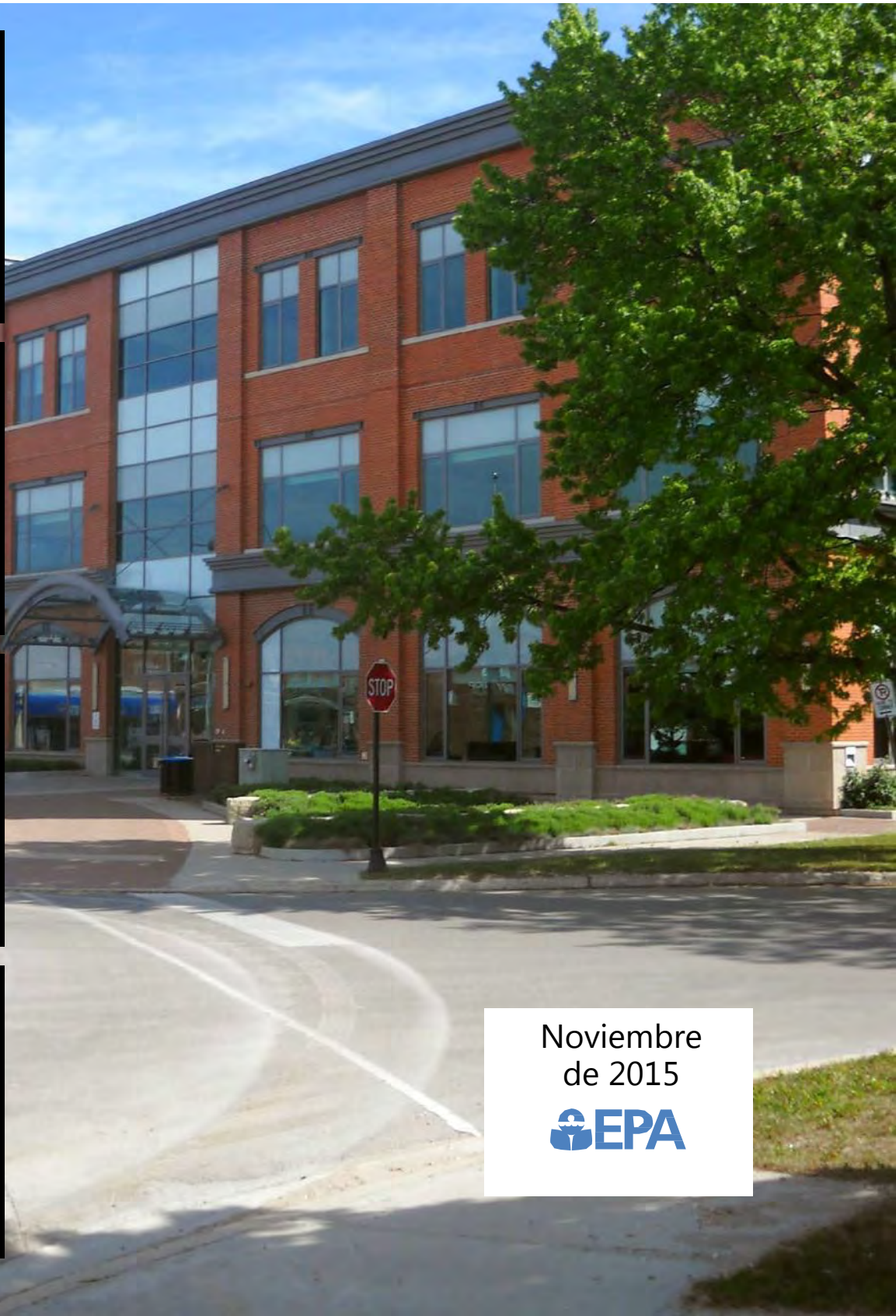
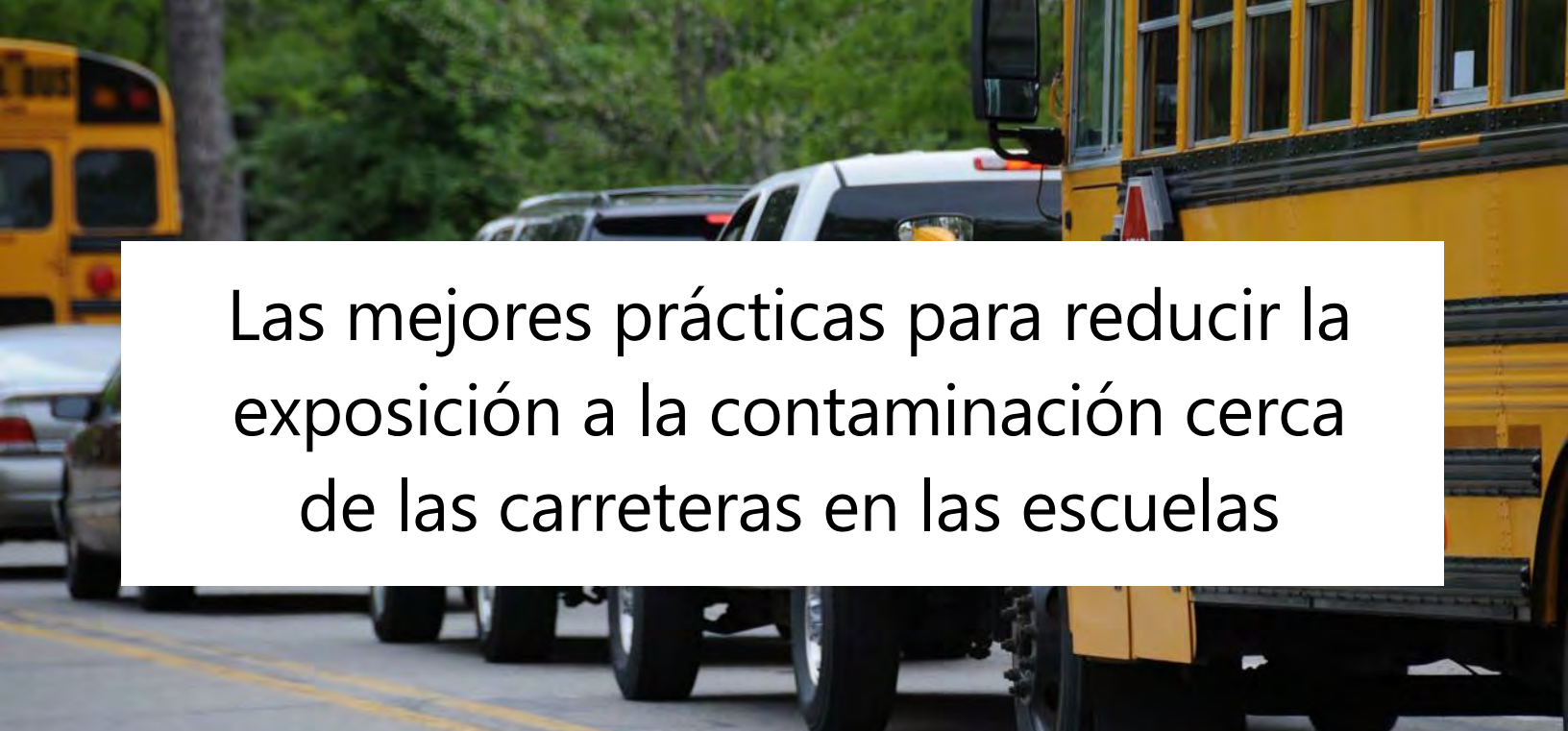


Las mejores prácticas para reducir la exposición a la contaminación cerca de las carreteras en las escuelas



Noviembre
de 2015





Las mejores prácticas para reducir la exposición a la contaminación cerca de las carreteras en las escuelas



Agencia de Protección Ambiental
de los Estados Unidos

La EPA desea mencionar a las siguientes organizaciones que ofrecieron comentarios sobre un borrador previo a este documento.

Distrito de Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur
Asociación de Escuelas Ecológicas, Limpias y Saludables del Sur de California

Contenido

- Introducción1**
- Reducción de la exposición a la contaminación en las escuelas cerca de las carreteras.....2**
- Contaminación del aire cerca de las carreteras y la salud infantil2
- ¿Cómo se puede reducir la contaminación en las escuelas cerca de las carreteras?.....3
- Diseño de construcción y estrategias de funcionamiento para reducir la exposición a la contaminación cerca de las carreteras.....3
 - Ventilación, filtrado y calidad del aire en espacios cerrados en las escuelas.....3
 - Ventilación pasiva o natural4
 - Ventilación mecánica.....4
 - Filtrado.....5
 - Acciones para los ocupantes del edificio7
 - Resumen.....8
- Estrategias relacionadas al sitio para reducir la exposición a la contaminación cerca de las carreteras9
 - Políticas de transporte.....9
 - Establecimiento de políticas de anti-inactividad y de reducción de la inactividad.....9
 - Mejoramiento de las flotas de autobuses.....9
 - Favorecimiento del transporte activo 10
 - Ubicación y diseño del sitio 10
 - Barreras al costado de la ruta 12
 - Paredes de sonido 12
 - Vegetación 13
- Resumen de recomendaciones 14**
- Evaluación del sistema de ventilación y filtrado de las escuelas..... 15**
- Otros recursos16**

Introducción

Objetivo de esta publicación

Esta publicación puede ayudar a las comunidades escolares a identificar estrategias para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico en escuelas que están ubicadas directamente en la dirección del viento que viene desde carreteras muy transitadas (por ejemplo, autopistas), en corredores con mucho tráfico de camiones, o cerca de otro tipo de tránsito, o fuentes de contaminación vehicular. Las escuelas del país ya usan muchas de estas estrategias para reducir la contaminación del aire relacionada con el tráfico. Esperamos que esta compilación de prácticas recomendadas ayude a otras escuelas que quieren adoptar medidas para abordar inquietudes relacionadas con la exposición a la contaminación generada por el tráfico.

