

## EFECTIVIDAD DE LAS BARREDORAS DE CALLES PARA REMOVER CONTAMINANTES DE LAS VÍAS

### RESUMEN

El barrido de calles es uno de los métodos utilizados para reducir la contaminación en las vías. Este artículo investiga el desempeño de los vehículos barredores en la remoción de contaminantes. Se discute sobre la efectividad de los tipos de barredoras comúnmente utilizados y sobre las necesidades de investigación en este campo. Adicionalmente, se presentan las características y los problemas generados por la contaminación en calles y carreteras. Se concluye que las barredoras "secas" asistidas por vacío son las más efectivas, pero falta una gran cantidad de investigación para entender y mejorar el desempeño de las barredoras. Además, tal como se efectúa actualmente, el servicio de barrido de calles motorizado no parece ser un método efectivo para remover contaminantes.

**PALABRAS CLAVES:** Polución en carretera, barredoras, efectividad.

### ABSTRACT

*Street sweeping is one of the methods used for reducing road pollution. This article investigates the performance of street sweepers in pollution removal. The effectiveness of the types of sweepers commonly used and the research required in this field are discussed. In addition, the characteristics and problems caused by roadway pollution are presented. It is concluded that the vacuum-assisted dry sweepers are the most effective machines, but there is a need for a huge amount of research so as to understand and improve the performance of street sweepers. Furthermore, as it is carried out nowadays, the motorised street sweeping service does not appear to be an effective method to remove contaminants.*

**KEYWORDS:** Road pollution, street sweepers, effectiveness.

### 1. INTRODUCCIÓN

En las calles y carreteras se produce una cantidad significativa de contaminación. Los vehículos y peatones dejan basuras y partículas contaminadas, las cuales, como es conocido, constituyen un problema ambiental y de salud. Debido a esto, el problema de la contaminación en carretera ha sido enfrentado de varias formas. Por ejemplo, se han adoptado programas de barrido de calles y restricciones en el flujo vehicular o con respecto al tipo de combustible utilizado. Sin embargo, debido a políticas gubernamentales (por ejemplo, por motivos económicos), las medidas que se han tomado han sido muy poco efectivas y el planeta continúa sufriendo de polución en las carreteras.

Contaminantes peligrosos (tales como metales pesados) producidos por los vehículos, o por otras actividades relacionadas con las vías, son dispersados en el aire, constituyendo un riesgo para la salud de los seres vivos. Adicionalmente, los contaminantes caen al pavimento y, cuando llueve, tienden a irse por las alcantarillas como sólidos en suspensión. Entonces, a los ríos, lagos y océanos llegan estos contaminantes, produciendo también

efectos nocivos sobre la vida de los animales y de las plantas, así como de las personas o animales que los consumen. Por lo tanto, la polución en carretera es un problema importante para las comunidades urbanas, los ecosistemas acuáticos y, en general, para todos los seres vivos.

Actualmente se está realizando una investigación en la Universidad de Surrey, Reino Unido, en la cual se busca mejorar el desempeño de los vehículos barredores. En particular, se están investigando las características de operación de los cepillos laterales de estas máquinas. Entonces, es necesario conocer el desempeño actual de las barredoras y, particularmente, su efectividad en la remoción de los contaminantes, ya que estos vehículos constituyen uno de los medios utilizados para reducir la contaminación en las vías. Es por esto importante saber si este mecanismo es efectivo en la reducción de la polución. Por lo tanto, este artículo investiga y analiza la información disponible sobre la efectividad de las barredoras. En esta investigación se tienen en cuenta los diversos tipos de barredoras, su evolución y las diferencias entre las pruebas experimentales que se han llevado a cabo. Se anticipa que la efectividad de barrido

### LIBARDO VANEGAS USECHE

Ingeniero Mecánico, M.Sc.  
Profesor Asociado  
Facultad de Ingeniería Mecánica  
Universidad Tecnológica de  
Pereira  
Estudiante de Doctorado  
Escuela de Ingeniería  
Universidad de Surrey  
lvanegas@utp.edu.co

### MAGD ABDEL WAHAB

B.Sc. in Civil Engineering, Ph.D.  
Senior Lecturer in Mechanics of  
Materials and Structural Bonding  
School of Engineering  
University of Surrey  
m.wahab@surrey.ac.uk

**Número de proyecto CIE: 8-393**

con respecto a la remoción de contaminantes ha mejorado drásticamente en los últimos años.

