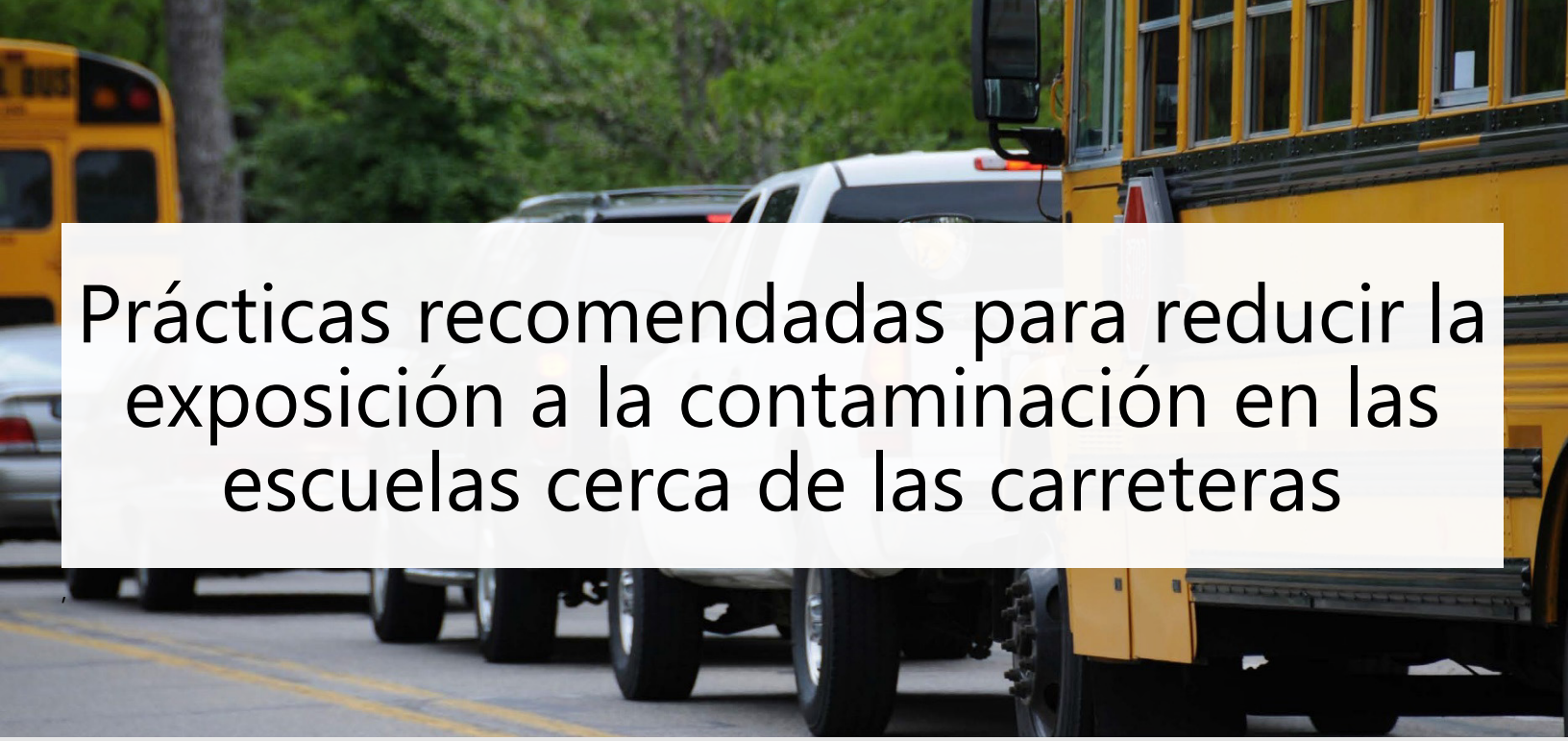
United States Environmental Protection Agency

Office of Transportation and Air Quality
EPA-420-R-23-001
February 2023

Prácticas recomendadas para reducir la exposición a la contaminación en las escuelas cerca de las carreteras



Prácticas recomendadas para reducir la exposición a la contaminación en las escuelas cerca de las carreteras

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

Richard Baldauf, Ph.D., P.E.
Oficina de Transporte y Calidad del Aire
Oficina de Investigación y Desarrollo
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
Washington, DC, Estados Unidos de Norteamérica

Ken Davidson, Sarah Sullivant y Idalia Pérez
Región 9
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
San Francisco, California. Estados Unidos de Norteamérica 94501

Chad Bailey
Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos
Oficina de Transporte y Calidad del Aire
Ann Arbor, Míchigan 48105

Olivia S. Ryder Ph.D. y Douglas S. Eisinger, Ph.D.
Sonoma Technology
Petaluma, California 94954

Dahlia Chazan
Arup North America Ltd.
San Francisco, California 94105

Índice

Introducción **1**

Objetivo de esta publicación 1

Público objetivo 1

Otros recursos de la EPA para las escuelas 1

Reducción de la exposición a la contaminación en las escuelas cerca de las carreteras **3**