Muchas de las mejores prácticas que se describen en esta publicación también pueden ser efectivas para reducir la exposición en las escuelas que están cerca de otras fuentes de contaminación del aire mediante partículas, como terminales de trenes, puertos e instalaciones industriales.

Comuníquese con la [agencia de contaminación del aire local o estatal](#) para obtener ayuda con la evaluación de los impactos, si los hubiera, que la contaminación del aire causada por el tráfico puede tener en su escuela. Las [Pautas de Emplazamiento de Escuelas](#) también incluyen información sobre la evaluación de los impactos de las fuentes cercanas de contaminación del aire. La evaluación del posible impacto de la contaminación del aire relacionada con el tráfico puede realizarse como parte de una evaluación ambiental general de su escuela.

Audiencia Destinataria

Esta publicación se diseñó para administradores escolares, gerentes de instalaciones, personal escolar, enfermeras escolares, centros de salud escolares, padres, alumnos y otros integrantes de la comunidad escolar que estén interesados en la exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico debido a la cercanía de la escuela con una ruta muy transitada o un corredor de camiones, y que quieran entender posibles enfoques para reducir las exposiciones. Otros sectores del público en general que pueden encontrar este recurso aplicable a su trabajo incluyen organizaciones ambientales comunitarias y organizaciones de la salud; profesionales de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (CVAA), arquitectos, ingenieros de diseño y contratistas de la construcción que pueden aplicar los principios de este documento durante el emplazamiento, diseño y construcción de una instalación, y otros organismos federales, estatales, locales y tribales.

Otros recursos de la EPA para las escuelas

El sitio web de la EPA (www.epa.gov/schools) ofrece muchos documentos y herramientas para ayudar a estados, distritos, escuelas, maestros, padres y alumnos a crear o mejorar los entornos de aprendizaje para que sean saludables y productivos. Estos recursos abarcan una amplia variedad de cuestiones que afectan la salud de los niños en las escuelas, desde la elección de lugares adecuados para las escuelas hasta el mantenimiento de los edificios y predios. Algunos de estos recursos pueden abarcar estrategias que se analizan en esta publicación. Usted puede usar estos recursos integrales para evaluar los esfuerzos de salud ambiental de su escuela e implementar o mejorar los programas, las políticas y los procedimientos relacionados. Si tiene preguntas sobre los recursos de la EPA para las escuelas, comuníquese con el [coordinador escolar regional](#).

Reducción de la exposición a la contaminación cerca de carreteras en las escuelas

La exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico está vinculada a una variedad de efectos en la salud a corto y largo plazo, que incluyen asma, disminución de la función pulmonar, dificultad en el desarrollo pulmonar en los niños y consecuencias cardiovasculares en los adultos. La exposición de los niños a la contaminación del aire relacionada con el tráfico mientras están en la escuela es una preocupación cada vez mayor porque muchas escuelas están cerca de carreteras muy transitadas. Este documento presenta en forma breve los riesgos de salud asociados con la exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico y ofrece estrategias para disminuir la exposición de los alumnos en escuelas nuevas y existentes.

Contaminación del aire cerca de carreteras y la salud infantil

Los elementos contaminantes emitidos en forma directa por automóviles, camiones y otros vehículos con motor se encuentran en concentraciones elevadas cerca de las carreteras principales. Algunos ejemplos de elementos contaminantes emitidos en forma directa incluyen material particulado (MP), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y benceno, aunque hay cientos de elementos químicos emitidos por los vehículos motorizados. Los vehículos motorizados también emiten compuestos que provocan la formación de otros elementos contaminantes en la atmósfera, como el dióxido de nitrógeno, que se encuentra en concentraciones elevadas cerca de las carreteras principales, y el ozono, que se forma aún más a favor de la dirección del viento. Más allá de las emisiones de escape de los vehículos y de evaporación, el tráfico de las carreteras también emite suciedad por los frenos y los neumáticos, y puede trasladar esa suciedad de la carretera al aire. Ya sea en forma individual o en combinación, muchos de los elementos contaminantes que están cerca de las carreteras están asociados con efectos adversos para la salud.

Algunos estudios muestran que la concentración de elementos contaminantes en el aire relacionados con el tráfico puede ser elevada dentro de las aulas y que el tráfico es una de las fuentes más importantes de contaminación del aire tanto en ambientes escolares cerrados como abiertos.



Las concentraciones de elementos contaminantes de los vehículos motorizados tienden a ser más elevadas en lugares cercanos a una carretera y, por lo general, los niveles más altos están en los primeros 500 pies (aproximadamente 150 metros) de una carretera y alcanzan niveles de fondo dentro de los 2000 pies (aproximadamente 600 metros) de una carretera, dependiendo del elemento contaminante, la hora del día y el terreno cercano.¹ Muchos estudios científicos han encontrado que las personas que viven, trabajan o asisten a una escuela cerca de carreteras principales parecen tener un mayor riesgo a padecer una variedad de efectos sobre la salud a corto y largo plazo, incluyendo el asma, la disminución de la función pulmonar, dificultad en el desarrollo pulmonar en los niños y consecuencias cardiovasculares en los adultos.

En especial, los niños son susceptibles a los problemas de salud generados por la exposición a la contaminación del aire debido a lo siguiente:

- Sistemas respiratorios que no están desarrollados en forma total. Estudios que muestran que la exposición a la contaminación del aire en la niñez puede generar una disminución en la función pulmonar.²
- Índices más elevados de exposición que los adultos porque son más activos y tienen una frecuencia de respiración más acelerada.

Los niños están mucho tiempo en la escuela y casi 17.000 escuelas de áreas rurales y urbanas en todo EE. UU. están ubicadas dentro de los 250 metros (aproximadamente 820 pies) de una carretera con mucho tráfico.³ La exposición a la contaminación relacionada con el tráfico es una preocupación tanto en los espacios cerrados como en los que están al aire libre—

¹ Karner, A. A., Eisinger, D. S., & Niemeier, D. A. (2010). Near-roadway air quality: Synthesizing the findings from real-world data. *Environmental Science & Technology*, 44(14), 5334-5344. doi:10.1021/es100008x

² Health Effects Institute. (2010). Traffic-related air pollution: A critical review of the literature on emissions, exposure, and health effects. *Special Report 17*. Disponible en <http://pubs.healtheffects.org/view.php?id=334>

³ Kingsley, S. L., Eliot, M. N., Carlson, L., Finn, J., MacIntosh, D. L., & Suh, H. H. (2014). Proximity of US schools to major roadways: A nationwide assessment. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 24, 253-259. doi:10.1038/jes.2014.5. Este estudio define como carreteras importantes a aquellas que tienen una clasificación de A1 (ruta principal con acceso limitado o autopista interestatal) o A2 (ruta principal sin acceso limitado) según el Código de Clase con característica de Censo.



las concentraciones tienden a ser más elevadas en los espacios al aire libre, pero muchos estudios descubrieron que las concentraciones de elementos contaminantes relacionados con el tráfico también pueden ser elevadas dentro de las aulas, donde los niños están la mayor parte de la jornada escolar.^{4,5} Además, los autobuses con motor diésel pueden ser una fuente importante de contaminación cerca de las escuelas.

¿Cómo se puede reducir la contaminación en las escuelas cerca de las carreteras?

Durante las últimas décadas, las tecnologías y reglamentaciones de control de las emisiones han generado una gran disminución en las emisiones por vehículo. Las concentraciones de elementos contaminantes también han disminuido, aunque a un ritmo más lento, debido a que ha habido un crecimiento tanto en la cantidad de vehículos como en las millas recorridas por vehículo. El gobierno y la industria siguen trabajando para reducir la cantidad de elementos contaminantes que emiten los vehículos motorizados. Mientras tanto, las comunidades y las escuelas están implementando varias estrategias en todo el país para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico. Algunas de estas estrategias tienen como objetivo reducir la exposición en los espacios cerrados a nivel de cada edificio, mientras que otras apuntan a reducciones en los espacios cerrados y abiertos en una escala más grande. Dada la importancia del MP en general, y en especial del MP diésel, ya que es un elemento contaminante nocivo, el enfoque de este documento está en las estrategias que pueden usarse para reducir la exposición al MP, aunque algunas técnicas pueden aplicarse también a elementos contaminantes

gaseosos (por ejemplo, monóxido de carbono, benceno). Este documento hace referencia a las siguientes estrategias de disminución que pueden implementar las autoridades escolares locales: ventilación, filtrado, medidas que pueden implementar los ocupantes de los edificios, políticas de transporte, ubicación y diseño del lugar, y el uso de barreras al costado de la ruta. Muchas de estas estrategias también pueden ser efectivas para reducir la exposición en las escuelas que están cerca de otras fuentes de contaminación del aire mediante partículas (por ejemplo, terminales de trenes, industrias) e instalaciones que tienen un mayor tráfico de camiones y automóviles (por ejemplo, depósitos, puertos). Ante la planificación, la implementación y la evaluación de las estrategias de disminución, puede ser beneficioso reunir un equipo de proyecto diverso que se comprometa a garantizar un entorno saludable para los niños y el personal.⁶

Las concentraciones elevadas de MP en las escuelas están vinculadas a:

- Falta de ventilación
- Filtrado del aire ineficaz o inexistente
- Cercanía con carreteras
- Puertas y ventanas abiertas que permiten el ingreso de aire contaminado del exterior durante las horas pico de tráfico
- Limpieza poco frecuente o incompleta de las superficies de los espacios cerrados
- Niveles elevados de ocupación^{7,8}

Diseño de construcción y estrategias de funcionamiento para reducir la exposición de la contaminación cerca de una ruta

Ventilación, filtrado y calidad del aire en espacios cerrados en las escuelas

La ventilación adecuada del edificio es fundamental para mantener la calidad saludable del aire de espacios cerrados. En las escuelas, la ventilación se logra en forma pasiva (por ejemplo, mediante la apertura de puertas y ventanas) o de manera mecánica con un sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado (CVAA) en el edificio.

