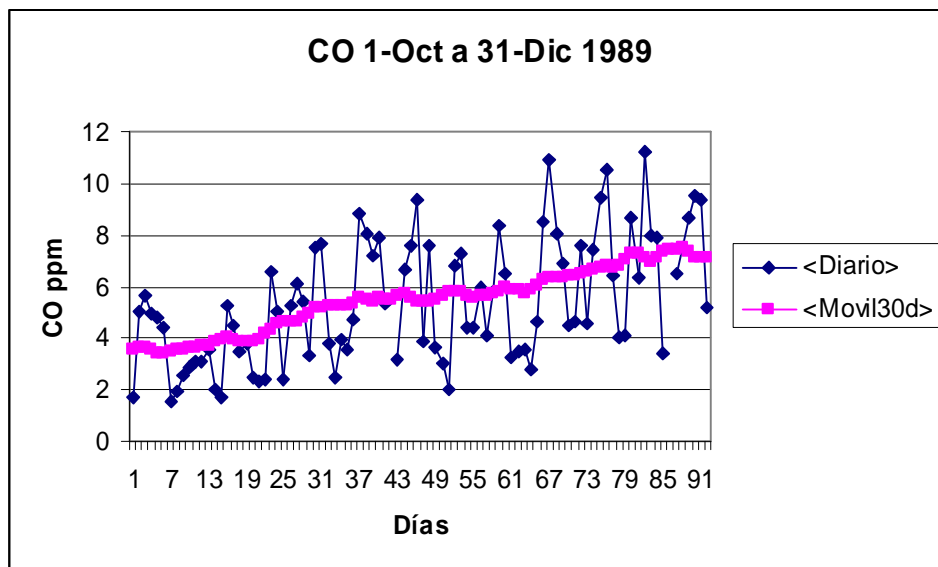


Fig. 2.- El promedio diario tiene fluctuaciones considerables que se ven reducidas con el promedio móvil de 30 días. Esto es necesario si se quiere comparar datos de varios años.

Para ver tendencias a lo largo de varios años, es cuando son más útiles los promedios móviles. La figura 3 muestra un ejemplo de la utilidad del promedio móvil de 30 días para los datos del 1 de enero de 1990 al 30 de noviembre de 2005. Podemos apreciar que la contaminación por Monóxido de Carbono CO está disminuyendo a lo largo de los años. Los inventarios de emisiones concuerdan con estas reducciones. Los valores máximos corresponden al invierno y los mínimos a los veranos, lo que nos dice que los datos son relativamente confiables.

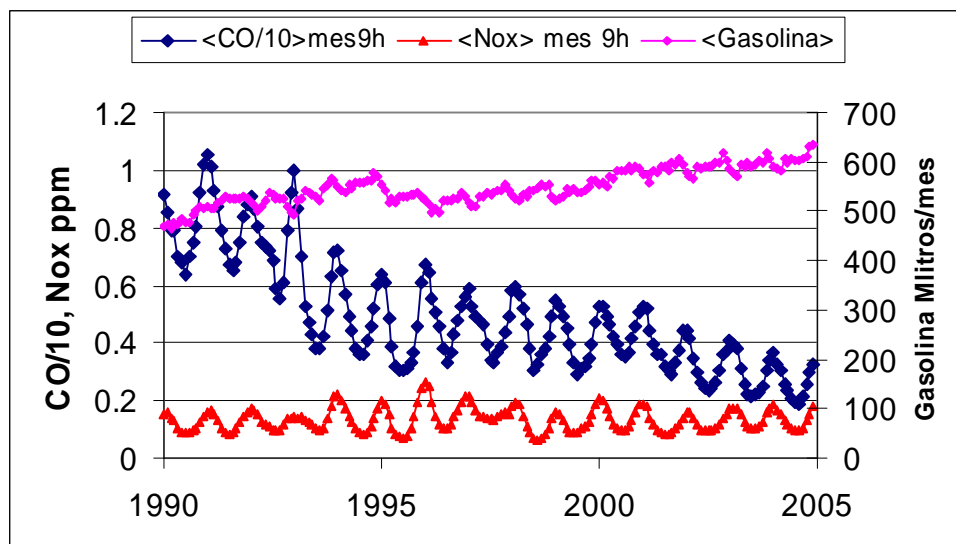


Fig. 3.- Promedio móvil de 30 días para los máximos de Monóxido de Carbono CO y Óxidos de Nitrógeno NOx desde el 1 de enero de 1990 hasta el 30 de noviembre de 2005. El NOx se ha mantenido constante a lo largo de los años. El promedio móvil 30 días de los valores máximos permite observar claramente las tendencias para muchos años.