Contaminación del aire cerca de las carreteras y la salud infantil 3

¿Cómo se puede reducir la contaminación en las escuelas cerca de carreteras? 5

Diseño estructural y estrategias de funcionamiento para reducir la exposición a la contaminación cerca de las carreteras 6

Ventilación, filtrado y calidad del aire interior en las escuelas 6

Acciones de los ocupantes de los edificios 12

Resumen 14

Estrategias relacionadas con el sitio para reducir la exposición a la contaminación cerca de las carreteras 16

Políticas de transporte 16

Ubicación y diseño del sitio 17

Barreras al costado de las carreteras 21

Medidas de calidad del aire 23

Resumen de recomendaciones **24**

Evaluación del sistema de ventilación y filtrado de una escuela **26**

Documentos relacionados **27**

Agradecimientos **28**

Introducción

Objetivo de esta publicación

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos creó este documento con el fin de ayudar a las comunidades escolares existentes y proyectadas, a identificar estrategias para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular. Esto en escuelas que están ubicadas a favor de la dirección del viento en rutas, vías, vialidades, calles o carreteras muy transitadas (por ejemplo, autopistas), en corredores que tienen transito elevado de camiones o cerca de fuentes importantes de contaminación del aire por partículas. Las escuelas del país ya usan muchas de estas estrategias para reducir la contaminación del aire relacionada con el tráfico vehicular.

Esperamos que esta compilación de prácticas recomendadas ayude a las escuelas que quieran adoptar medidas para abordar inquietudes relacionadas con la exposición a la contaminación generada por el tráfico vehicular.

Muchas de las prácticas recomendadas 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 por partículas, como terminales de trenes, puertos, instalaciones industriales e incendios forestales. Además, muchas de las prácticas recomendadas que se enfocan en la calidad del aire interior también pueden ser beneficiosas para reducir la exposición a los virus que se transmiten por el aire, como el coronavirus (que causa el COVID-19) u otros agentes patógenos respirables. Los recursos relacionados con el COVID-19 y la calidad del aire
se pueden encontrar en la Guía de recursos asociada.

En el caso de las escuelas ubicadas cerca de vías muy transitadas, las autoridades escolares deben comunicarse con la agencia de contaminación del aire local o estatal o con la oficina regional de la EPA para obtener ayuda con la evaluación de los impactos que la exposición a la contaminación del aire causada por el tráfico vehicular puede tener en la escuela. En el caso de las escuelas que se construyen en ubicaciones nuevas cerca de vías principales, consulte las Pautas de emplazamiento de escuelas de la EPA. El documento Pautas de emplazamiento de escuelas es un complemento de esta publicación e incluye información sobre la evaluación de los impactos de las fuentes cercanas de contaminación del aire, como autopistas y otras instalaciones de transporte, cuando se sitúan nuevas escuelas o se examinan escuelas existentes para hacer posibles renovaciones o mejoras. La evaluación del posible impacto de la contaminación del aire relacionada con el tráfico vehicular puede realizarse como parte de una evaluación ambiental general de la escuela.

Público objetivo

Esta publicación se diseñó dirigida a administradores escolares, gerentes de instalaciones, personal escolar, enfermeras escolares, centros de salud escolares, padres, estudiantes y otros integrantes de la comunidad escolar para abordar la exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico vehicular debido a la cercanía de la escuela con una carretera muy transitada o un corredor de camiones. Esta guía tiene como objetivo describir diversos enfoques posibles para reducir las exposiciones. La publicación también puede ser útil para esta misma audiencia ubicada cerca de otras fuentes de contaminación por gases y por partículas del aire, como terminales de trenes, puertos, instalaciones industriales e incendios forestales.

Otros sectores del público en general que pueden considerar que este recurso es pertinente para su trabajo incluyen organizaciones ambientales comunitarias y organizaciones de la salud; profesionales de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC, por sus siglas en inglés: *heating, ventilation, and air conditioning*), arquitectos, ingenieros de diseño y contratistas de la construcción que pueden aplicar los principios de este documento durante la ubicación, diseño y construcción de una instalación, y otros organismos federales, estatales, locales, tribales e internacionales.

Otros recursos de la EPA para las escuelas

El sitio web de la EPA ofrece muchos documentos y herramientas para ayudar a estados, distritos, escuelas, maestros, padres y alumnos a crear o mejorar 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 ubicar las escuelas hasta el mantenimiento de los edificios y predios. Algunos de estos recursos pueden abarcar estrategias que se analizan en esta publicación. Puede usar estos recursos exhaustivos para evaluar las acciones relacionadas con la salud ambiental de la 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 en las escuelas cerca de las carreteras

La exposición de los estudiantes de primaria y secundaria a la contaminación del aire generada por el tráfico vehicular mientras están en la escuela es una preocupación cada vez mayor porque muchas escuelas están cerca de rutas o vialidades 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 vehicular y ofrece estrategias para disminuir la exposición de los estudiantes en escuelas nuevas y existentes.