⁴ Mejia, J. F., Choy, S. L., Mengersen, K., & Morawska, L. (2011). Methodology for assessing exposure and impacts of air pollutants in school children: Data collection, analysis and health effects - A literature review. *Atmospheric Environment*, 45(4), 813-823. doi:10.1016/j.atmosenv.2010.11.009

⁵ Mullen, N. A., Bhargava, S., Hering, S. V., Kreisberg, N. M., & Nazaroff, W. W. (2011). Ultrafine particle concentrations and exposures in six elementary school classrooms in northern California. *Indoor Air*, 21(1), 77-87. doi:10.1111/j.1600-0668.2010.00690.x

⁶ Para obtener más información sobre el desarrollo de un equipo de proyecto, consulte las pautas Más salud mediante el ahorro energético de la EPA (Apéndice A). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (2014). *Energy savings plus health: Indoor air quality guidelines for school building upgrades*. Disponible en http://www.epa.gov/iaq/schools/pdfs/Energy_Savings_Plus_Health_Guideline.pdf

⁷ Stranger, M., Potgieter-Vermaak, S. S., & Van Grieken, R. (2008). Characterization of indoor air quality in primary schools in Antwerp, Belgium. *Indoor Air*, 18(6), 454-463.

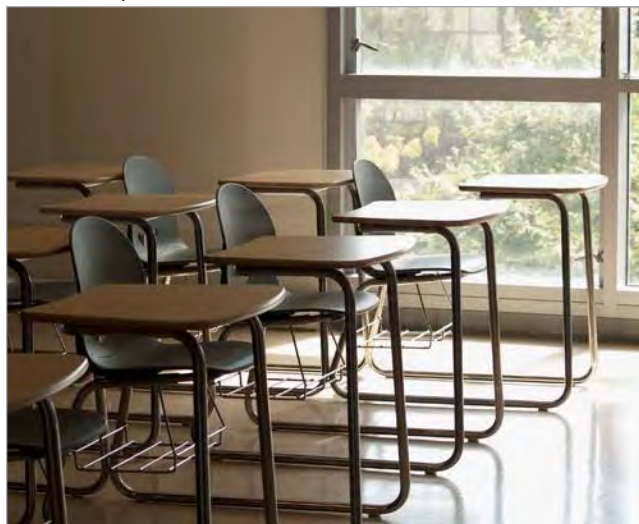
⁸ McCarthy, M. C., Ludwig, J. F., Brown, S. G., Vaughn, D. L., & Roberts, P. T. (2013). Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air*, 23(3), 196-207. doi:10.1111/ina.12015

Algunos estudios han demostrado que además de reducir los efectos en la salud relacionados con la exposición a la contaminación del aire, la ventilación adecuada colabora con un entorno de aprendizaje más cómodo que se traduce en mejores calificaciones en las evaluaciones y en la asistencia a clase.⁹

Sin embargo, una mejora en la ventilación no mejora la calidad del aire. Por ejemplo, si no se usa el filtrado, los índices más elevados de ventilación pueden aumentar los niveles de elementos contaminantes en los espacios cerrados si las concentraciones de elementos contaminantes en el exterior son más altas que las concentraciones en los espacios cerrados.

Ventilación pasiva o natural

En los sistemas de ventilación pasiva o natural, el aire se distribuye en un aula mediante puertas y ventanas abiertas o fugas en los cerramientos del edificio (por ejemplo, los espacios alrededor de puertas y ventanas). Los sistemas pasivos se basan en la disolución de los elementos contaminantes del aire mediante la mezcla del aire de los espacios cerrados con el aire de los espacios al aire libre. Este método solo es efectivo si el aire de los espacios abiertos está menos contaminado que el aire de los espacios cerrados. A menudo, es complicado lograr una ventilación adecuada con los métodos pasivos porque puede ser difícil para los ocupantes del edificio evaluar las necesidades de ventilación y la calidad del aire exterior, y controlar también los índices de ventilación. Las estrategias para reducir la exposición a la contaminación en aulas con ventilación natural incluyen la reducción de las fuentes de contaminación del aire de los espacios cerrados y, en las escuelas que están cerca de carreteras muy transitadas, la coordinación del tiempo para el ingreso del aire (es decir, abrir y cerrar las puertas y ventanas) para evitar que ingrese el aire del exterior durante las horas pico (para obtener más información, consulte la sección Acciones de los ocupantes del edificio).



Además, hay opciones relacionadas con el filtrado para las escuelas que tienen sistemas pasivos, que se describen en la sección que está a continuación.

Recomendaciones

- Mantenga cerradas las puertas y ventanas durante las horas pico de tráfico (por ejemplo, la hora pico de la mañana y la noche).
- Minimice las fuentes de contaminación del aire de los espacios cerrados.
- Utilice una unidad de filtrado autónoma o renueve el sistema de ventilación mecánica.

Ventilación mecánica

En los sistemas de ventilación mecánica, el aire circula por el edificio mediante ventiladores de admisión y extracción de aire. Los sistemas mecánicos que se usan en las escuelas pueden agruparse en dos categorías: unidades que se instalan en una sola habitación sin tuberías de aire (como un ventilador de unidad o una bomba de calor individual) y unidades de aire central que suministran a varias habitaciones mediante un sistema de conductos. La efectividad de la ventilación mecánica depende del tipo de sistema, diseño, mantenimiento y funcionamiento de CVAA. Un desequilibrio en el sistema de CVAA de un edificio puede generar la presurización de las instalaciones.

La presión negativa permite el ingreso de elementos contaminantes del exterior al edificio por los espacios edilicios mientras que la presión positiva evita la filtración de aire del exterior, pero puede provocar la aparición de humedad en las paredes del edificio. En climas fríos, la humedad se puede condensar en las paredes y favorecer el desarrollo de moho. Por lo tanto, y en general, se recomienda el uso de un regulador de liberación de presión que permita la salida del aire del edificio o ventiladores de extracción que saquen el aire hacia afuera.

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) recomienda¹⁰ el uso de unidades de CVAA centrales cuando sea posible, ya que son más silenciosas (y, en consecuencia, es menos probable que deban apagarse), fáciles de mantener debido a la poca cantidad de unidades individuales, y compatibles con un filtrado de mayor eficiencia.

Si bien las unidades centrales, por lo general, logran índices de intercambio de aire más elevados y una mejor calidad del aire de los espacios cerrados, las matrículas y los conductos necesarios tienden a aumentar el costo del sistema.

⁹ Mendell, M. J., & Heath, G. A. (2005). Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of the literature. *Indoor Air*, 15(1), 27-52.

¹⁰ U.S. Environmental Protection Agency. (2012). *Heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems*. Disponible en www.epa.gov/iaq/schooldesign/hvac.html

El sistema de conductos en los sistemas de ventilación central debe mantenerse limpio y examinarse en forma periódica para detectar fugas. Independientemente del tipo de sistema que se use, los sistemas de ventilación mecánica casi siempre son más confiables que los métodos naturales porque se pueden controlar los índices de flujo de aire.