### Que pasó en 1989

Por otro lado, la experiencia del programa indica, al comparar los índices de contaminación de la ciudad de México antes y después de aquel 20 de Noviembre de 1989, que no se detectaron cambios significativos en los niveles de contaminación. Davis de la Universidad de Michigan llega a la misma conclusión en un estudio de 36 páginas<sup>1</sup>. Se observó, como se muestra en la figura 4, una disminución de 5% en el consumo mensual de la gasolina en esas fechas. Sin embargo, no se observó una disminución en las concentraciones de Monóxido de Carbono CO y de Ozono O<sub>3</sub> en el aire de la ciudad. Esto obedece a que las fluctuaciones estadísticas causadas por cambios en los vientos y en las emisiones son mucho mayores que las debidas al programa, o a que las mayores emisiones del transporte alternativo compensaron la reducción en consumo de gasolina.



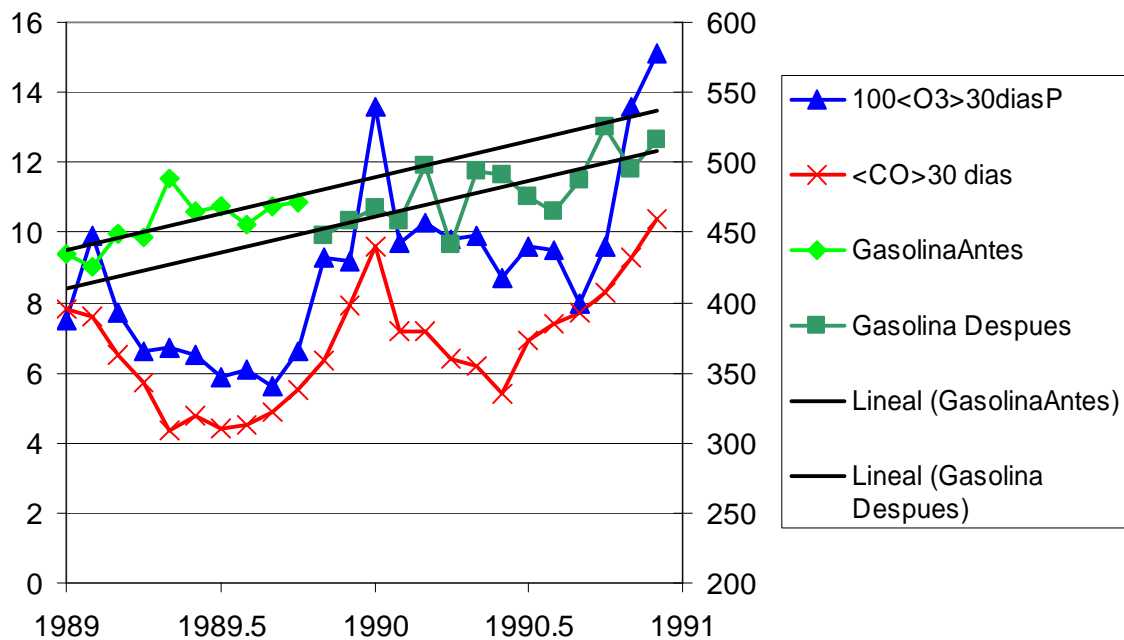


Fig.4.- Concentración de CO ppm y Ozono (x100) ppm en el eje izquierdo y consumo de gasolinas en millones de litros mensuales en el eje derecho, en la zona Metropolitana de la ciudad de México. Nótese que no hay cambio significativo a fines de 1989.

En la figura 5 se muestran las ventas de coches en todo el país para los años comprendidos entre 1960 y 1993, (en número de unidades). En ella se observan las reducciones drásticas en las ventas, claramente asociadas a la situación económica por la que atraviesa el país, más que a cualquier otro factor.

Si se considera que la medida del “Hoy No Circula” (desde sus inicios cuando era de forma voluntaria) tuvo sus orígenes allá por el año de 1987, ésta bien puede estar relacionada con una drástica caída en el volumen de ventas de coches nuevos. Como resultado de la recuperación en las ventas en el año de 1989, el incremento de coches en circulación compensó la reducción diaria de vehículos asociada con el programa “HNC”, volviendo a tener embotellamientos similares a los observados antes de la implantación de la medida.