17,000 escuelas en áreas rurales y urbanas de los Estados Unidos están ubicadas dentro de los 250 metros (aproximadamente 820 pies) de una carretera con mucho tráfico vehicular.

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 rutas importantes a aquellas que tienen una clasificación de A1 (carretera principal con acceso limitado o autopista interestatal) o A2 (calle principal sin acceso limitado) según la clasificación de código de clase de elemento del Censo.

Contaminación del aire cerca de carreteras y la salud infantil

Las emisiones de los automóviles, camiones y otros vehículos con motor contribuyen directamente a las altas concentraciones de contaminantes cerca de las carreteras importantes. En algunas áreas, otras fuentes vinculadas al transporte, como trenes, embarcaciones y aviones, y también fuentes industriales pueden incrementar el problema de la contaminación local. Algunos ejemplos de contaminantes emitidos en forma directa incluyen material particulado (MP), monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y benceno, aunque hay cientos de sustancias químicas que emiten los

vehículos motorizados.

Los vehículos motorizados también emiten compuestos que provocan la formación de otros contaminantes en la atmósfera, como el dióxido de nitrógeno (NO_2), que se encuentra en concentraciones elevadas cerca de rutas importantes, y el ozono, que se forma aún más lejos de las emisiones a favor de la dirección del viento. Más allá de las emisiones de escape de los vehículos y de la evaporación, el tráfico vehicular de las carreteras también produce residuo del desgaste de los frenos y los neumáticos que pueden resuspenderse al aire.

En algunos estudios se demuestra que la concentración de contaminantes en el aire relacionados con el tráfico vehicular 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 exteriores e interiores.

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 infantil y consecuencias cardiovasculares en los adultos.

Ya sea en forma individual o en combinación, muchos de los contaminantes que están cerca de las carreteras están asociados con efectos adversos para la salud.

Las concentraciones de contaminantes emitidos por 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 concentración de fondo dentro de los 2,000 pies (aproximadamente 600 metros) de una carretera, dependiendo del contaminante, la hora del día y el terreno circundante.[1] Muchos científicos determinaron que las personas que viven, trabajan o asisten a una escuela que está cerca de rutas importantes están expuestas al riesgo de 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 infantil y consecuencias cardiovasculares en los adultos. En algunos estudios se demuestra que ciertos grupos étnicos y personas de posición socioeconómica baja suelen tener mayores problemas debido a las emisiones asociadas al tráfico vehicular.[2,3,4] La EPA llegó a la conclusión de que es probable que la emisión de los contaminantes producto de la combustión incompleta de diésel sea cancerígena para los seres humanos en niveles ambientales de exposición, y la Agencia Internacional de Investigación del Cáncer clasifica la emisión de diésel como un agente carcinógeno en los seres humanos.[5,6]

En el ámbito nacional, la prevalencia general del asma en los niños es de aproximadamente 8 %. El asma es una enfermedad respiratoria particularmente compleja con muchos factores genéticos y ambientales que interactúan e influyen en su aparición y gravedad. Hay numerosos estudios que relacionan cuatro contaminantes del aire comunes (material particulado, ozono a nivel del suelo, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre) con las enfermedades respiratorias en los niños. La mezcla de las fuentes de contaminación relacionada con el tráfico vehicular representa amenazas específicas para el sistema respiratorio infantil.[7] Los infantes también pueden estar expuestos a la contaminación del aire dentro de viviendas, escuelas y otros edificios. Los contaminantes del aire interior provenientes de fuentes biológicas (por ejemplo, moho, ácaros del polvo o escamas de las mascotas) pueden provocar reacciones alérgicas, exacerbar el asma existente, y se han asociado con la aparición de síntomas respiratorios. Para obtener más información, consulte **Niños estadounidenses y el ambiente (ACE)**.

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

- Tienen sistemas respiratorios que no están totalmente desarrollados. En algunos estudios se demuestra que la exposición a la contaminación del aire en la niñez puede generar una disminución en la función pulmonar.[8]
- Tienen Índices más elevados de exposición que los adultos porque son más activos y respiran más en proporción al tamaño de sus cuerpos.
- Generalmente, pasan más tiempo al aire libre que los adultos.

Los niños están mucho tiempo en la escuela, y casi 17,000 escuelas en áreas rurales y urbanas de los Estados Unidos están ubicadas dentro de los 250 metros (aproximadamente 820 pies) de una ruta con mucho tráfico vehicular.[9] Si bien en el ámbito nacional no hay una definición ni un límite para una "ruta con mucho tráfico vehicular", varias organizaciones denotan las rutas como "de alto volumen" cuando tienen más de 50,000 vehículos por día (Administración Federal de Carreteras y rutas en áreas rurales de California), 80,000 vehículos por día (Nueva York) y 100,000 vehículos por

[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] Rowangould, G.M. (2013) A census of the near-roadway population: public health and environmental justice considerations. *Trans Res D* 25: 59-67. http://dx.doi.org/10.1016/j.trd.2013.08.003

[3] Tian, N.; Xue, J.; Barzyk. T. M. (2013) Evaluating socioeconomic and racial differences in traffic-related metrics in the United States using a GIS approach. *J Exposure Sci Environ Epidemiol* 23: 215-222.