El artículo está organizado de la siguiente manera. La Sección 2 describe las características de la polución en las vías y los problemas que ésta causa. Luego, se presenta una revisión de la investigación sobre barredoras y contaminación en las vías. En la Sección 4 se discute sobre la efectividad de las barredoras para remover contaminantes. La Sección 5 sugiere algunas alternativas de investigación. Finalmente, la Sección 6 concluye el artículo. Ya que un trabajo anterior en esta revista describe los tipos de barredoras comúnmente utilizados, éstas no se describen aquí; el lector puede consultar a Vanegas y Parker [1].

## 2. POLUCIÓN EN CARRETERA

Varios estudios han indicado que los contaminantes tienden a estar adheridos a partículas de unos 60  $\mu\text{m}$  de diámetro, las cuales, por lo tanto, pueden afectar la salud de los seres vivos y el medio ambiente. Por ejemplo, en un estudio [2] se muestra que las concentraciones de metales pesados en los desechos de barrido y en los sedimentos de las vías son proporcionales al inverso del diámetro de la partícula; entonces, entre más fina sea la partícula, más alta es la concentración. Consecuentemente, las partículas más pequeñas son precisamente las más importantes de remover desde el punto de vista ambiental. Además, el viento y los automóviles tienden a dispersarlas y pulverizarlas, convirtiéndoles en partículas de menos de 10  $\mu\text{m}$  de diámetro, llamadas  $\text{PM}_{10}$ , las cuales constituyen un gran peligro para la salud humana, particularmente la de ciertos grupos como niños pequeños, mujeres embarazadas, ancianos y personas con enfermedades cardíacas o pulmonares.

La contaminación es realmente un problema grave para la salud humana, ya que se asocia con enfermedades y muertes. Un informe del Comité de Calidad del Aire, del Reino Unido, estimó que algunos contaminantes (dióxido de sulfuro, ozono y dióxido de nitrógeno) y pequeñas partículas de polvo son la causa de entre 12.000 y 24.000 muertes prematuras de personas y entre 14.000 y 24.000 ingresos al hospital cada año [3]. Algunos problemas de salud que han sido asociados con la polución son el asma, el cáncer, las alergias y la susceptibilidad a las infecciones. Un ejemplo muy conocido del impacto de la polución del aire es el incremento de ataques de asma [4]. Adicionalmente, algunos investigadores han sugerido que algunas muertes de cuna podrían estar vinculadas con la exposición de los bebés a contaminantes  $\text{PM}_{10}$  (aunque otros expertos dicen que podría ser mucho mayor la proporción de muertes debido a que los padres son fumadores o por causa de la posición para dormir) [5].

La polución y los sedimentos de las vías tienen otros efectos adversos sobre la vida. Algunos contaminantes

se adhieren a los sedimentos, y luego son transportados por el viento y el agua. Ellos degradan la calidad del agua y perjudican la vida acuática ya que dificultan la fotosíntesis, la respiración, el crecimiento y la reproducción. Además, partículas de tierra que se encuentran en las vías son transportadas a lagos, ríos, etc., adhiriéndose a seres vivientes tales como plantas acuáticas, peces y otros organismos, formando sedimentos que dificultan la respiración, o reduciendo el ingreso de luz solar a los sistemas acuáticos. El transporte de estas partículas de tierra se incrementa, por ejemplo, con la construcción de puentes y carreteras. Por otro lado, las emisiones de los vehículos tienen un impacto global sobre el medio ambiente, ya que éstas contienen gases invernadero tales como dióxido de carbono (el principal gas de efecto invernadero), óxido de nitrógeno y ozono. Estos gases se suman al efecto invernadero natural y producen calentamiento global de la tierra.