Recomendaciones

- Si fuera posible, use ventilación mecánica. Por lo general, las unidades de CVAA centrales que abastecen varias aulas son más efectivas que los sistemas de unidad para una sola habitación.
- En aulas donde pueda garantizarse una ventilación mecánica suficiente, selle los huecos edilicios para evitar la infiltración de aire contaminado por las grietas que están alrededor de puertas, ventanas y conductos de CVAA.
- Si el sistema de ventilación mecánica tiene un desempeño adecuado, mantenga cerradas las puertas y ventanas para evitar el ingreso del aire contaminado del exterior.
- Asegúrese de que los sistemas de CVAA tengan el mantenimiento adecuado y funcionen en forma correcta.
- Ubique las entradas de aire lejos de las carreteras, paradas de autobuses, zonas de descenso de pasajeros y de otras fuentes de contaminación, como áreas designadas para fumar.¹¹

Filtrado

A pesar de que la disolución de los elementos contaminantes del aire mediante la ventilación es algunas veces adecuada, muchos edificios (incluso escuelas) requieren de otro tratamiento del aire para lograr una calidad adecuada del aire de los espacios cerrados. Algunos estudios demostraron que el filtrado en las escuelas puede mejorar la calidad del aire de los espacios cerrados mediante la reducción de las concentraciones de partículas en un 97 % con respecto a los niveles de los espacios al aire libre.¹² Para lograr el máximo rendimiento de los sistemas de filtrado se necesita lo siguiente:

- Instalación adecuada
- Funcionamiento continuo
- Revestimiento del edificio lo más herméticos posible (es decir, escapes de aire mínimos)

- Distribución eficaz del aire
- Ubicación minuciosa de los lugares de entrada y salida del aire
- Mantenimiento periódico, que incluye el reemplazo de filtros

El filtrado tiene algunas limitaciones prácticas. Solo es efectivo para la eliminación de las partículas que ingresan en el sistema por una entrada de aire del exterior y las partículas que ingresa por los conductos de aire de retorno que, por lo general, están ubicados a nivel del techo. Es probable que no se eliminen las partículas que ingresan en la escuela por otras vías (por ejemplo, las partículas que ingresan al aula por puertas y ventanas abiertas, fugas por los espacios del edificio, fuentes generadoras de partículas de los espacios cerrados o resuspensión de los pisos). Además, la eliminación de elementos contaminantes gaseosos por filtrado es, por lo general, menos efectiva que la eliminación de partículas; los filtros que pueden eliminar elementos contaminantes gaseosos son costosos y no se usan con frecuencia en las escuelas.

Normalmente, el filtrado del aire de los espacios cerrados se incorpora al sistema de CVAA del edificio, aunque existen limpiadores de aire portátiles y autónomos. Ambos tipos de sistema usan filtros que eliminan los elementos contaminantes del aire según el tamaño de las partículas.¹³

Las escuelas que adopten proyectos de mejora de eficiencia energética tal vez deseen tener en cuenta oportunidades de mejorar la calidad del aire de los espacios cerrados a la misma vez.¹⁴



¹¹ Los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades recomiendan que las escuelas prohíban el consumo de todo tipo de tabaco en todas las instalaciones escolares, en cualquier situación y en todo momento. Para obtener más recomendaciones sobre la prevención del consumo de tabaco en las escuelas, consulte <http://www.cdc.gov/healthyschools/tobacco>.

¹² McCarthy, M. C., Ludwig, J. F., Brown, S. G., Vaughn, D. L., & Roberts, P. T. (2013). Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air*, 23(3), 196-207. doi:10.1111/ina.12015

¹³ Algunos saneadores de aire portátiles y autónomos usan tecnologías alternativas para eliminar los elementos contaminantes, como precipitadores electrostáticos. Si bien son efectivos en la eliminación de partículas, los precipitadores electrostáticos tienden a ser más costosos que los filtros tradicionales, requieren más mantenimiento con el paso del tiempo y pueden generar pequeñas cantidades de ozono como subproducto de la purificación del aire. Además, algunos saneadores de aire están diseñados para generar ozono en forma intencional y no son recomendados. La Junta de Recursos de Aire de California tiene una lista de dispositivos de saneamiento de aire probados y certificados por el estado de California, ya que cumplen con requisitos de seguridad eléctrica y de emisión de ozono de California. Consulte <http://www.arb.ca.gov/research/indoor/aircleaners/certified.htm>

¹⁴ U.S. Environmental Protection Agency. (2014). *Energy savings plus health: Indoor air quality guidelines for school building upgrades*. Disponible en http://www.epa.gov/iaq/schools/energy_savings_plus_health.html

El grado de mejora de calidad del aire de espacios cerrados a partir del filtrado depende de la calificación del Valor Mínimo de Información de Eficiencia (MERV, por sus siglas en inglés) del filtro. Los filtros con calificaciones MERV de 1 a 4 son eficaces en la eliminación de partículas grandes (por ejemplo, polen, polvillo, ácaros, polvillo de pintura), pero son menos efectivos en la eliminación de partículas pequeñas relacionadas con el tráfico que pueden ingresar en el sistema respiratorio y provocar efectos adversos para la salud. Los filtros con calificaciones MERV más elevadas son cada vez más efectivos en la eliminación de partículas muy pequeñas.

Los estudios que analizan los sistemas de filtrado en las escuelas descubrieron que todos los tipos de sistemas de filtrado mejoran las condiciones de calidad del aire dentro de las aulas y pueden usarse para reducir la exposición a elementos contaminantes relacionados con el tránsito en los espacios cerrados. Los sistemas de CVAA centrales que cuentan con filtros tienden a ser más efectivos que los sistemas de unidad (por ejemplo, unidades de ventana) con filtros. En escuelas que tienen sistemas de CVAA central, los filtros de eficiencia media (MERV de 6 o 7) tienden a reducir las concentraciones de partículas de un 20 % a un 65 % aproximadamente, mientras que los filtros de rendimiento más elevado (MERV de 11 a 16) pueden reducir las concentraciones de partículas de un 74 % a un 97 % con respecto a las concentraciones en el exterior.¹⁵ Por lo general, las calificaciones MERV más elevadas están asociadas a índices de eliminación de partículas más altos. Los sistemas autónomos, aunque son levemente menos efectivos, se adaptan sin problemas a aulas que no cuentan con un sistema de CVAA central y pueden lograr una eficiencia de eliminación casi de un 90 %.¹⁷



En un estudio piloto de filtrado de alto rendimiento en las escuelas, el Distrito para la Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur descubrió que el uso combinado de filtros de panel basados en matrícula y de alto rendimiento eran más efectivos en la reducción de concentraciones de partículas, con disminuciones de un 87 % a un 96 %, mientras que el uso de un filtro de panel de alto rendimiento solo reducía las concentraciones de partículas casi en un 90 %.¹⁶

Sin embargo, el rendimiento depende de la cantidad de aire que pueda procesar la unidad y de las otras características de diseño del aula que influyen en el flujo de aire hacia el sistema. Una desventaja de algunas unidades autónomas es que pueden ser más ruidosas que el filtrado basado en el sistema de CVAA. No obstante, hay unidades autónomas más silenciosas que cumplen con los requisitos de nivel de ruido para un equipo de aula nuevo.¹⁸

Es importante mantener el rendimiento del filtrado del sistema de CVAA con el mantenimiento periódico y el funcionamiento adecuado. Se puede evitar la despresurización excesiva mediante la limpieza de rutina y el cambio de filtro, cuando sea necesario. La supervisión de la presión del sistema puede ayudar a identificar en qué momento se necesita un cambio de filtro y puede maximizar el rendimiento, reducir los costos energéticos y evitar el desecho anticipado de filtros que todavía pueden usarse. Es posible utilizar prefiltros que no son costosos para eliminar la mayoría de la masa de partículas y extender la vida útil del filtro principal que es más costoso. El rendimiento y la vida útil del filtro también pueden mejorar si las entradas de aire externo se ubican lejos de posibles fuentes de contaminación de manera que el aire más limpio ingrese al sistema.

Es probable que algunas escuelas puedan incorporar filtrado de alta eficiencia en su sistema de CVAA existente. Sin embargo, no todos los sistemas de CVAA son compatibles con los filtros que tienen calificación MERV. En algunos sistemas, el agregado de un filtro con calificación MERV alta puede generar una caída grande en la presión del sistema. La magnitud de la caída de presión varía según el tipo de filtro y no todos los filtros de alta eficiencia generan una caída grande de presión. Por ejemplo, el programa

¹⁵ McCarthy, M. C., Ludwig, J. F., Brown, S. G., Vaughn, D. L., & Roberts, P. T. (2013). Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air*, 23(3), 196-207. doi:10.1111/ina.12015

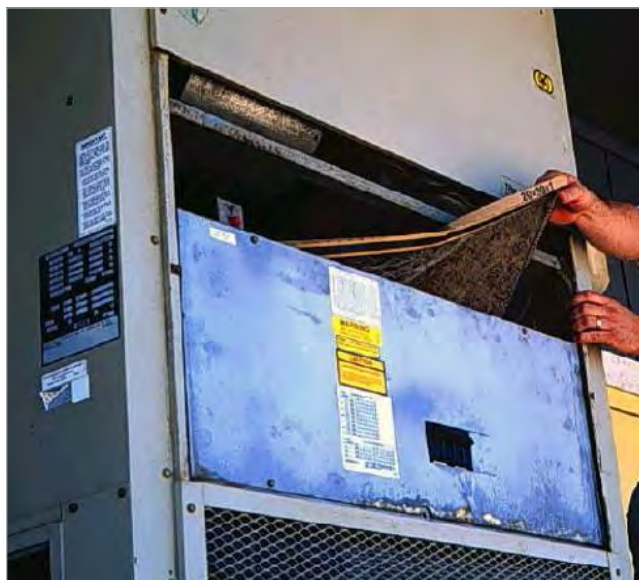
¹⁶ Polidori, A., Fine, P. M., White, V., & Kwon, P. S. (2013). Pilot study of high-performance air filtration for classroom applications. *Indoor Air*, 23(3), 185-195. doi:10.1111/ina.12013

¹⁷ Polidori, A., Fine, P. M., White, V., & Kwon, P. S. (2013). Pilot study of high-performance air filtration for classroom applications. *Indoor Air*, 23(3), 185-195. doi:10.1111/ina.12013

¹⁸ Polidori, A., Fine, P. M., White, V., & Kwon, P. S. (2013). Pilot study of high-performance air filtration for classroom applications. *Indoor Air*, 23(3), 185-195. doi:10.1111/ina.12013

de filtrado de aire escolar del Distrito para la Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur usa filtros de panel de alto rendimiento que tienen propiedades de resistencia de aire similares a los filtros convencionales, no requieren de un prefiltro y no reducen el flujo de aire del sistema de CVAA. Además, estos filtros tienen una vida útil más prolongada que los filtros MERV de eficiencia media que se usan generalmente y requieren de un reemplazo una vez por año en lugar de cada cuatro meses.¹⁹ Según sea el sistema de CVAA, la instalación del filtro con la calificación MERV más alta que admita el sistema actual puede ser una manera rentable de mejorar la calidad del aire de los espacios cerrados. En otros casos, mejorar o reemplazar el sistema de CVAA existente puede ser necesario para mejorar la capacidad de bombeo que se necesita para admitir el filtrado de alta eficiencia debido a un flujo de aire limitado.