[4] Boehmer, T. K.; Foster, S. L.; Henry, J. R.; Woghiren-Akinnifesi, E. L.; Yip, F. Y. (2013) Residential proximity to major highways – United States, 2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report* 62(3): 46-50.

[5] https://www.iarc.who.int/pressrelease/iarc-diesel-engine-exhaust-carcinogenic/

[6] https://www.epa.gov/AirToxScreen/airtoxscreen-frequent-questions#mobile4

[7] Boothe, V. L. and Baldauf, R. W., 2020. Traffic emission impacts on child health and well-being. In *Transport and Children's Wellbeing* (pp. 119-142). Elsevier.

[8] 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 https://www.healtheffects.org/publication/traffic-related-air-pollution-critical-review-literature-emissions-exposure-and-health

[9] 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 rutas importantes a aquellas que tienen una clasificación de A1 (carretera principal con acceso limitado o autopista interestatal) o A2 (ruta principal sin acceso limitado) según el Código de Clase con característica de Censo.

día (carreteras en áreas urbanas de California).[10,11]

Las vías con volumen más bajo que tienen una gran cantidad de camiones, sin embargo, también pueden tener una elevada contaminación del aire que afecta la calidad cerca de estas. Además, los autobuses con motor diésel pueden ser una fuente importante de contaminación cerca de las escuelas si hay numerosos autobuses estacionados cerca de los edificios escolares cuando recogen y dejan a los estudiantes o dejan el motor en marcha por mucho tiempo.

La exposición a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular es una preocupación tanto en los espacios interiores como en los que están al aire libre; las concentraciones tienden a ser más elevadas en los espacios al aire libre, pero varios estudios revelaron que las concentraciones de contaminantes relacionados con el tráfico vehicular también pueden ser elevadas dentro de las aulas, donde la población estudiantil está la mayor parte de la jornada escolar.[12,13]

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

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

- ventilación deficiente;
- filtrado del aire ineficaz, mal mantenido o sin mantenimiento;
- cercanía con carreteras principales;
- puertas y ventanas abiertas que permiten el ingreso de aire contaminado del exterior durante las horas pico de tráfico vehicular;
- limpieza de las superficies de los espacios cerrados poco frecuente e incompleta;
- alta densidad poblacional en interiores

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

McCarthy M. C., Ludwig J. F., Brown S. G., Vaughn D. L. y Roberts P. T. (2013) Filtration effectiveness of HVAC systems at near-roadway schools. *Indoor Air*, 23(3), 196-207. Disponible en https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23167831/.

Este documento hace referencia a las siguientes estrategias de mitigación 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 sitio y el uso de barreras al costado de la carretera. Muchas de estas estrategias también pueden ser efectivas para reducir la exposición en las escuelas que están cerca de otras fuentes de contaminación por gases y por partículas del aire (por ejemplo, terminales de trenes, industrias e incendios forestales) y cerca de instalaciones que han aumentado el tráfico de camiones y automóviles (por ejemplo, depósitos, puertos). En el momento de la planificación, la implementación y la evaluación de las estrategias de atenuación, puede ser beneficioso reunir un equipo de trabajo interdisciplinario que se comprometa a garantizar un entorno saludable para los niños y el personal.[14]

[10] https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/strategies-reduce-air-pollution-exposure-near-high-volume-roadways

[11] https://www.fhwa.dot.gov/policyinformation/hpms/volumeroutes/ch5.cfm

[12] 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

[13] Mullen, N. A., Bhangar, 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

[14] Para obtener más información sobre el desarrollo de un equipo de proyecto, consulte las pautas Ahorro energético y Salud de la EPA (Apéndice A). Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2014). Ahorro energético y Salud: Indoor air quality guidelines for school building upgrades. En https://www.epa.gov/iaq-schools/protecting-iaq-during-school-energy-efficiency-retrofit-projects-energy-savings-plus

Durante las últimas décadas, las tecnologías y reglamentaciones de control de las emisiones generaron una gran disminución en las emisiones por vehículo. Las concentraciones de contaminantes de aire en el medioambiente también disminuyeron, aunque a un ritmo más lento, debido a que hubo un crecimiento tanto en la cantidad de vehículos como en la distancia recorrida por los vehículos. El gobierno y la industria siguen trabajando para reducir la cantidad de 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 vehicular. Algunas de estas estrategias tienen como objetivo reducir la exposición en los espacios interiores a nivel de cada edificio, mientras que otras apuntan a reducciones en los espacios interiores y abiertos en una escala más grande. Dado el impacto en la salud de los niños cuando aspiran MP (en especial, el MP de diésel, un elemento contaminante nocivo), el enfoque de este documento está en las estrategias que pueden usarse para disminuir la exposición al MP, aunque algunas técnicas puedan aplicarse también a gases contaminantes (por ejemplo, monóxido de carbono y benceno).