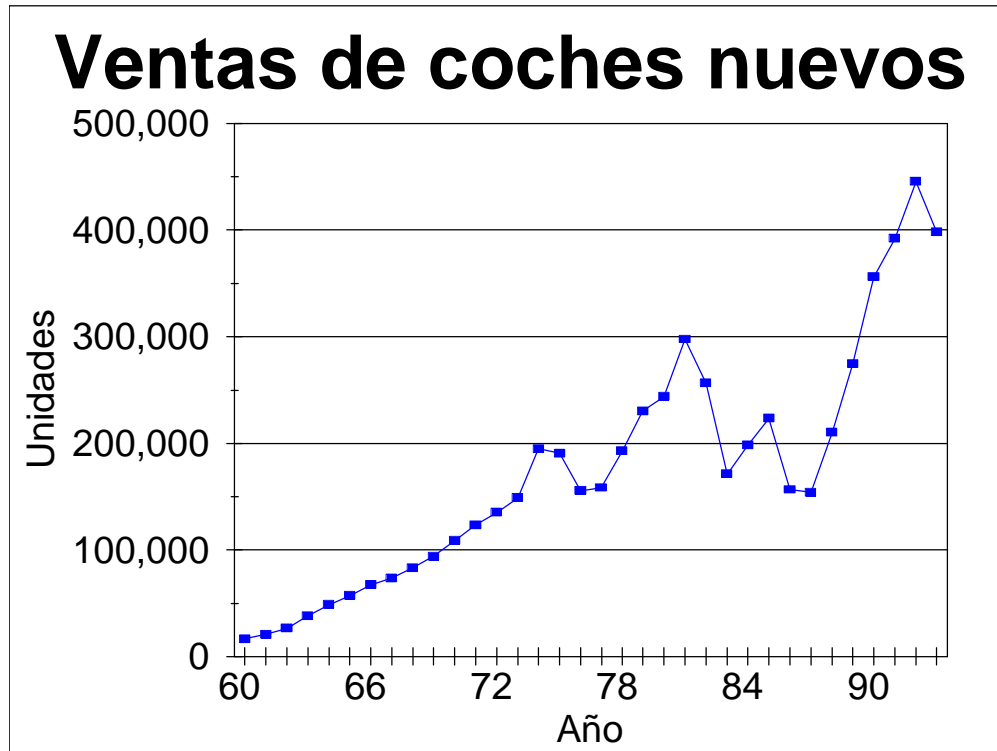


Figura 5.- Ventas totales de las cinco marcas que venden más coches en el país. Se nota claramente las reducciones asociadas a la mala situación económica.

Una vez más, los mexicanos habíamos encontrado la manera de obedecer una ley y al mismo tiempo seguir viviendo igual que antes: “Me compro un segundo coche”, “No vendo la carcachita”, “Se lo pido prestado a mi compadre”, etc., son algunas de las medidas a que se recurre para seguir con los desplazamientos acostumbrados. Las actividades cotidianas del mexicano continúan igual que antes. Es necesario convencer para que una medida sea aceptada por la población.

Medidas para reducir las distancias recorridas, como pueden ser el cambiarse cerca del lugar de trabajo o a un trabajo cercano a la casa, o cambiar a los hijos a escuelas más cercanas, o medidas como adecuar los itinerarios para evitar las horas pico y reducir los embotellamientos, son medidas poco utilizadas, pero que pueden reducir los consumos de gasolina y la contaminación ambiental así como los gastos.

Al inicio el programa “Hoy NO Circula” parecía ser un éxito, pero ello se debió sólo a las condiciones meteorológicas favorables que prevalecieron. Con el paso de los años el programa “Hoy NO Circula” ha demostrado su ineficiencia para cumplir con sus cometidos y finalmente parece



que está en vías de ser derogado. Solo ha servido como fuente de ingresos extraordinarios para el mercado automotriz, para los talleres de servicio y los verificentros y para algunas personas encargadas de cuidar que los coches no circulen. Es cierto que la gran mayoría de los mexicanos nos hemos apegado al programa, sin embargo, en el medio intelectual en el que nos desenvolvemos, solemos ser muy distraídos y olvidar alguna vez que el coche no puede circular, lo que suele costarnos desde la mitad de la multa establecida hasta la totalidad de ésta y un día en el corralón.

El método escogido para derogar el programa es lento. Empieza por reconocer que los coches con convertidor catalítico emiten de 10 a 15 veces menos contaminantes que un vehículo sin convertidor, y por lo tanto, es mejor que circule todos los días dándoles las calcomanía “cero” y “doble cero” si realmente emiten pocos contaminantes. Se inventó un “Doble Hoy No Circula” para los días de contingencia ambiental. Se desapareció la calcomanía “uno” para los coches exentos del “Doble Hoy NO Circula”, y la calcomanía “dos” que indica que se está dentro de los niveles establecidos pero que se le aplica el “Doble Hoy NO Circula”.