Los costos de capital o el aumento de los costos operativos pueden plantear limitaciones a estas mejoras; no obstante, debe tenerse en cuenta el potencial de ahorro asociado con cualquier mejora del sistema. Por ejemplo, el costo de comprar un sensor de aire para supervisar las necesidades de ventilación y, en consecuencia, ayudar a optimizar los índices de ventilación, puede compensar los costos de energía más altos y prolongados debido a un exceso de ventilación.



Recomendaciones

- En el caso de aulas que se basen en ventilación pasiva o natural, use sistemas de filtrado silenciosos, portátiles y autónomos para reducir las concentraciones en los espacios cerrados.
- En el caso de escuelas con sistemas de ventilación mecánica, use filtrado de alta eficiencia para reducir la exposición a contaminación por partículas dentro de las aulas.
- Mejore el filtrado con filtros de la calificación más alta de MERV que admita el sistema de CVAA.
- Piense en que las mejoras del sistema de CVAA tienen que admitir filtrado de alta eficiencia, que incluya la instalación de pre-filtros, si fuera necesario.
- Inspeccione y reemplace los filtros en forma periódica, según las recomendaciones del fabricante.
- Donde se pueda, ubique las entradas de aire lejos de las fuentes de contaminación.

Acciones de los ocupantes del edificio

Las acciones de los ocupantes del edificio pueden afectar enormemente la exposición a la contaminación cerca de una ruta en ambientes cerrados. Por ejemplo, abrir las puertas y ventanas para la ventilación de las aulas permite el ingreso de aire contaminado y anula los beneficios de la calidad del aire de un sistema de filtrado de CVAA. Es importante mantener cerradas las puertas y ventanas durante períodos de tráfico pico (por ejemplo, en las horas pico de la mañana y la noche) cuando las concentraciones de elementos contaminantes cerca de carreteras son, por lo general, las más elevadas. Aunque el aula es un ambiente sensible al ruido, es importante que los sistemas de CVAA no estén apagados durante el día.

En el caso de aulas ventiladas en forma natural, se pueden presentar oportunidades de programar el ingreso de aire a fin de evitar que entre aire de afuera durante las horas de concentración pico.

Si bien el enfoque de este documento es la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico, es importante observar que las fuentes de espacios cerrados pueden tener un gran impacto (e incluso dominar) las concentraciones en el interior de MP y elementos contaminantes gaseosos. Las fuentes de espacios cerrados incluyen fuentes de combustión, humo de segunda mano, polvillo de la actividad de

¹⁹ Polidori, A., Fine, P. M., White, V., & Kwon, P. S. (2013). Pilot study of high-performance air filtration for classroom applications. *Indoor Air*, 23(3), 185-195. doi:10.1111/ina.12013

los alumnos (MP) y emisiones (gaseosas), por ejemplo de materiales del edificio, muebles, alfombras, desodorantes de ambiente, productos de cuidado personal, emisiones biológicas de moho y bacterias, e insumos del aula (por ejemplo, marcadores de borrado en seco y algunos limpiadores).

La exposición al aire libre puede reducirse si las actividades se programan con atención para evitar los horarios de contaminación pico. A menudo, la contaminación de ozono es peor los días calurosos y soleados, en especial durante la tarde y las primeras horas de la noche. La contaminación de partículas puede ser elevada en cualquier momento del día, pero los niveles más altos están cerca de automóviles, camiones y autobuses que están en marcha, pero inactivos y en carreteras transitadas, en particular durante las horas pico. Si fuera posible, planifique las actividades extenuantes al aire libre en un horario que no sea pico ni de llegada y retiro de alumnos, y piense en realizar las actividades lejos de las carreteras y zonas de carga. Además, muchas escuelas implementan el programa de Banderines de la Calidad del Aire para generar conciencia del pronóstico de calidad del aire diario. Para ayudar en la planificación de las actividades al aire libre, se pueden usar los banderines en la escuela combinados con información sobre la calidad del aire actual que puede obtener en www.airnow.gov.

Generar conciencia sobre las cuestiones de calidad del aire en espacios cerrados y al aire libre, y proporcionar capacitación al personal sobre las prácticas óptimas de funcionamiento del edificio (que incluyen el funcionamiento del CVAA) que son específicas del diseño de su escuela son estrategias económicas que complementan las mejoras en el sistema de ventilación y filtrado, y en el diseño edilicio y del sitio. El programa *Herramientas de IAQ para las Escuelas* de la EPA proporciona una estructura fácil de usar y un conjunto de herramientas para capacitar al personal sobre el manejo de la calidad del aire en espacios cerrados (IAQ, por sus siglas en inglés) (www.epa.gov/iaq/schools). La capacitación se recomienda como una estrategia complementaria y no debe considerarse como una alternativa a las mejoras de ventilación.



Recomendaciones

Capacite a los maestros y al personal de la escuela sobre las prácticas recomendadas sobre ventilación, incluyendo:

- Mantener cerradas las puertas y ventanas en aulas ventiladas de manera mecánica a fin de prevenir el ingreso del aire contaminado del exterior.
- Mantener cerradas las puertas y ventanas de aulas ventiladas en forma natural durante los horarios pico de transporte.
- Mantener encendidos los sistemas de CVAA durante todo el día.
- Mantener las salidas de aire sin elementos que puedan bloquear el flujo de aire.
- Entender la importancia de las fuentes de elementos contaminantes de espacios cerrados y cómo reducir las emisiones de dichas fuentes.

Planificar actividades extenuantes al aire libre durante momentos con poco tráfico.

Resumen

Las necesidades de ventilación y filtrado varían según la escuela y la ocupación, la cercanía con las carreteras u otras fuentes de elementos contaminantes, y la preponderancia de las fuentes de espacios cerrados. Los administradores escolares pueden mejorar la calidad del aire mediante la modificación de los sistemas de ventilación y filtrado, aunque puede ser complicado identificar qué estrategias generarán las mejoras más importantes para el nivel de esfuerzo y costo requeridos.

A fin de evaluar qué acciones (si las hubiera) se necesitan para ayudar a reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico, el personal escolar puede comenzar por realizar una evaluación preliminar. En la página 15, se proporciona una guía breve para ayudar con la evaluación del sistema de ventilación y filtrado de la escuela. Una vez que se complete la evaluación de referencia del sistema de ventilación actual, pueden evaluarse las estrategias de disminución que sean adecuadas para el sistema. La [Tabla 1](#) ofrece estrategias de disminución para diferentes tipos de sistemas de ventilación que, por lo general, están en las aulas.

Tabla 1. Sistemas de ventilación contra estrategias de disminución. Se enumeran los tipos de sistema de CVAA o ventilación, por lo general, desde los menos efectivos hasta los más eficaces, y se enumeran las estrategias de disminución desde las más simples (y las menos costosas) de implementar hasta aquellas que requieren de un nivel mayor de esfuerzo.

Tipo de CVAA o ventilación	Estrategias de disminución				
	Educación al personal	Sellar el edificio	Mejorar el ingreso de aire	Usar filtrado	Mejorar el sistema
Ventilación pasiva o natural	✓	Puede ser una opción si la ventilación es adecuada para diluir y eliminar los elementos contaminantes de las fuentes de espacios cerrados	Evitar el ingreso de aire durante períodos de mucho tráfico	Usar un sistema de filtrado autónomo y portátil	Cambiar a un método de ventilación mecánica
Unidad de CVAA para una sola aula (por ejemplo, unidad de ventana)	✓	✓	Evitar las obstrucciones en el flujo de aire Usar sistemas silenciosos	Usar el filtro con la calificación MERV más alta compatible Usar prefiltros o filtros de panel de alto rendimiento	Implementar una mejora y pasar a un sistema de CVAA central
Sistema de CVAA central que distribuye a varias aulas; uso de filtrado de alta eficiencia limitado por el flujo de aire	✓	✓	Cambiar las ubicaciones de las entradas de aire si está cerca fuentes de contaminación (por ejemplo, carreteras, zona de descarga, estacionamiento)	Usar el filtro con la calificación MERV más alta compatible Usar prefiltros o filtros de panel de alto rendimiento	Modificar el flujo de aire para que sea compatible con un filtrado de mayor eficiencia
Sistema de CVAA central que distribuye a varias aulas; uso de filtrado de alta eficiencia no limitado por el flujo de aire	✓	✓	Cambiar las ubicaciones de las entradas de aire si está cerca fuentes de contaminación (por ejemplo, carreteras, zona de descarga, estacionamiento)	Usar filtro con calificación MERV superior a 16 Usar prefiltros	N/C

Estrategias relacionadas con el sitio para reducir la exposición a la contaminación cerca de la ruta

Políticas de transporte

Establecimiento de políticas de anti-inactividad y de reducción de la inactividad

Un autobús en funcionamiento o en marcha, pero inactivo puede producir una gran cantidad de MP y otros elementos contaminantes del aire. Algunas escuelas implementaron políticas de anti-inactividad o de reducción de la inactividad con el fin de disminuir el impacto de la contaminación que generan los autobuses y vehículos de pasajeros cerca de las escuelas. Las políticas de anti-inactividad generan una gran reducción en las concentraciones de partículas, en especial en las escuelas a las que llegan varios autobuses escolares con motor diésel.