Diseño estructural y estrategias de funcionamiento para reducir la exposición a la contaminación cerca de una carretera

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

La ventilación adecuada de los edificios es fundamental para mantener la calidad saludable del aire interior, o de los 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 (HVAC) en el edificio. En algunos estudios se demostró 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 mayor asistencia a clase.[15]

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

Ventilación pasiva o natural

Recomendaciones

- Mantenga cerradas las puertas y ventanas durante las horas pico de tráfico vehicular (por ejemplo, la hora pico de la mañana y la noche).
- Minimice las fuentes de contaminación del aire en interiores.
- Utilice una unidad de filtrado autónoma o mejore el sistema de ventilación mecánica.
- Mantenga durante toda la jornada de la ocupación los índices mínimos de ventilación de aire externo (según lo requerido por el Código).

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, orificios alrededor de puertas y ventanas). Los sistemas pasivos se basan en la dilución de los contaminantes del aire mediante la mezcla del aire interior con el aire del exterior. Este método solo es efectivo si el aire exterior está menos contaminado que el aire interior.

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, ya que hay capacidad limitada para controlar el movimiento del aire. Las estrategias para reducir la exposición a la contaminación en aulas con ventilación natural incluyen la reducción de las fuentes de contaminación del aire en el interior[16] 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 de tráfico vehicular (consulte Acciones de los ocupantes del edificio a continuación para obtener más información).

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

[15] 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.

[16] https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/indoor-pollutants-and-sources

Ventilación mecánica

Recomendaciones

- Si fuera posible, use ventilación mecánica. Por lo general, las unidades de HVAC 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 cerramientos del edificio para evitar la infiltración de aire contaminado por las grietas que están alrededor de puertas, ventanas y conductos de HVAC.
  - Mantenga cerradas las puertas y las ventanas para evitar el ingreso del aire contaminado del exterior.
- Asegúrese de que los sistemas de HVAC tengan el mantenimiento adecuado y funcionen en forma correcta.
- Ubique las entradas de aire lejos de carreteras, edificios, zonas de descenso de pasajeros y de otras fuentes de contaminación, como las áreas designadas para fumar.

Los Centros para el Control y la 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. Consulte https://www.cdc.gov/healthyschools/health_and_academics/tobacco_product_use.htm para obtener más recomendaciones sobre la prevención del consumo de tabaco en las escuelas.

En los sistemas de ventilación mecánica, el aire circula por el edificio mediante ventiladores de toma o 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 una unidad de ventilación 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 del HVAC. Un equilibrio inadecuado en el sistema de HVAC de un edificio puede generar la presurización incorrecta de las instalaciones. La presión negativa permite el ingreso de contaminantes del exterior al edificio por los cerramientos de este, mientras que la presión positiva evita la infiltración 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 la aparición de moho, lo que representa un peligro ambiental con consecuencias para la salud, además de consecuencias estructurales. 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 el exterior.

Una consideración adicional en el momento de sellar los cerramientos de los edificios es asegurarse de que se mantenga una ventilación mecánica adecuada para que las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) no superen el límite interior recomendado de 1,000 ppm establecido por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE).[17] Hay estudios anteriores donde se demostró que esto puede ocurrir si el edificio es hermético y hay ventilación de mala calidad o no hay ventilación mecánica.[18]

La EPA recomienda[19] el uso de unidades de HVAC 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 eficacia.

Si bien las unidades centrales, por lo general, logran índices de intercambio de aire más elevados y una mejor calidad del aire interior, las certificaciones y los conductos necesarios tienden a aumentar el costo del sistema. Para obtener más información sobre los índices de intercambio de aire

[17] Estándares de ventilación de la ASHRAE para una calidad aceptable del aire en espacios interiores, https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2

[18] https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10962247.2019.1629362

[19] https://www.epa.gov/iaq-schools/heating-ventilation-and-air-conditioning-systems-part-indoor-air-quality-design-tools

recomendados, consulte los Estándares de ventilación de ASHRAE para una calidad aceptable del aire de espacios interiores. Un profesional de HVAC debe evaluar, limpiar y probar en forma periódica el sistema de conductos en los sistemas de ventilación central 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.

Filtrado

Recomendaciones

- En el caso de escuelas con sistemas de ventilación mecánica, se debe usar 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 HVAC.
- Considere mejorar el sistema de HVAC para poder utilizar el filtrado de alta eficiencia, por ejemplo, MERV-13 y superior, incluyendo la instalación de prefiltros si fuera necesario. El filtro con MERV-13+ puede atrapar partículas más pequeñas, incluidos los virus. Se prefiere el filtro con MERV-16+ cuando sea posible.
- Inspeccione y reemplace los filtros en forma periódica, según las recomendaciones del fabricante.
- Cuando se pueda, ubique las entradas de aire lejos de las fuentes de contaminación.
- Mantenga las salidas de aire sin elementos que puedan bloquear el flujo de aire.
- También piense en incluir un filtro de carbón activado para eliminar gases contaminantes.