Cuando los niveles o índice metropolitano de calidad del aire (IMECA) llegan a valores cercanos a los 300, para poder reducirlos a niveles seguros para la población, es necesario reducir las emisiones a un 50%. Esto se puede lograr suprimiendo la circulación de casi la totalidad de los coches particulares que, como se mencionó anteriormente, son responsables del 60% de las emisiones. Tales condiciones tienen lugar en aquellos días del año en que sopla muy poco el viento, situación que es fácilmente predecible con 24 horas de anticipación; ya que corresponden a un anticiclón sobre la Ciudad de México y que por lo tanto pueden tomarse las medidas pertinentes antes de que esto suceda.

Como medida práctica en estos casos se aplica el “Doble Hoy NO Circula” situación en la que (entre otras medidas) se retira de la circulación el 40% de los coches particulares. Afortunadamente, los días de contingencia ambiental son pocos en el año y cabe esperar que vayan siendo menos conforme dejen de circular los coches sin convertidor catalítico.

Recientemente se implanto un HNC sabatino, incrementando en un día su aplicación. Para proponer el HNC sabatino se recurrió a la asesoría del Clean Air Institute CAI que evaluó la propuesta original que proponía sacar de circulación a todos los vehículos sin tomar en cuenta el

holograma de clasificación. La Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal afirma en su propuesta para el HNC sabatino que la contaminación atmosférica es mayor en los fines de semana. El informe del CAI incluye las siguientes figuras. La figura 6 (2 del estudio del CAI) muestra el promedio por día de la semana para el Ozono en las 5 estaciones de medida de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico RAMA.

### Comportamiento típico semanal del ozono por estación de monitoreo en la ZMVM

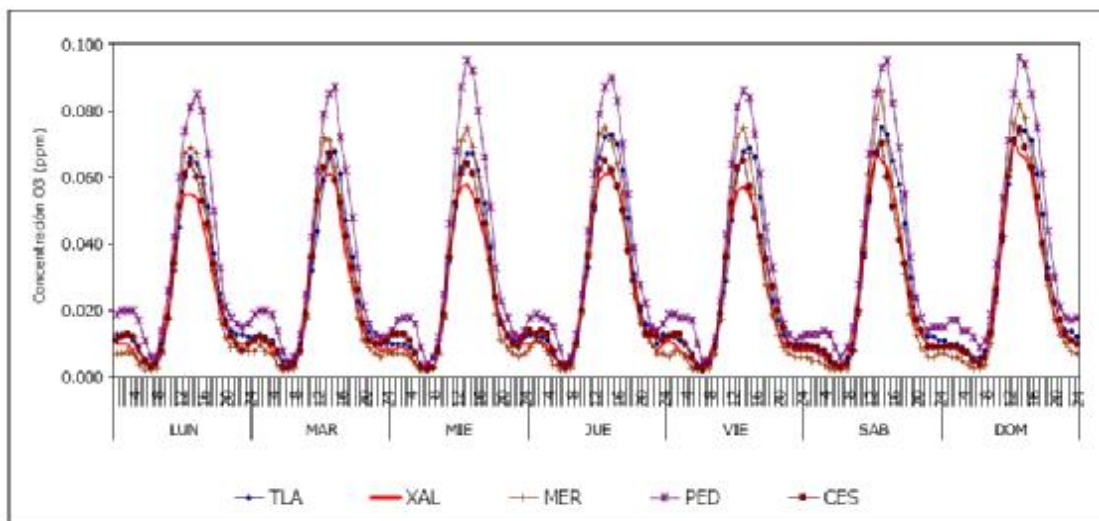


Figura 6.- Los valores pico de Ozono por estación de medida muestran las variaciones de la concentración en varias semanas. A pesar de que circulan todos los coches, en sábado y domingo no es mucho mayor la contaminación medida.

Podemos observar que aunque sábados y domingos circulan todos los vehículos la contaminación es prácticamente la misma en todos los días de la semana. El problema no es mucho peor los fines de semana. Pero el ozono es un contaminante que se forma en la atmósfera de la ciudad. Lo que los vehículos emiten en un 99% es el monóxido de carbono CO, cuyas concentraciones semanales las podemos ver en la siguiente figura.