Mejoramiento de las flotas de autobuses

La contaminación que generan los autobuses escolares también puede reducirse mediante el mejoramiento de las flotas de autobuses. El reemplazo de la flota por autobuses escolares con motor diésel es bajo y las unidades que funcionan, en general, lo hacen de 20 a 30 años. Los autobuses más antiguos emiten niveles elevados de MP y otros elementos contaminantes del aire. No obstante, gracias a los avances tecnológicos y los estándares de emisiones de MP más estrictos para los autobuses nuevos, establecidos por la EPA, los autobuses nuevos (fabricados durante o después de 2007) son 60 veces más ecológicos que los que se fabricaban hasta antes de 1990. Las emisiones pueden reducirse mediante la retro adaptación de los autobuses más antiguos con filtros de MP o catalizadores de oxidación, o mediante el reemplazo de los autobuses antiguos por modelos nuevos. También disminuyen si se usan combustibles alternativos, que incluyen combinaciones con biodiésel. Los motores certificados para funcionar con combustibles alternativos, como gas licuado de petróleo (GLP), gas natural comprimido (GNC) y gas natural licuado (GNL), también reducen las emisiones. Analice las posibles opciones de financiamiento para mejorar la flota de autobuses con la agencia estatal o local de calidad ambiental o de aire.²⁰

²⁰ U.S. Environmental Protection Agency. (2010). *Clean school bus*. Disponible en <http://www.epa.gov/cleandiesel/sector-programs/csb-overview.htm>



Favorecimiento del transporte activo

Fomentar el transporte activo, como trasladarse caminando y en bicicleta a las escuelas, ayuda a reducir la contaminación relacionada con el tráfico mediante la disminución de la cantidad de autobuses y vehículos de pasajeros que están cerca de la escuela. Por ejemplo, gracias a la construcción de senderos para caminar o para andar en bicicleta en la Escuela Media Roosevelt de Eugene, en Oregon, se redujo el volumen de tráfico cerca de la escuela en un 24 %. ²¹

Si bien el transporte activo puede colaborar con la mejora de la calidad del aire cerca de las escuelas, los alumnos que caminan o van en bicicleta pueden estar expuestos a la contaminación de la ruta y otros peligros del tráfico debido a la cercanía con el tráfico de vehículos motorizados. En caso de que existan alternativas seguras, trasladarse caminando y en bicicleta a la escuela por carreteras con volúmenes más bajo de tráfico ayuda a reducir la exposición a la contaminación y los peligros de seguridad. ²²

Los senderos para caminar o andar en bicicleta paralelos o lejos de las calles que pasan por parques u otras áreas alejadas de las carreteras también ofrecen una alternativa aceptable para trasladarse a lo largo de una ruta con muchos vehículos motorizados. Buscar mejoras en la infraestructura para peatones y ciclistas colabora en la provisión de carreteras más seguras para que los alumnos puedan trasladarse a pie y en bicicleta a la escuela. Esto puede incluir la instalación o la mejora de aceras, cruces peatonales, señales, marcas y temporizadores de cuenta regresiva así como también fomentar la caminata a la escuela en lugar de usar el autobús escolar. ²³ Cuando se piense en las carreteras para caminar y andar en bicicleta que conducen a la escuela es importante tener en cuenta los impactos en la seguridad, la iluminación, el acceso y los requisitos de mantenimiento. La Asociación Nacional de Carreteras Seguras hacia la Escuela proporciona muchos recursos para fomentar el traslado seguro a pie y en bicicleta (www.saferoutespartnership.org).

²¹ Safe Routes to School National Partnership. (2012). *Safe routes to school and traffic pollution: Get children moving and reduce exposure to unhealthy air*. Disponible en http://www.saferoutespartnership.org/sites/default/files/pdf/Air_Source_Guide_web.pdf

²² Safe Routes to School National Partnership. (2012). *Safe routes to school and traffic pollution: Get children moving and reduce exposure to unhealthy air*. Disponible en http://www.saferoutespartnership.org/sites/default/files/pdf/Air_Source_Guide_web.pdf

²³ National Center for Safe Routes to School. (2013). *Starting a walking school bus*. Disponible en <http://www.walkingschoolbus.org>

A pesar del potencial de aumento de la exposición asociado con el transporte activo, se ha demostrado que caminar o andar en bicicleta mejora la salud y las personas que viven en barrios aptos para el traslado a pie son, por lo general, más activas a nivel físico que aquellas que viven en barrios no tienen estas condiciones. Fomentar el caminar y el uso de la bicicleta para ir a la escuela por carreteras o caminos que tienen volúmenes bajos de tráfico (con respecto a otras carreteras) aumentará la posibilidad de que los beneficios para la salud del ejercicio físico superen a los riesgos para la salud asociados con un aumento de la exposición a elementos contaminantes del aire.

Recomendaciones

- Limite la inactividad con el motor en marcha de los autobuses mediante el establecimiento de políticas de anti-inactividad o de reducción de la inactividad.
- Mejore las flotas de autobuses escolares mediante:
 - La readaptación de los autobuses con filtros de MP o catalizadores de oxidación
 - El reemplazo de autobuses antiguos por modelos más nuevos
- Las emisiones pueden disminuir si se usan combustibles alternativos, que incluyen combinaciones con biodiésel. Los motores certificados para funcionar con combustibles alternativos, como GLP, GNC o GNL también reducen las emisiones.
- Analice las oportunidades de financiamiento para mejorar la flota de autobuses con la agencia estatal o local de calidad ambiental o de aire.
- Proporcione vías para caminar o andar en bicicleta a fin de fomentar el transporte activo y reducir la cantidad de autobuses y vehículos de pasajeros que se acercan a la escuela.

Ubicación y diseño del sitio

En respuesta a las inquietudes sobre las consecuencias de la contaminación del aire cerca de las carreteras, varias agencias, incluso la EPA y varias agencias estatales de California, establecieron pautas de ubicación para escuelas nuevas; dichas pautas recomiendan reducir la exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico (Tabla 2). Aunque las pautas de California recomiendan que las escuelas nuevas deben ubicarse a 500 pies o más de carreteras principales, las *Pautas de Ubicación de Escuelas* de la EPA destacan la necesidad de tener en cuenta varias cuestiones asociadas con la exposición y la salud. Por ejemplo, una escuela que está ubicada lejos de una ruta importante

que requiere de traslados prolongados en autobús o automóvil puede generar una exposición general más elevada para los alumnos comparado con el sitio de una escuela que está cerca de una ruta importante que no requiere de traslados prolongados. En general, la EPA recomienda varias estrategias, como se describe en este documento, para reducir la exposición general de los alumnos.

Los sitios de una escuela incluyen una variedad de tipos de uso del terreno, como aulas, área de juegos, campos deportivos, oficinas e instalaciones de mantenimiento y almacenamiento. En el caso de desarrollos de escuelas nuevos cerca de carreteras, es probable que existan oportunidades de reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico mediante el diseño minucioso del sitio.

Tabla 2. Documentos de ubicación de escuelas desarrollados por varias agencias.

Agencia	Pauta	Resultados clave
U.S. EPA	Pautas de Ubicación de Escuelas (2011)	Recomiendan tener en cuenta muchos factores al momento de evaluar las ubicaciones de escuelas nuevas, que incluyen la cercanía con la comunidad (infraestructura y servicios comunitarios), distancia con respecto a las instalaciones de transporte importantes, exposición a elementos contaminantes del aire durante el traslado de los alumnos, posibilidades de disminución en el sitio, y capacidad de acceso a pie o en bicicleta.
Consejo de Recursos Atmosféricos de California (ARB)	Manual de Calidad del Aire y Uso de la Tierra (2005)	Recomienda que las escuelas nuevas no se ubiquen dentro de los 500 pies de las carreteras principales (>50 000 vehículos por día).
Departamento de Educación de California	Guía de Selección y Aprobación de Sitios para Escuelas (2000)	Recomienda que las escuelas estén a una distancia de 2500 pies de carreteras importantes por donde se transportan explosivos y a una distancia mínima de 1500 pies de carreteras por donde se transportan gasolina, diésel, propano, cloro, oxígeno, pesticidas u otros combustibles o gases tóxicos.
Distrito para la Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur	Problemas de calidad del aire en la selección del sitio de la escuela: Documento guía (2005, actualizado en 2007)	Recomienda una zona intermedia de no menos de 500 pies y de un máximo de 1000 pies entre las escuelas y las carreteras principales.
Distrito Escolar Unificado de Los Ángeles	Criterios de Distancia para el Emplazamiento de las Escuelas (2008)	Recomienda que las escuelas nuevas no se construyan dentro de los 500 pies de una autopista o corredor de transporte principal (>100 000 vehículos por día).