En vista de estos efectos de la polución, es interesante cuantificar la cantidad relativa que se produce en las vías. A pesar de que son pocas, hay algunas estadísticas en la literatura. En la mayoría de las áreas urbanas, la emisión de partículas a la atmósfera es debida principalmente a las calles pavimentadas y sin pavimentar, especialmente las de baja velocidad como las de las áreas residenciales [6]. Por ejemplo, en el año 2001 en el Estado de California, el 17% y 27% del total de emisión de polvo  $\text{PM}_{10}$  fueron debidos a las carreteras pavimentadas y sin pavimentar respectivamente [6]. De acuerdo a otro informe, las contribuciones del transporte en carretera a la polución del aire en el Reino Unido para algunos contaminantes comunes son: casi 80% de monóxido de carbono (CO), 50% de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), 40% de hidrocarburos (HCs) y más de 70% de benceno [4]. En realidad, la cantidad de contaminación atmosférica producida en las vías depende del clima y, en particular, de la lluvia, la cual tiende a reducir las emisiones de polvo. Por ejemplo, un estudio [6] sugiere que, en carreteras sin pavimentar, la cantidad de emisiones se incrementa de una manera más o menos proporcional al número de días después de la última lluvia. Estas cifras indican que la contaminación producida en las vías es de verdad un problema importante, el cual debe resolverse efectivamente. En consecuencia, el barrido de calles debe tener un papel benéfico en este aspecto.

## 3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En esta sección se revisan algunas investigaciones sobre la efectividad de las barredoras en la remoción de la contaminación de las vías. Se describen y discuten brevemente las características, la metodología y los resultados de dichas investigaciones. Análisis adicionales se presentan en la Sección 4, la cual se enfoca en la efectividad de barrido en vez de en los trabajos de investigación, y en la Sección 5.

Algunas investigaciones han sugerido que el barrido de calles es un método inefectivo en la remoción de contaminantes. Fitz [7] evaluó la efectividad de una barredora de aire regenerativa TYMCO modelo 600 para controlar las emisiones de  $PM_{10}$ , mediante mediciones en la dirección del viento y en contra, y determinando las cargas de sedimentos antes y después de barrer. Se evaluaron tres tipos de vías, una principal, una de conexión y una local, durante tres estaciones, otoño, primavera y verano. Teniendo en cuenta que en esta investigación se estimó que la incertidumbre de los resultados era alta, éstos indicaron que las concentraciones de  $PM_{10}$  fueron *mayores* después de barrer. La razón de esto podría ser que las partículas más finas (las más contaminadas) son las que las barredoras dejan en las calles. Adicionalmente, la acción de los cepillos laterales puede exponer o pulverizar las partículas pequeñas y, por lo tanto, éstas quedan más propensas a ser dispersadas en el aire. Similarmente, Kuhns *et al* [6] efectuaron experimentos para medir el potencial de emisión de polvo  $PM_{10}$  en carreteras pavimentadas y destapadas; las pruebas se efectuaron en invierno y en verano. De acuerdo a los resultados, el barrido de calles con barredoras mecánicas y asistidas por vacío puede producir un incremento en el potencial de emisiones de polvo. También se encontró que las emisiones eran mayores en verano que en época lluviosa, y que el potencial de emisiones se incrementa de una manera casi proporcional al número de días después de la última lluvia.

Por otro lado, también se ha demostrado o asegurado que la práctica del barrido de calles tiene efectos positivos sobre la contaminación. Sutherland [8] evaluó la efectividad de las barredoras mecánicas, de las regenerativas y de las “secas” asistidas por vacío en la remoción de Pb de sedimentos en las vías. El máximo porcentaje de remoción de Pb se estimó en 62%, bajo condiciones ideales, es decir, cuando no hay automóviles parqueados o abandonados en la calle. Se indica que las efectividades de remoción observadas son más bajas para partículas pequeñas que para grandes. Esta característica de las barredoras de calles es bien conocida. De manera similar, Tobin y Brinkmann [9] reportan un experimento para determinar la efectividad de las barredoras de calles con cepillos rotativos y de una barredora de aire regenerativa, para remover sedimentos, metales pesados y elementos orgánicos en vías de asfalto con arena. Las barredoras con cepillos rotativos fueron más efectivas en remover los sedimentos, la materia orgánica y la mayoría de los contaminantes (por ejemplo, aluminio, cadmio, cobre, plomo, fósforo y nitrógeno de amonio). Entonces, contrario a la creencia general, las barredoras de aire regenerativas fueron menos efectivas en remover contaminantes, aunque fueron más efectivas en remover sedimentos finos y algunos contaminantes en algunas pruebas. Esto pudo deberse a que los materiales que tenían que recogerse eran más gruesos que los de otros estudios en los que dichas barredoras fueron superiores

[9]. Como se discutirá en la Sección 4, otros (por ejemplo [6, 10-13]) han indicado que el barrido de calles puede reducir la contaminación en las vías. Finalmente, algunas ciudades (por ejemplo San Diego, Dana Point y El Cajon, en Estados Unidos) con programas de barrido de calles anuncian que éste es un método efectivo para remover partículas contaminadas, principalmente, cuando se usan barredoras secas asistidas por vacío.