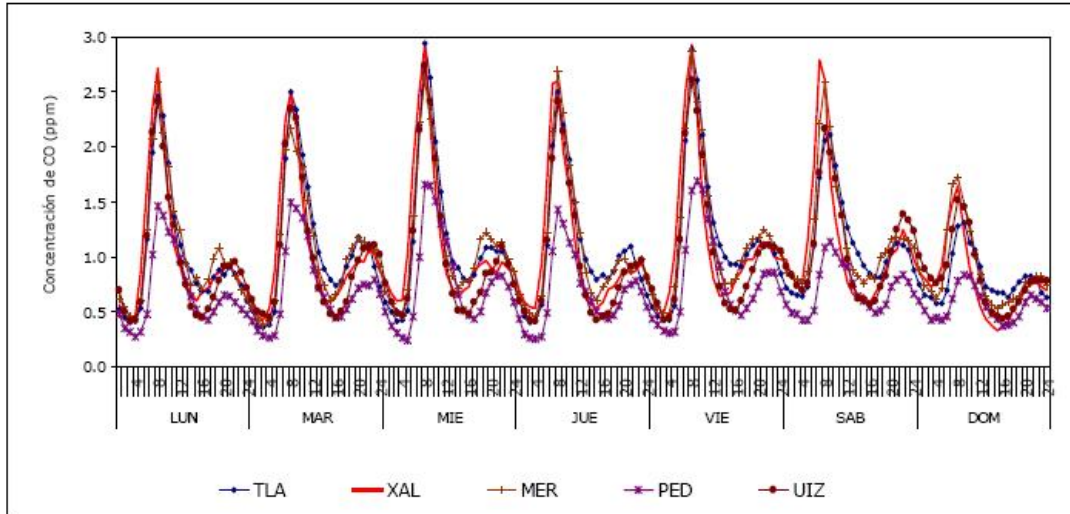


Figura 7.- EL CO los sábados no es mucho mayor que otros días de la semana, a pesar de que circulan todos los coches.

De la figura podemos ver una ligera reducción los sábados y una mayor los domingos, mostrando una reducción en la actividad vehicular. Podemos concluir que reducir las emisiones de CO no va a reducir los valores medidos de Ozono.

Sin embargo, el CAI concluye que la medida producirá reducciones notables en las emisiones. El párrafo siguiente esta tomado del estudio presentado en la página WEB de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal.

### 5.2.1 Conclusiones del análisis de reducción de emisiones

Actualmente, en la ZMVM, existe un incremento de contaminación los sábados comparado con días hábiles. De acuerdo con los cálculos realizados, si se aplica la restricción vehicular sabatina dejarían de circular 518,348 vehículos, y estos dejarían de emitir al día 29 toneladas de HC, 17 toneladas de NO<sub>x</sub>, 269 toneladas de CO, 2.32 toneladas de partículas PM<sub>10</sub>, 5,732 toneladas de CO<sub>2</sub>, 0.88 toneladas de CH<sub>4</sub>, 0.25 toneladas de N<sub>2</sub>O y 6.58 toneladas de compuestos tóxicos. La Tabla 17 muestra el resumen de las reducciones por entidad federativa y por tipo de contaminante si se aplica la restricción sabatina.

Estas conclusiones repiten el error cometido en 1989, omiten las emisiones asociadas a los desplazamientos de las personas que circulan habitualmente en los 518 348 vehículos que proponen sacar de la circulación. Peor aún, para este cálculo se sacan de circulación los vehículos nuevos con dispositivos anticontaminantes obligando a los usuarios a viajar en transportes alternativos

mucho más contaminantes. Se pagó por una asesoría que recomienda una medida que incrementaría la contaminación.

Finalmente la medida aprobada solamente sacó de circulación a los vehículos viejos que tienen holograma 2. Esto hizo difícil estimar si la contaminación iba a reducirse o a incrementarse, ya que sacando vehículos mejora el tráfico y reduce ligeramente el consumo de gasolina, pero el mayor uso del transporte público incrementa las emisiones.

Para justificar el HNC sabatino aplicado calculan sacar de circulación 350 000 vehículos cada sábado, con una reducción en las emisiones de CO de 818 ton/sábado, cuando el inventario de emisiones para fuentes móviles de 2006 menciona emisiones por 1,976,799 Ton/año (5416 Ton/día) suponiendo todos los días con emisiones iguales, Si este cálculo es correcto, podríamos esperar que el día sábado hubiera una reducción del 15% en las emisiones de CO con la consiguiente disminución en las medidas en el aire. Este cálculo no incluye los incrementos en las emisiones asociados al uso de transportes alternativos por los usuarios de los vehículos sacados de circulación.

### **¿Qué pasó los sábados del primer mes de aplicación del HNC sabatino?**

Para estudiar el efecto por día de la semana se acomodaron los datos medidos cada hora del 2 de junio al 30 de julio de 2008, comenzando los lunes a la una de la mañana para terminar con la hora 168 del domingo a las 24 horas. Con las concentraciones medidas se obtuvo el promedio de las 5 estaciones principales, para cada hora de la semana. Los lunes están de la hora 1 a la 24, los martes de la 25 a la 48, hasta llegar al domingo de la hora 144 a la 168.