Diseños de muestra para parcelas de tierra grandes con una escuela y otros usos del terreno. Un diseño menos atractivo (izquierda) con la escuela cerca de la autopista se compara con un diseño mejorado (derecha) con la escuela a más de 500 pies de la autopista (línea de puntos roja).

Si los usos del terreno, como instalaciones de mantenimiento, almacenamiento, estacionamiento y oficinas, se ubican en un área cercana a una ruta, las aulas y áreas de juego pueden ubicarse más lejos de la ruta en áreas donde las concentraciones de elementos contaminantes del aire tienden a ser menores. Algunas de estas estrategias también se pueden utilizar en sitios de escuelas existentes que están cerca de carreteras o en sitios que están cerca de otras fuentes de contaminación del aire por partículas diésel, tales como depósitos, carreteras de camiones, terminales de trenes y puertos.

La exposición a la contaminación relacionada con el tráfico también puede reducirse si las fuentes relacionadas con el transporte en el lugar, en especial los lugares de ascenso y descenso de pasajeros de los autobuses, se ubican lo más lejos posible de las aulas, las áreas de juego y las entradas de aire del edificio. El lugar óptimo de oficinas, áreas de juegos, campos de deportes y aulas dentro del sitio de una escuela depende una variedad de factores, que incluyen los patrones de viento típicos, la cantidad de tiempo y las actividades que se desarrollan al aire libre en contraposición a los espacios cerrados, y las condiciones de ventilación de los espacios cerrados.

Recomendaciones

- Para desarrollos de escuela nuevas, tenga en cuenta ubicaciones que estén alejadas de carreteras principales y otras áreas con mucho tráfico de camiones, pero que estén dentro de la comunidad.
 - Puede ser adecuado o necesario realizar una evaluación cuantitativa de las consecuencias de la calidad del aire después de la disminución.
- Tenga en cuenta las consecuencias accidentales de cualquier ubicación, como el aumento de las distancias de traslado y la disminución de las oportunidades para trasladarse caminando y en bicicleta.
- Piense en las oportunidades de ubicar las áreas de juego, los campos deportivos y las aulas lejos de las carreteras o de otras áreas con mucho tráfico de camiones y ubicar las instalaciones de mantenimiento, almacenamiento, estacionamiento y oficinas cerca de la ruta.
- Ubique las zonas de carga de autobuses y vehículos de pasajeros lejos de las aulas, áreas de juego y entradas de aire del edificio.

Obstáculos al costado de la ruta

Paredes de sonido

Las concentraciones de elementos contaminantes detrás de la barrera ubicada a favor de la dirección del viento de una ruta, por lo general, son más bajas que las concentraciones en ausencia de una barrera. Algunos estudios muestran que las reducciones en las concentraciones de elementos contaminantes a favor de la dirección del viento dentro de una distancia aproximada de 500 pies de una autopista y en presencia de una pared de sonido bien diseñada pueden estar entre el 15 % y el 50 %.²⁴



La efectividad de las paredes de sonido en la reducción de la exposición a la contaminación cerca de las carreteras depende de la configuración de la ruta, la meteorología local y la altura, el diseño y la ubicación del extremo de la barrera. Por ejemplo, las concentraciones de elementos contaminantes pueden ser más elevadas en a favor de la dirección del viento de una pared si existen huecos en la pared que permitan el paso de elementos contaminantes. Las paredes de sonido pueden tenerse en cuenta para escuelas que están cerca de autopistas y otras carreteras muy transitadas y de alto tráfico.

En situaciones en que las autoridades escolares no tienen jurisdicción ni propiedad con respecto al entorno inmediato a la carretera, piense en la posibilidad de analizar el uso de barreras al lado de la carretera para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico con la autoridad competente (por ejemplo, el departamento estatal de transporte, el Departamento de Planificación de la ciudad).

²⁴ Baldauf, R. W., Khlystov, A., Isakov, V., Thoma, E., Bowker, G. E., Long, T., & Snow, R. (2008). Impacts of noise barriers on near-road air quality. *Atmospheric Environment*, 42, 7502–7507.

El uso combinado de vegetación y paredes de sonido ha mostrado ser prometedor en reducir en un 60 % la contaminación de los vehículos si se ubican a favor de la dirección del viento con respecto a las carreteras.²⁵

Vegetación

Los árboles y las plantas que está a lo largo de la ruta pueden reducir las concentraciones de partículas porque actúan como una barrera física entre las carreteras y las escuelas (de hecho, son similares a las paredes de sonido) o filtran las partículas que los atraviesan y se acumulan en las superficies de las hojas. La cantidad de eliminación depende de la estación, las especies de plantas, el tamaño de la hoja y la densidad, y del tipo de elementos contaminantes. La efectividad de los árboles y plantas como barreras físicas también depende de la densidad y la altura de la vegetación. Las plantas maduras tienen a ser más efectivas que la vegetación joven, las especies siempre verde son, por lo general, más efectivas que las especies caducifolias y la vegetación con follaje tipo aguja (como las coníferas) tienden a ser más efectivas que los árboles de hoja ancha. Los índices de eliminación de partículas son más altos cuando la vegetación está cerca de la fuente de elementos contaminantes y cuando la velocidad del viento es baja.

Los tipos de vegetación elegidos para las barreras del costado de la ruta deben ser adecuados para el lugar de interés, incluidos los requisitos de agua, especies no invasivas y estéticas. En general, la barrera de vegetación debería ser frondosa (de aproximadamente 20 pies o más) y tener cobertura de hojas y ramas total desde el suelo hasta la parte superior del follaje, en toda la longitud de la planta (es decir, sin huecos en el medio ni debajo de la vegetación). En algunos casos, este tipo de barrera puede requerir del uso de varios tipos de vegetación, como una combinación de arbustos y árboles. La vegetación elegida también debe mantener su estructura en todas las estaciones; en ese sentido, es preferible plantar coníferas que especies de madera dura. Los tipos de vegetación elegidos no deben ser emisores de contaminación aérea ni tener altos niveles de producción de polen. Las escuelas pueden usar la herramienta *i-Tree Species* del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA, por sus siglas en inglés)²⁶ para comenzar el proceso de elegir la vegetación adecuada con el asesoramiento previo de especialistas de viveros, extensiones de cooperativas locales, el gobierno de la ciudades o el Servicio de Forestación de EE. UU. Toda la vegetación que se ubicará cerca de la ruta debe cumplir con las pautas de seguridad estatal y local.

Recomendaciones

- Use una barrera sólida para el costado de la ruta (solo a lo largo de las autopistas) o vegetación para bloquear los elementos contaminantes relacionados con el tráfico y evitar que influyan en la calidad del aire cercano a la escuela.
- Minimice los huecos en las barreras sólidas y de vegetación del costado de la ruta.
- En el caso de las barreras de vegetación, use especies siempre verde con plantas maduras y densas, y ubique la barrera a favor de la dirección del viento y cerca de la autopista.
- Elija especies que sean adecuadas para la región y el lugar; consulte en viveros, extensiones de cooperativas locales, gobiernos de la ciudad o al Servicio de Forestación de EE. UU.

Al igual que con las paredes de sonido, las concentraciones pueden ser más elevadas detrás de la barrera de vegetación que está ubicada a favor de la dirección del viento de la ruta si existen huecos en la vegetación, si los árboles están secos, o si falta cobertura desde el suelo hacia la parte superior de la vegetación. En cualquier caso, la vegetación puede usarse como una zona intermedia con respecto a la distancia de las personas con la ruta al mismo tiempo que crea un espacio más atractivo y con sombra que favorece el transporte activo (a pie y en bicicleta), como alternativa al uso de vehículos.²⁷



²⁵ Bowker, G. E., Baldauf, R., Isakov, V., Khylstov, A., & Petersen, W. (2007). The effects of roadside structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. *Atmospheric Environment*, 41, 8128-8139.

²⁶ La herramienta *i-Tree Species* del USDA está diseñada para ayudar a los usuarios a elegir la especie adecuada según las funciones de forestación que deseen. La herramienta está disponible en www.itreetools.org/species.

²⁷ Baldauf, R., McPherson, G., Wheaton, L., Zhang, M., Cahill, T., Hemphill Fuller, C., Withycombe, E., & Titus, K. (2013). Integrating vegetation and green infrastructure into sustainable transportation planning. *Transportation Research News*, September-October, 14-18.

Resumen de recomendaciones

La [Tabla 3](#) describe las estrategias de disminución que pueden usarse para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico en las escuelas, que incluye los requisitos del sistema de CVAA o de ventilación, los beneficios, desventajas y la importancia para las escuelas nuevas o existentes. Tenga en cuenta que algunas de estas estrategias de disminución solo servirán para reducir la exposición a la contaminación en los espacios cerrados (por ejemplo, el filtrado) o solo reducirán en forma efectiva los elementos contaminantes (por ejemplo, el MP2.5), pero no otros (por ejemplo, los compuestos orgánicos volátiles). Estas estrategias de disminución reducen los riesgos, pero no los eliminan.