Hay varias explicaciones para estas contradicciones. Primero, debido a los grandes avances durante los últimos años en cuanto a la capacidad de las barredoras de remover partículas pequeñas de las vías, algunas de las conclusiones obtenidas hace unos pocos años no son válidas para algunas de las barredoras de última tecnología. Segundo, el desempeño de las barredoras depende del tipo (mecánicas, asistidas por vacío, regenerativas y secas) y del diseño específico, es decir, depende del fabricante y del modelo. Es importante anotar que algunos trabajos no especifican qué barredora en particular se usó (sólo el tipo). También, los estudios midieron la efectividad de diversas maneras y tenían diferentes niveles de incertidumbre. Se estimó, por ejemplo, la concentración del potencial de emisiones de  $PM_{10}$ , la remoción de contaminantes específicos o la cantidad de sedimentos removidos. Finalmente, las vías, las basuras y las condiciones ambientales varían de estudio a estudio. Con respecto a esto, se nota una falta de análisis de los factores que afectan la efectividad de las barredoras. Debido a todo esto, es razonable esperar grandes diferencias en las pruebas sobre el desempeño de los vehículos barredores, y es difícil comparar unos estudios con otros.

#### 4. EFECTIVIDAD DE LAS BARREDORAS DE CALLES

A pesar de que el barrido de calles ha sido exitoso en la remoción de basuras y en dejar las calles aparentemente limpias, no ha sido muy efectivo en la reducción de la contaminación. Se ha dicho que la efectividad del barrido de calles para partículas más grandes de 2 mm es cercana a 80%, aunque muy pocos estudios se han hecho en este sentido [12]. Por otro lado, la efectividad para remover partículas micrométricas ha sido muy pequeña (como se discute más adelante). En parte, el barrido de vías no ha sido efectivo en el control de la polución debido a la creencia de que si una vía *se veía* limpia, *estaba* limpia [14]. Sin embargo, esta idea ha cambiado ya que ha sido demostrado que a pesar de que el pavimento se vea limpio (ya sea antes o después de barrerlo), puede contener contaminantes en forma de partículas micrométricas. Por este motivo, y basados en estándares ambientales y políticas gubernamentales, los fabricantes de las barredoras han desarrollado máquinas diseñadas no sólo para remover la basura visible, sino también las pequeñas partículas contaminadas.

Estudios y programas de monitoreo llevados a cabo en el pasado indicaron que el barrido de calles no era un método efectivo para remover partículas pequeñas. El desempeño del barrido en el control de la contaminación en carretera fue evaluado por primera vez a finales de los años cincuenta y a principios de los sesenta por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA). En su programa nacional de contaminación de aguas en el sector urbano (NURP), se efectuaron varios estudios para medir la efectividad de las barredoras en el control de la contaminación de las aguas que caen a la alcantarilla. Desde finales de los setenta, los estudios se enfocaron en medir la efectividad en términos de la reducción de la contaminación de dichas aguas, en vez de en términos de barredoras específicas. La conclusión global del informe NURP de 1983 fue que el barrido de vías no parecía ser un método efectivo en la reducción de la carga de contaminantes en el agua. [12]

Sólo hasta muy recientemente, el barrido de calles ha sido reconocido como un procedimiento efectivo para remover partículas microscópicas. Aunque es muy limitada, existe información experimental cuantitativa que indica que las barredoras tienen una efectividad significativa para remover partículas y contaminación. De acuerdo a algunos estudios llevados a cabo a finales de los noventa (por ejemplo [10, 12]), cuando el equipo y los programas de barrido de calles se diseñan para remover partículas microscópicas de las vías, éstos pueden reducir la contaminación del agua. Esto es prácticamente cierto sólo para algunas barredoras que han sido desarrolladas recientemente, las cuales son mucho más efectivas que otras barredoras en la remoción de partículas finas. Sin embargo, la efectividad de los diferentes mecanismos de barrido podría volverse insignificante cuando se consideran los factores geográficos y ambientales, las condiciones físicas de las vías, el tipo de basura y las frecuencias de barrido, debido a que estos factores afectan la deposición, acumulación y las tasas de remoción de las partículas contaminadas de las vías [12]. Entonces, la efectividad real de barrido podría ser insignificante cuando los otros factores no se controlan cuidadosamente. A continuación se presentan algunos informes sobre los diferentes tipos de barredoras.