A pesar de que la disolución de los contaminantes del aire mediante la ventilación es algunas veces adecuada, muchos edificios (incluso escuelas) requieren de otro tratamiento del aire para lograr una calidad del aire interior adecuada. En algunos estudios se demostró que el filtrado en las escuelas puede mejorar la calidad del aire interior al reducir las concentraciones de partículas en un 97 % con respecto a los niveles de los espacios al aire libre.[20] Para lograr el máximo rendimiento de los sistemas de filtrado se necesita lo siguiente:

- instalación adecuada;
- funcionamiento continuo;
- cerramiento hermético del edificio (es decir, escapes de aire mínimos);
- distribución eficaz del aire;
- colocación cuidadosa de las entradas y salidas de aire para que estén alejadas de las vías principales y para evitar la entrada de aire en la escuela desde los estacionamientos donde los autobuses y los vehículos dejan el motor en marcha;
- garantía de que las salidas de aire estén libres de elementos que puedan bloquear el aire filtrado y evitar que este llegue a la habitación;
- mantenimiento periódico, que incluye el reemplazo de los 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 ingresan por los conductos de aire de retorno que, por lo general, están ubicados en el 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 o ventanas abiertas, a través de fugas en los cerramientos del edificio, provenientes de fuentes interiores o debido al polvo que se levanta del suelo).

Normalmente, el filtrado del aire de los espacios interiores se incorpora al sistema de HVAC del edificio, aunque existen purificadores de aire portátiles y autónomos. Ambos tipos de sistema usan filtros que eliminan los contaminantes del aire según el tamaño de las partículas.[21]

[20] 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

[21] Algunos purificadores de aire portátiles y autónomos usan tecnologías alternativas para eliminar los contaminantes, como

Aulas portátiles

Debido a la naturaleza estructural de los edificios de aulas portátiles y móviles, pueden ser propensos a tener varios problemas, como el mal funcionamiento de los sistemas de HVAC, los sistemas de ventilación ruidosos, la entrada de agua y la aparición de moho, la contaminación proveniente de estacionamientos cercanos o de las zonas de carga en las que suelen estar ubicados y los cerramientos de los edificios sellados de manera menos segura.

Las recomendaciones para mejorar la calidad del aire en aulas portátiles son las siguientes:

- Ubicar las aulas portátiles alejadas de las carreteras principales o de las zonas de autobuses donde se puede dejar el motor en marcha.
- Usar unidades de filtro autónomas y portátiles en aulas que no están equipadas con un sistema de filtrado central.
  - Se debe tomar la precaución para garantizar que sean adecuadas para la ocupación y el tamaño de la habitación.
- Si se consiguen unidades de filtrado que van en las ventanas, usar el filtro con la calificación MERV más alta que admita el sistema le permite:
- Mejorar los sistemas de HVAC o de filtrado existentes para que admitan filtros con calificación MERV superior
- Colocar las unidades de HVAC y climatizador alejadas de las áreas de enseñanza para minimizar el ruido
- Hermetizar el cerramiento del edificio y
  - asegurase de que haya ventilación total suficiente para encarar problemas de moho y mantener los niveles apropiados de humedad

Para obtener más información sobre las pautas para establecer y mantener la calidad del aire interior en aulas portátiles, consulte la sección Aulas portátiles en el sitio web de herramientas de diseño de la calidad del aire de los interiores para escuelas.

El grado de mejora de calidad del aire interior a partir del filtrado depende de la calificación del Valor Mínimo de Información de Eficiencia (MERV, por sus siglas en inglés: *Minimum Efficiency Reporting Value*) 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 vehicular 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. También es importante destacar que los filtros que no tienen calificación MERV solo se suelen usar para proteger el equipo de HVAC y no proporcionan beneficios de calidad del aire.

Las escuelas que tienen previstos proyectos de mejora de eficiencia energética pueden tener en cuenta mejoras simultáneas para mejorar la calidad del aire interior.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2014). *Energy savings plus health: Indoor air quality guidelines for school building upgrades.* Disponible en https://www.epa.gov/iaq-schools/protecting-iaq-during-school-energy-efficiency-retrofit-projects-energy-savings-plus

A través de estudios en los que se analizan los sistemas de filtrado en las escuelas se determinó que todos los tipos de sistemas de filtrado de contaminación del aire mejoran las condiciones de calidad del aire dentro de las aulas y pueden usarse para reducir la exposición a contaminantes

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 purificadores de aire están diseñados para generar ozono en forma intencional y no son recomendables. 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 https://ww2.arb.ca.gov/list-carb-certified-air-cleaning-devices.

relacionados con el tránsito en los espacios interiores. Los sistemas de HVAC centrales que cuentan con filtros MERV tienden a ser más efectivos que los sistemas de unidad (por ejemplo, unidades de ventana) con filtros. En las escuelas que tienen sistemas de HVAC central, los filtros de eficiencia media (MERV de 6 o 7) tienden a reducir las concentraciones de partículas en 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 en un 74 % a un 97 % con respecto a las concentraciones en el exterior.[22] 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 HVAC central y pueden lograr una eficiencia de eliminación casi de un 90 %.[23] Sin embargo, el rendimiento depende de la cantidad de aire que pueda procesar la unidad y de 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 HVAC. No obstante, hay unidades autónomas más silenciosas que cumplen con los requisitos de nivel de ruido para un equipo de aula nuevo.[23]

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 determinó 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%.[23]

Es importante mantener el rendimiento del filtrado del sistema de HVAC a través del 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. Supervisar 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 en el sistema.