Estrategia	Tipo de sistema de CVAA o ventilación	Beneficios	Desventajas	Escuelas nuevas o existentes
Educar al personal sobre la ventilación y las prácticas recomendadas de calidad del aire en espacios cerrados.	Todos	Es menos probable que los maestros apaguen los sistemas mecánicos; las entradas de aire permanecen sin obstrucciones; las puertas y ventanas se mantienen cerradas durante los períodos de contaminación pico; se reducen las fuentes de contaminación de aire de espacios cerrados.	La efectividad puede disminuir con el paso del tiempo; los resultados dependen de la calidad de la capacitación y de la colaboración del personal.	Ambas
Sellar alrededor de puertas, ventanas, conductos de CVAA, etc.	Sistemas de ventilación mecánica	Reduce la cantidad de aire sin filtrado que ingresa en el edificio.	Las concentraciones de elementos contaminantes de los espacios cerrados pueden acumularse con el paso del tiempo si la ventilación no es suficiente, en especial si la generación de elementos contaminantes en espacios cerrados es alta.	Ambas
Reubicar las entradas o la fuente de aire si hay una carretera o fuente de contaminación cerca de la entrada de aire	Sistemas de CVAA central; unidades de CVAA individuales en cada aula	Reduce las concentraciones de partículas y gaseosas en el aire que ingresa; puede aumentar la vida útil de los filtros.	Costo	Ambas
Usar filtrado	Todos	Reduce las concentraciones de partículas tanto de fuentes de espacios abiertos como de espacios cerrados.	Requiere de mantenimiento y reemplazo; puede necesitar mejoras en el sistema.	Ambas
Mejorar el diseño del sistema de CVAA para que sea compatible con el filtrado de alta eficiencia	Sistemas de CVAA central	Es posible obtener reducciones más grandes en las concentraciones de partículas.	Costo	Ambas
Implementar políticas de anti-inactividad o de reducción de la inactividad con el motor en marcha	Todos	Reduce las emisiones de partículas y gases.	Carece de control climático del vehículo durante climas cálidos o fríos.	Ambas
Mejorar la flota de autobuses escolares	Todos	Reduce las emisiones de partículas y gases.	Costo	Ambas
Fomentar el transporte activo (caminar y andar en bicicleta) para ir a la escuela	Todos	Reduce las emisiones de partículas y gases; mejora la salud con el ejercicio físico.	Los peatones o ciclistas pueden estar expuestos a la contaminación relacionada con el tráfico o a otros peligros durante los viajes.	Ambas
Ubicar el sitio de la escuela lejos de las fuentes de contaminación	Todos	Puede reducir la exposición de los alumnos a partículas y gases, aunque las exposiciones generales pueden aumentar si un sitio alternativo requiere de traslados prolongados en autobús o automóvil.	Si los lugares alternativos son limitados, es probable que no haya oportunidades de ubicar la escuela más lejos de la ruta; las consecuencias accidentales de ubicar sitios lejos de la comunidad pueden incluir una disminución de las oportunidades para	Nueva
Diseñar sitios de escuelas para minimizar la exposición a las fuentes contaminantes	Todos	Reduce la exposición de los alumnos a partículas y gases.	La efectividad es específica del sitio; puede ser costoso para las escuelas existentes.	Ambas
Usar barreras de vegetación sólidas	Todos	Reduce las concentraciones de partículas y gases cerca de las escuelas; las barreras de vegetación pueden aumentar la cantidad de sombra y mejorar el aspecto estético.	Costo; el diseño óptimo puede ser específico del sitio; existen necesidades de mantenimiento y agua para las barreras de vegetación.	Ambas

Evaluación del sistema de ventilación y filtrado de una escuela

1. Evalúe si la contaminación cerca de la carretera puede ser un problema.
 - ¿Hay una carretera importante cerca de la escuela? Si así fuera:
 - ¿A qué distancia está?
 - ¿La escuela está a favor de la dirección del viento de la carretera?
 - ¿En qué lugar se realiza el ascenso y descenso de los alumnos que se transportan en autobús escolar?
 - ¿Existen oportunidades de reducir la inactividad, pero con el motor en marcha del autobús, o de reubicar las zonas de carga lo más lejos posible de las aulas y las áreas de recreación al aire libre?
2. Evalúe el sistema de ventilación y filtrado actual.
 - ¿La ventilación se logra en forma pasiva o mecánica?
 - Si fuera mecánica:
 - ¿Se usa un sistema de CVAA central o de una unidad por aula?
 - ¿Se usan filtros?
 - ¿Cuál es la capacidad de distribución del aire?
 - ¿Se usa filtrado? Si así fuera, ¿cuál es la calificación MERV de los filtros?
3. Evalúe el funcionamiento de la ventilación.
 - ¿Los maestros dejan las puertas y ventanas abiertas durante el día?
 - ¿Existen oportunidades de dejar entrar aire durante los horarios de emisión no pico?
 - ¿Los maestros apagan los sistemas debido a problemas con el ruido?
 - ¿Se inspeccionan, limpian y reemplazan los filtros según el cronograma recomendado por el fabricante?
4. Evalúe las necesidades de sellado para limitar la infiltración de aire que no tenga las condiciones adecuadas.
 - ¿Se puede reducir la infiltración de aire contaminado mediante el sellado alrededor de lo que se indica a continuación?
 - Ventanas
 - Puertas
 - Conductos del CVAA
5. Evalúe la ubicación de las entradas de aire con respecto a las carreteras u otras fuentes de elementos contaminantes, como lugares de ascenso y descenso de alumnos que se trasladan en el autobús escolar.
 - ¿Las entradas de aire están cerca de una ruta, zona de carga o de otras fuentes de elementos contaminantes, como áreas designadas para fumar?²⁸ ¿Las entradas y salidas de aire no tienen obstrucciones?
 - ¿La entrada de aire puede reubicarse en un área que esté menos afectada por las fuentes de elementos contaminantes?

²⁸ Los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades recomiendan que las escuelas prohíban el consumo de todo tipo de tabaco en todas las instalaciones escolares, en cualquier situación y en todo momento. Para obtener más recomendaciones sobre la prevención del consumo de tabaco en las escuelas, consulte <http://www.cdc.gov/healthyschools/tobacco>.

Otros recursos

En el sitio web de la EPA puede encontrar información con respecto a la calidad del aire y la reducción de la contaminación en las escuelas:

- Información general sobre la calidad del aire en espacios cerrados: www.epa.gov/iaq
- Creación de entornos saludables en espacios cerrados en las escuelas: www.epa.gov/iaq/schools
- Más salud mediante el ahorro energético: Pautas de calidad del aire en espacios cerrados para mejoras edilicias en las escuelas:
www.epa.gov/iaq/schools/energy_savings_plus_health.html
- Pautas de ubicación de escuelas de la EPA: www.epa.gov/schools/guidelinetools/siting/download.html
- Exposición 5: Factores que influyen en las exposiciones y posibles riesgos:
www.epa.gov/schools/guidelinetools/siting/downloads/Exhibit_5_Factors_Influencing_Exposures_and_Potential_Risks.pdf
- Exposición 6: Detección de posibles riesgos ambientales, para la salud pública y la seguridad:
www.epa.gov/schools/guidelinetools/siting/downloads/Exhibit_6_Screening_Potential_Environmental_Public_Health_and_Safety_Hazards.pdf
- Sistemas de CVAA en las escuelas: www.epa.gov/iaq/schooldesign/hvac.html
- Programa de Autobuses Escolares Ecológicos de la EPA: www.epa.gov/cleanschoolbus/csb-overview.htm
- El rol de la vegetación en la disminución de las consecuencias en la calidad del aire de las emisiones del tráfico:
<http://archive.epa.gov/nrmrl/archive-appcd/web/pdf/baldauf.pdf>
- Programa de banderines de la escuela de la EPA: http://cfpub.epa.gov/airnow/index.cfm?action=flg_program.index

Otros recursos útiles:

- Consejo de Recursos Atmosféricos de California, Manual de Calidad del Aire y Uso de la Tierra:
www.arb.ca.gov/ch/handbook.pdf
- Distrito para la Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur. Problemas de calidad del aire en la elección del sitio para una escuela: Documento guía
www.aqmd.gov/docs/default-source/planning/air-quality-guidance/school_guidance.pdf
- Distrito para la Administración de la Calidad del Aire de la Costa Sur. Medidas de disminución para zonas cercanas a una ruta y materiales del foro tecnológico: www.aqmd.gov/home/library/technology-research/technology-forums
- Departamento de Educación de California, Guía de elección y aprobación del sitio para una escuela:
www.cde.ca.gov/ls/fa/sf/schoolsiteguide.asp
- Distrito Escolar Unificado de Los Ángeles, Criterios de distancia para el emplazamiento de una escuela:
www.lausd-oehs.org/docs/Misc/DistanceCriteriaTable%20Rev12_10_08.pdf
- Estándar 62.1-2013 de ASHRAE, Ventilación para una calidad aceptable del aire de espacios cerrados, 2013:
www.techstreet.com/ashrae/products/1865968
- Guía de la calidad de aire en espacios cerrados de ASHRAE: Prácticas recomendadas para el diseño, la construcción y la puesta en marcha, 2009:
www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/indoor-air-quality-guide

Oficina de Protección de Salud Infantil (1107A)
EPA-100-R-15-001
www.epa.gov
Noviembre de 2015

 Reciclado/Reciclable

Impreso en papel que contiene un mínimo de 50 % de fibra reciclada.