Sobre las barredoras mecánicas de cepillo y las asistidas por vacío hay resultados contradictorios. Algunas investigaciones indican que ambos tipos de barredoras podrían reducir la cantidad de partículas contaminadas, pero que aquellas no son muy efectivas en la recolección de éstas. Para partículas menores de  $44\ \mu\text{m}$ , la efectividad oscila entre 3% y 15% [6]. Similarmente, otros estudios han demostrado que las barredoras mecánicas de cepillo y las 'húmedas' asistidas por vacío reducen la contaminación difusa entre 5% y 30% y nutrientes entre 0 y 15% [13]. En contraste con estas investigaciones, un estudio [6] sugiere que el potencial de emisión se *incrementa* hasta en un 40% (16% en

promedio) después de barrer con una barredora asistida por vacío. Se sugiere que esto puede ser debido a que la basura de la cuneta es barrida por el cepillo hasta la calle, o a que partículas atrapadas en las grietas del pavimento son redistribuidas en la superficie de la vía. Luego, estas partículas podrían ser dispersadas en el aire por los vehículos. De estos estudios, se concluye que la efectividad de las barredoras mecánicas de cepillo y de las asistidas por vacío para remover la polución en carretera es mínima.

Al parecer, las barredoras de aire regenerativas tienen más capacidad para reducir polución. Se ha estimado que éstas tienen efectividades de 32% para partículas menores de  $63\ \mu\text{m}$  y 100% para partículas entre  $600\ \mu\text{m}$  y  $2000\ \mu\text{m}$ . Sin embargo, estas barredoras, así como las mecánicas, necesitan un espesor de basura determinado para volverse efectivas; si este valor mínimo no es alcanzado, la efectividad puede reducirse a cero. Es interesante anotar que las barredoras mecánicas requieren un espesor de basura hasta tres veces mayor que las regenerativas. [12]

Según algunos estudios, las barredoras secas asistidas por vacío son más efectivas en la remoción de contaminantes. Se ha indicado que éstas tienen efectividades del 70% para partículas menores de  $63\ \mu\text{m}$  y entre 77% y 96% para tamaños entre  $125\ \mu\text{m}$  y mayores de  $6370\ \mu\text{m}$  [12]. Adicionalmente, estudios independientes realizados en Washington y Oregón mostraron que la "Enviro Whirl" (barredora seca asistida por vacío) fue capaz de remover el 99.6% de las partículas mayores de  $10\ \mu\text{m}$  [11]. Adicionalmente, otros estudios sugieren que las barredoras secas asistidas por vacío de última tecnología tienen la capacidad de reducir contaminación difusa entre 35% y 80% y contenido de nutrientes entre 15% y 40% [13]. Se estima que las nuevas barredoras secas pueden reducir globalmente los sedimentos de las calles residenciales (dependiendo de la frecuencia de barrido) entre 50% y 88% (Bannerman 1999, citado en [13]). Finalmente, es conveniente mencionar que la Enviro Whirl tiene la capacidad de remover partículas hasta de  $2,5\ \mu\text{m}$  [11]. De todas estas cifras, se concluye que las barredoras secas asistidas por vacío más modernas pueden reducir significativamente la contaminación de las vías y que son las únicas máquinas que deberían usarse para este propósito.

A pesar de los últimos desarrollos en los equipos de barrido de calles, no parece haber un consenso en si el barrido es un método efectivo para recoger partículas microscópicas, y se está dando un debate sobre si esta habilidad puede mejorar la efectividad general en la remoción de contaminantes [13]. Por ejemplo, la US-EPA asegura que las barredoras de calles remueven las partículas de polvo más pequeñas de una manera efectiva, produciendo beneficios significativos en la calidad del agua [11]. De manera similar, como se

mencionó previamente, algunas ciudades anuncian que el barrido de calles es un método efectivo en la remoción de la polución. Por otro lado, un informe [12] especifica que la efectividad del barrido de calles en el control de la contaminación del agua es limitada, y que el incremento de la frecuencia de barrido no parece ser de ayuda en dicho control. Adicionalmente, tal como el barrido de calles se lleva a cabo, no puede esperarse que reduzca los sólidos en suspensión, las trazas de metales y el contenido de nutrientes en el agua que se va por la alcantarilla [12]. A pesar de esto, si un programa de barrido de vías tiene la intención de reducir la contaminación, sólo se deberían usar las barredoras modernas diseñadas con este propósito, aunque esto no garantiza que esta práctica reduzca la contaminación. Incluso, podría reducirla, pero podría ser que la relación entre los beneficios y los costos no sea adecuada.