Es probable que algunas escuelas puedan incorporar filtrado de alta eficiencia en su sistema de HVAC existente. Sin embargo, no todos los sistemas de HVAC son compatibles con los filtros que tienen calificación MERV alta. Por ejemplo, se debe tener en cuenta el tamaño del rack del filtro; algunos filtros con calificación MERV más alta son demasiado gruesos para encajar en los racks de filtros existentes, y algunos sistemas de HVAC pueden carecer de la potencia suficiente para impulsar adecuadamente el aire a través de filtros más eficientes. 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 en la presión. Por ejemplo, el programa de filtrado de aire en las escuelas 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 HVAC. 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

[22] 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

[23] 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

por año en lugar de cada cuatro meses.[24] Según sea el sistema de HVAC, la instalación del filtro con la calificación MERV más alta que admita el sistema actual puede ser una manera económica de mejorar la calidad del aire interior. En otros casos, mejorar o reemplazar el sistema de HVAC existente puede ser necesario para mejorar la potencia 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** integrado para monitorear 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. Un profesional debe instalar los sensores de aire para monitorear la ventilación.

Purificadores de aire en interiores

Recomendaciones

- Elija una unidad que sea adecuada para el tamaño de la habitación donde se utilizará.
- Elija una unidad que permita eliminar partículas o compuestos orgánicos volátiles según la necesidad.
- 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.
- Donde se pueda, ubique las entradas del purificador de aire lejos de las fuentes de contaminación para lograr la eficacia máxima.
- Asegúrese de obtener una eficiencia energética máxima eligiendo una unidad portátil con designación ENERGY STAR de la EPA.

Además de reducir las fuentes de contaminantes del aire y tener una ventilación adecuada, el filtrado del aire ayuda a reducir la contaminación del aire interior. Si el filtrado de aire de HVAC no está disponible o si se requiere filtrado adicional, los purificadores de aire portátiles podrían ser una opción adecuada. Los purificadores de aire portátiles están diseñados para ayudar a reducir la contaminación del aire interior en un área específica o en una sola habitación.[25]

Hay varios factores que se deben tener en cuenta cuando se elige un purificador de aire portátil adecuado para un espacio dado. A saber:

- Asegurarse de que la unidad sea adecuada para el tamaño de la habitación en que se utilizará; para ello, verifique su índice de suministro de aire limpio (CADR).[26]

  Nota: Para eliminar MP mediante el uso de purificadores de aire portátiles, elija las unidades que tengan una calificación de CADR para el "humo."[27]
- Decidir si la unidad debe eliminar los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y las partículas. De ser así, podría ser necesario elegir un filtro con carbón activado. Los filtros de VOC son útiles en las escuelas que están cerca de un tráfico intenso de vehículos de pasajeros; donde la limpieza y el

[24] 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

[25] Guía de la EPA sobre purificadores de aire y filtros de aire: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/air-cleaners-and-air-filters-home

[26] CADR (por sus siglas en inglés: *Clean Air Delivery Rate*), según lo describe la ASHRAE, es el índice de eliminación de partículas del aire que pasa por un filtro y es aproximadamente igual al producto del índice de flujo de aire y la eficiencia en la eliminación de contaminantes. Para obtener más información, consulte el documento de la posición de la ASHRAE sobre filtrado y limpieza del aire: https://www.ashrae.org/File%20Library/About/Position%20Documents/filtration-and-air-cleaning-pd-Feb.2.2021.pdf.

[27] https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-09/documents/harriman_stephens_brennan_-_new_guidance_for_residential_air_cleaners_-_ashrae_journal_sept-2019._web_version.pdf

mantenimiento de interiores implican el uso de disolventes; donde los marcadores para pizarra blanca de borrado en seco emiten fuertes olores; o donde hay otras fuentes de contaminación en interiores o exteriores que implican el uso de productos químicos o de combustibles líquidos.

- Asegurarse de que se use el limpiador con menor índice de ruido si el ruido va a ser un problema.
- Se debe considerar la colocación del purificador de aire portátil para lograr la máxima eficacia.
- Elegir un purificador de aire portátil que tenga designación ENERGY STAR de la EPA para conservar la energía y optimizar la eficiencia.
- Para obtener más información sobre estos factores y otras consideraciones importantes, consulte la **Guía de la EPA sobre purificadores de aire**. Se debe tomar la precaución para garantizar que se realice el mantenimiento periódico en los purificadores de aire portátiles, según las indicaciones del fabricante. También es importante tener en cuenta que una mayor cantidad de horas de funcionamiento del purificador de aire proporciona una mejor eliminación de partículas, lo que, a su vez, aumenta el potencial de beneficios para la salud.[28]