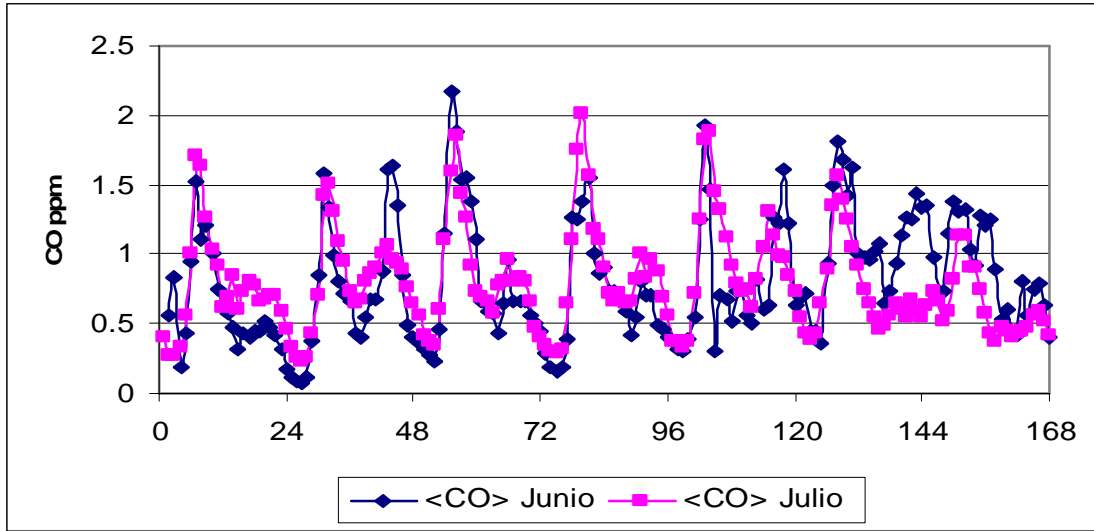


Fig. 8.- En Junio y Julio las concentraciones sabatinas son menores, presentan las fluctuaciones normales. No se puede decir que el HNC sabatino incrementó la contaminación el lunes y el jueves, o que la disminuyó el sábado.

Las concentraciones están medidas en ppm, pero se aprecia mucho ruido en las medidas comparadas con el Ozono. De la figura no se puede afirmar que hayan disminuido los valores de los sábados, pero tampoco se puede decir que hayan crecido. Paso lo mismo que en 1989, los efectos se compensaron sin cambio en las medidas en la atmósfera.

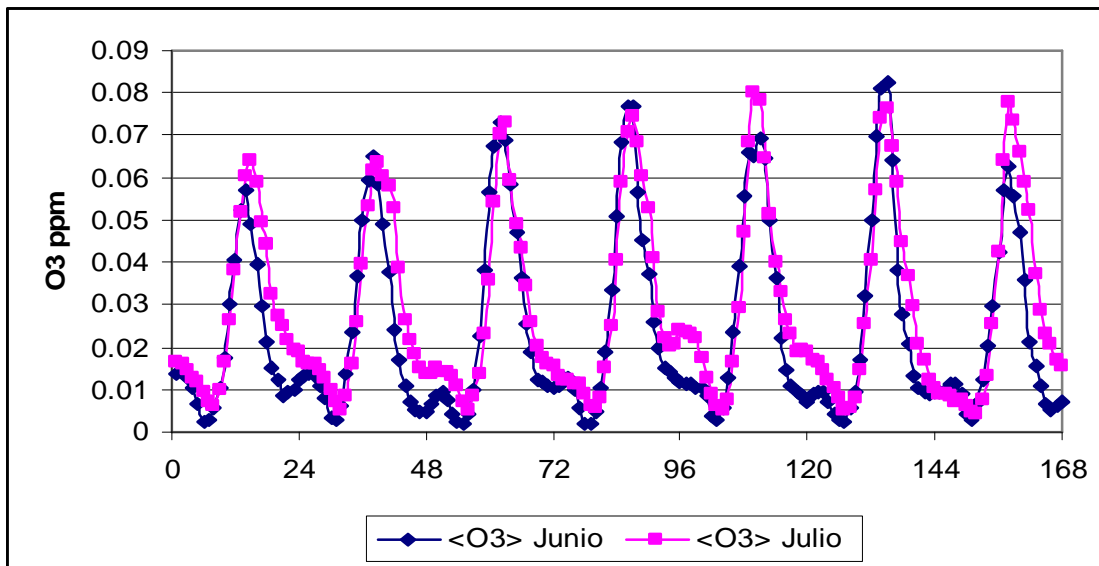


Fig. 9.- Los datos de Ozono son mucho mejores, no se aprecia cambio significativo en los sábados. Los máximos coinciden como debe de ser.