## 5. POSIBILIDADES DE INVESTIGACIÓN

A pesar de la importancia de reducir la contaminación producida en las vías, es muy poca la información disponible sobre la efectividad de los vehículos barredores. Los pocos ensayos efectuados se enfocan en medir el desempeño global de los vehículos, y se nota una carencia de análisis del desempeño de los mecanismos de barrido. En realidad, no parece haber ninguna investigación que mida la efectividad de los sistemas de vacío, de los cepillos laterales, de los cepillos horizontales, etc., para remover contaminación. En consecuencia, no se tiene información sobre los efectos que tienen los parámetros de operación de los mecanismos de barrido sobre la remoción de los contaminantes de las vías. Por ejemplo, los diferentes tipos de máquinas barredoras típicamente poseen cepillos laterales, pero no hay información sobre el efecto que los parámetros de operación de estos cepillos (tales como velocidad de rotación y geometría, material y configuración de las cerdas) tienen sobre la cantidad de contaminantes que es removida de las vías.

En vista de esto, algunas direcciones de investigación se hacen aparentes. Es necesario investigar ampliamente los factores y fenómenos que afectan el proceso de recolección de los contaminantes de las vías e investigar sobre la efectividad y la eficiencia de barrido. Se debe efectuar un estudio completo sobre los factores que afectan el barrido, tales como tipo de basura, tipo y condiciones de la vía, tipo de barredora, parámetros de operación y factores ambientales. También es necesario estudiar las maneras en que todos los factores afectan la efectividad de las barredoras. Igualmente, se requiere investigar los efectos que tienen los factores del proceso de barrido sobre la eficiencia, es decir, sobre la cantidad de tiempo, energía y dinero que se gastan en el proceso. Esto es importante ya que el consumo de combustible, las emisiones del vehículo, el desgaste y la vida del equipo, el consumo de agua (si se requiere) y los costos relacionados con éstos, dependen de la eficiencia.

El paso siguiente al estudio de las características de los mecanismos de barrido es el mejoramiento de éstos, aumentando la efectividad o la eficiencia. Como se deduce de las discusiones previas, es necesario mejorar la capacidad de las barredoras para remover partículas micrométricas (y, por lo tanto, contaminación), ya que existe un consenso en que las barredoras son menos efectivas en la recolección de partículas finas [8]. Entonces, se deben estudiar formas en las cuales los mecanismos de barrido existentes puedan ser mejorados o, alternativamente, estudiar nuevas formas de barrer. Por otro lado, ya que no parece haber investigaciones sobre la cantidad de energía que se consume durante el barrido, se requiere cuantificar el consumo “innecesario” de energía de los diversos mecanismos de barrido, y optimizar el proceso de tal forma que se minimicen la energía y los recursos utilizados en barrer las calles.

## 6. CONCLUSIONES

La contaminación en las vías es causa de problemas ambientales y de salud, pero la práctica de barrer calles con vehículos barredores no ha sido suficientemente efectiva en este aspecto. Los vehículos y peatones dejan basuras contaminadas en las calles, las cuales tienden a dispersarse en el aire, produciendo efectos adversos sobre la vida humana, y a ser arrastrados por las aguas lluvia hasta los lagos, ríos y océanos, afectando la vida acuática. Como los contaminantes tienden a estar adheridos a partículas de tamaño microscópico, las barredoras de calles deberían ser muy efectivas en remover estas partículas. A pesar de las contradicciones y de los resultados inconclusos en la literatura, puede concluirse que la mayoría de las barredoras usadas hoy en día, exceptuando las barredoras secas asistidas por vacío, no son efectivas en remover las partículas contaminadas. Se ha indicado que las barredoras secas son significativamente efectivas en la remoción de partículas finas, y éstas son las máquinas que deberían usarse para recoger contaminantes de las vías. Sin embargo, también se asegura que estas barredoras podrían ser inefectivas en la práctica si no existen las condiciones adecuadas o no se controlan cuidadosamente otros factores.

Se encontró que la cantidad de investigación y el conocimiento sobre la efectividad de las barredoras de calles son muy limitados. Adicionalmente, no parece haber información sobre la efectividad de los mecanismos de barrido, en particular, de los cepillos laterales. Entonces, se requiere mucha investigación para lograr que la actividad del barrido de calles se ejecute eficazmente, es decir, creando un impacto positivo sobre la polución en carretera, y gastando menos tiempo, energía y otros recursos y, a la vez, minimizando el impacto ambiental. Particularmente, es necesario estudiar y mejorar los mecanismos de barrido en lo que tiene que ver con los factores que afectan la remoción de contaminantes.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Para efectuar este trabajo se contó con el apoyo del Programa Alban, Programa de becas de alto nivel de la Unión Europea para América Latina, n° de identificación (E03D04976CO). Los autores agradecen también el apoyo de la Universidad Tecnológica de Pereira y de la Universidad de Surrey (Reino Unido).

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1] VANEGAS, L.V. y PARKER, G.A. Barrido de Calles y Vehículos Barredores, *Scientia et Technica*, 26, 85-90, 2004.
- [2] GERMAN, J. y SVENSSON, G. Metal Content and Particle Size Distribution of Street Sediments and Street Sweeping Waste, *Water Science and Technology*, 46, 191-198, 2002.
- [3] THE UK PARLIAMENT. Appendix 2, Memorandum by the Department of the Environment, Transport and the Regions, Relationship between Health and Social Services, <http://www.publications.parliament.uk/pa/cm199899/cmselect/cmhealth/074/74ap42.htm>, 1999 (consultada: 13 oct 2004).
- [4] FOE. Road Transport, Air Pollution and Health, [http://www.foe.co.uk/resource/briefings/road\\_air\\_pollution\\_health.pdf](http://www.foe.co.uk/resource/briefings/road_air_pollution_health.pdf), 1999 (consultada: 12 oct 2004).
- [5] BBC. Pollutants Linked to Cot Death, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/health/3722087.stm>, 2004 (consultada: 16 sep 2004).
- [6] KUHNS, H., ETYEMEZIAN, V., GREEN, M., HENDRICKSON, K., MCGOWN, M., BARTON, K. y PITCHFORD, M. Vehicle-Based Road Dust Emission Measurement - Part II: Effect of Precipitation, Wintertime Road Sanding, and Street Sweepers on Inferred PM<sub>10</sub> Emission Potentials from Paved and Unpaved Roads, *Atmospheric Environment*, 37 (32), 4573-4582, 2003.
- [7] FITZ, D.R. Evaluation of Street Sweeping as a PM<sub>10</sub> Control Method - Final Report, <http://www.cert.ucr.edu/research/pubs/98-ap-rt4h-005-fr.pdf>, 1998 (consultada: 11 oct 2004).
- [8] SUTHERLAND, R.A. Lead in Grain Size Fractions of Road-Deposited Sediment, *Environmental Pollution*, 121 (2), 229-237, 2003.
- [9] TOBIN, G.A. y BRINKMANN, R. The Effectiveness of Street Sweepers in Removing Pollutants from Road Surfaces in Florida, *Journal of Environmental Science and Health, Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering*, 37 (9), 1687-1700, 2002.
- [10] SUTHERLAND, R.C. y JELEN, S.L. Contrary to Conventional Wisdom, Street Sweeping can be an Effective BMP, *Advances in Modeling the Management of Stormwater Impacts*, 5, 179-190, 1997.
- [11] EPA. Storm Water - Management Fact Sheet - Dust Control, <http://www.epa.gov/owm/mtb/dustctr.pdf>, 1999 (consultada: 14 oct 2004).
- [12] WALKER, T.A. y WONG, T.H.F. Effectiveness of Street Sweeping for Stormwater Pollution Control - Technical Report <http://www.catchment.crc.org.au/pdfs/technical199908.pdf>, 1999 (consultada: 14 oct 2004).
- [13] SMRC. Pollution Prevention Fact Sheet: Parking Lot and Street Cleaning, [http://www.stormwatercenter.net/Pollution\\_Prevention\\_Factsheets/ParkingLotandStreetCleaning.htm](http://www.stormwatercenter.net/Pollution_Prevention_Factsheets/ParkingLotandStreetCleaning.htm), 2004 (consultada: 12 oct 2004).
- [14] KIDWELL-ROSS, R. (ed.) An Overview of Sweeping Equipment Technology, <http://www.americansweeper.com/topics/overviewofsweepers.html>, 2003 (consultada: 2 Sep 2004).