Los datos de Ozono son mucho mejores, pero no se observa una reducción significativa en el Ozono sabatino. El cambio está dentro de los valores observados como fluctuación para otros días de la semana.

### **Medidas de vehículos con Sensor Remoto**

La figura 10 muestra las emisiones medidas de Hidrocarburos con sensor remoto en diferentes tipos de vehículos circulando en la ciudad de México. Están ordenadas en orden creciente para obtener una curva representativa. Los vehículos más contaminantes son los microbuses, seguidos de los taxis y coches de provincia. Si los microbuses y taxis cambiarán cada año sus convertidores catalíticos bajarían las emisiones en un factor considerable. Estos transportes recorren al año más de 100 000 km, recorridos que degradan los dispositivos anticontaminantes mucho antes que los particulares.

Hay aspectos de la propuesta que sí podrían funcionar, como cambiar los vehículos de transporte público por nuevos modelos, lo que implica convertidores catalíticos nuevos mucho menos contaminantes. Lo malo es que para estos transportes el convertidor pierde eficiencia en un año, de nada sirve cambiar a modelos nuevos si no se controla que se cambien cada año los convertidores catalíticos. Idealmente, los taxis deberían tener ciertos años de vida, digamos diez, con cambios anuales de convertidor. Dado que es una concesión que se considera redituable (la compran), se deben establecer condiciones que aseguren un buen servicio. Por lo pronto, es mucho más sustentable regular la autorización a la circulación del transporte público a aquellos con convertidores catalíticos funcionales, y no pretender las grandes inversiones que implican comprar vehículos nuevos.

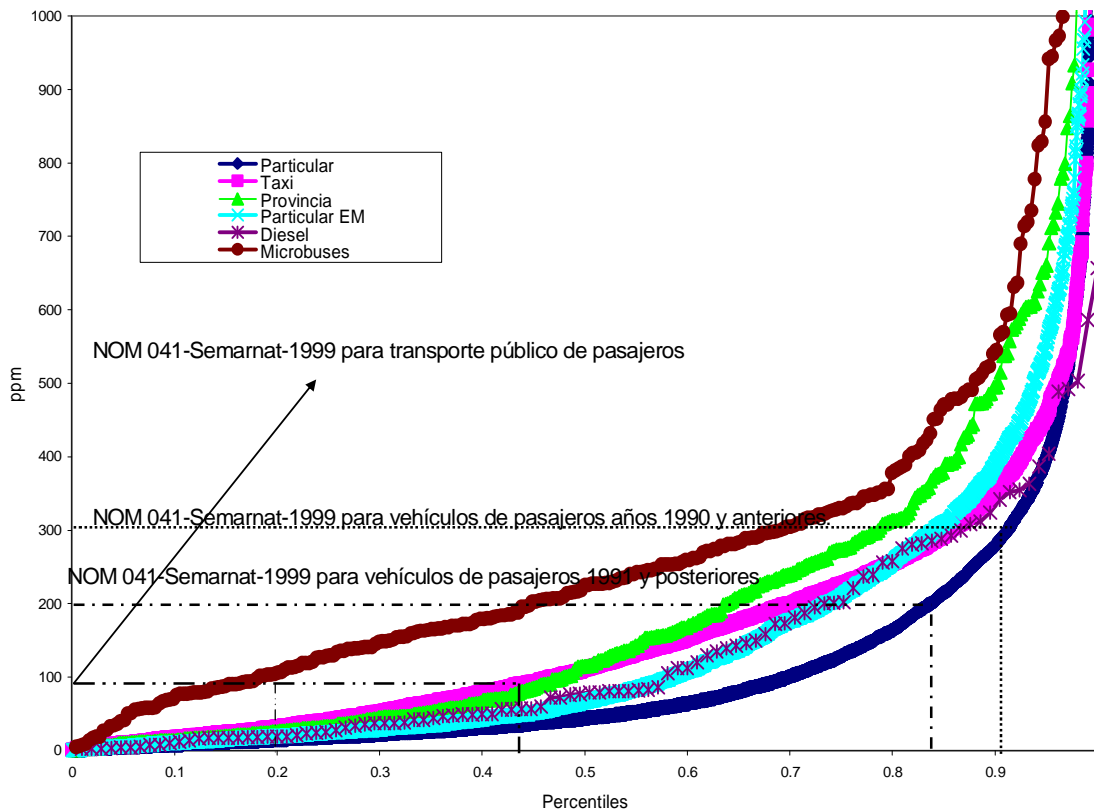


Fig. 10. Emisiones de Hidrocarburos, ordenados en orden creciente, para diferentes tipos de transportes circulando en las calles de la ciudad de México<sup>2</sup>. Es evidente la necesidad de reducir las emisiones de los microbuses.

## Recomendación

Para justificar el Hoy No Circula sabatino se muestran datos de crecimiento del flujo vehicular año tras año, que deberían compararse con los consumos de gasolina, ya que a mayor flujo anual mayor consumo de gasolina. Se nos dice que hay saturación en las vialidades, pero la saturación disminuye los flujos lo que no aparece en las cifras mostradas siempre crecientes. A todos nos consta en cada embotellamiento, que la saturación reduce a casi cero el flujo automotriz y que esto aumenta la contaminación, sin embargo no parece razonable que los problemas de flujo se resuelvan con un transporte público tan poco regulado en cuanto a sus emisiones contaminantes, en un día que no es particularmente problemático en comparación con los otros cinco hábiles. Cabe recordar, que hasta antes de las calcomanías "cero" y "doble cero" el HNC fue un fuerte incentivo para la compra de vehículos viejos y contaminantes, pero más baratos. Las calcomanías cero y doble cero de hecho derogan el Hoy no circula, evitando que las autoridades tengan que reconocer el error de su implantación. El HNC debe usarse solamente en contingencias ambientales.

No debió implementarse los sábados para holograma 2, las reducciones son despreciables, no vale la pena molestar a la ciudadanía para tan pobres resultados. Su cancelación mostraría un gobierno sensible a los efectos de sus decisiones. Siento dar malas noticias, pero es necesario aprender del pasado, para no repetir los mismos errores.

La política actual fomenta la compra de coches nuevos en sustitución del “viejito”, desechando la idea de conservar a éste como el segundo coche o comodín. Esto es conveniente para todos, inclusive para los que no tenemos un coche nuevo pues, en definitiva, ¡todos respiramos el mismo aire!

Sería deseable establecer como condición única que los niveles de emisión estén por debajo de ciertos límites para optar por la calcomanía “cero” o “doble cero”, se pide además que sean coches con convertidor catalítico y que sean del año de 1998 o más reciente. Esto tiene dos inconvenientes: primero, que aunque alguien logre que su coche emita con valores inferiores a los límites establecidos para la calcomanía “cero” no la pueda obtener. Segundo, se sabe que existen coches anteriores a 1998 que tienen ya convertidor catalítico y que por sus niveles de emisión pueden pasar la prueba sin problemas, pero que no se les da la calcomanía por el solo hecho de ser modelos anteriores a 1998.

En detalle, el primer punto influye en que desalienta a probar otros dispositivos o a la conversión del sistema a poner un convertidor catalítico. Esto desalienta a que se realicen proyectos en los centros de investigación para desarrollar nuevos dispositivos o catalizadores alternativos.

En septiembre 2008 entra en vigor la restricción a la circulación de lunes a viernes de las 5 de la mañana a las 11 del día de vehículos con placas de otras entidades y del extranjero que no porten holograma “0” o “00”. Estiman en 19 914 las ton/año reducidas en CO, o sea el 1% de las toneladas emitidas. No vale la pena molestar al turismo para una reducción tan pequeña. Calculan suponiendo que todos los coches de provincia (4% del total) tienen holograma 2, pero no parece probable que todos sean coches viejos. Esto reduce aún más las emisiones calculadas.

Pero lo que realmente parece inconcebible es que a los coches de provincia se les niegue el derecho de visitar su capital. Tienen que pedir un permiso especial para poder circular. Esta restricción contribuye a la fama de prepotencia que se nos asocia a los habitantes del Distrito Federal en

provincia. Lo que se puede pedir es que pasen una verificación, para poder circular con las mismas condiciones que el resto de los habitantes del Distrito Federal.

Es de esperar que estas líneas sirvan para corregir una falla administrativa que causa un malestar innecesario en la población y que, por otro lado, tampoco les reditúa un beneficio. En principio, acaso las autoridades no están a nuestro servicio.

Los puntos analizados en esta nota son particularmente importantes ahora que las ciudades de Guadalajara y Monterrey presentan problemas de contaminación atmosférica. ¡Se debe evitar cometer los mismos errores que se han cometido en el Distrito Federal!

### **Referencias.**

- 1.- Lucas W, Davis, en [www-personal.umich.edu/~lwdavis/df.pdf](http://www-personal.umich.edu/~lwdavis/df.pdf)
- 2.-S. Zirath, HG Riveros, JA Mejia y RL Ortiz, Campañas de monitoreo ambiental a distancia de vehículos, en [www.sma.df.gob.mx](http://www.sma.df.gob.mx)