Acciones de los ocupantes del edificio

Recomendaciones

Capacite a los maestros, al personal escolar y a los alumnos (cuando corresponda) en las prácticas recomendadas sobre ventilación, que incluyen lo siguiente:

- 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 tráfico vehicular.*
- Mantener encendidos los sistemas de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC) 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 contaminantes en interiores y cómo reducir las emisiones de dichas fuentes.
- Planificar actividades de esfuerzo al aire libre durante momentos con poco tráfico vehicular.
- Tener en cuenta de qué manera se usan los edificios escolares los fines de semana y por lo cual se puedan requerir cambios en el funcionamiento del sistema de HVAC. Esto puede incluir lo siguiente:
  - eventos deportivos en instalaciones deportivas;
  - educación para adultos;
  - clases que se dictan los fines de semana.

* Respete recomendaciones locales, escolares y del Departamentos de Salud sobre la ventilación externa debido a las condiciones de la pandemia.

Las acciones de los ocupantes del edificio pueden afectar enormemente la exposición a la contaminación cerca de una carretera en ambientes cerrados. Por ejemplo, abrir las puertas

[28] Guía de la EPA sobre purificadores de aire y filtros de aire: https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/air-cleaners-and-air-filters-home

y ventanas para la ventilación de las aulas permite el ingreso de aire contaminado y anula los beneficios en la calidad del aire de un sistema de filtrado de HVAC. Mantener cerradas las puertas y ventanas tiene una importancia especial durante períodos de tráfico vehicular pico (por ejemplo, en las horas pico de la mañana y la noche) cuando las concentraciones de contaminantes cerca de carreteras son, por lo general, las más elevadas. Aunque el aula es un ambiente que debe ser poco ruidoso, es importante que los sistemas de HVAC 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 vehicular, es importante observar que las fuentes de espacios interiores pueden tener un gran impacto (e incluso dominar) las concentraciones de MP y gases contaminantes en el interior. Las fuentes de espacios cerrados incluyen fuentes de combustión, humo de segunda mano, polvo (MP) de la actividad de los alumnos y emisiones (de gases), 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). Las fuentes de contaminación en interiores deben reducirse en la medida posible y también deben tenerse en cuenta en el momento de planificar mejoras en la ventilación, métodos de filtrado y otras estrategias de atenuación.

Generar conciencia sobre las cuestiones de la calidad del aire interior y al exterior y proporcionar capacitación al personal sobre las prácticas óptimas de funcionamiento del edificio (que incluyen el funcionamiento del HVAC) son estrategias económicas que complementan las mejoras en el sistema de ventilación y filtrado y en el diseño edilicio y del sitio. La EPA tiene muchos recursos para abordar el manejo de la calidad del aire interior (IAQ, por sus siglas en inglés: *indoor air quality*) en las escuelas, incluidas las herramientas de IAQ para el programa escolar. Este programa ofrece una estructura fácil de usar y un conjunto de herramientas para capacitar al personal sobre el manejo de la IAQ, y se puede encontrar, junto con otros recursos escolares, en el **sitio web de IAQ de la EPA para escuelas**. La capacitación se recomienda como una estrategia complementaria y no debe considerarse como una alternativa a las mejoras de ventilación.

La exposición al aire libre puede reducirse si las actividades se programan con coordinación del tiempo para evitar los horarios de contaminación pico. A menudo, la contaminación de ozono es peor en los días calurosos y soleados, en especial durante la tarde y las primeras horas de la noche. La contaminación por partículas puede ser elevada en cualquier momento del día, pero los niveles más altos están cerca de los automóviles, camiones y autobuses que están en marcha estacionados y en carreteras transitadas, en particular durante las horas pico. Si fuera posible, planifique las actividades de esfuerzo al aire libre en un horario que no sea pico ni de llegada y retiro de alumnos y considere realizar las actividades lejos de las carreteras y zonas de carga. Hay recursos disponibles que les permiten a los maestros tener previsto cuándo los alumnos deben permanecer en lugares cerrados según la calidad del aire actual.[29] Además, muchas escuelas implementan el **Programa de Banderines sobre la Calidad del Aire** para generar conciencia del índice de calidad del aire diario (AQI, por sus siglas en inglés: *Air Quality Index*). Para planificar 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 **AirNow**.

[29] Guía para los descansos en las escuelas de Utah, https://health.utah.gov/asthma/airquality/recess.php

Resumen

Las necesidades de ventilación y filtrado varían según la escuela y la ocupación, la cercanía de las carreteras u otras fuentes de contaminación y la prevalencia de las fuentes en 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 vehicular, el personal escolar puede comenzar por realizar una evaluación preliminar. **En este documento 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 atenuación que sean adecuadas para el sistema. La Tabla 1 ofrece estrategias de atenuación para diferentes tipos de sistemas de ventilación que, por lo general, están en las aulas.

Tabla 1. Estrategias de atenuación para diferentes tipos de sistemas de HVAC y ventilación. A la derecha, se enumeran los tipos de sistema de HVAC o de ventilación, por lo general, desde los menos eficaces hasta los más eficaces, y se enumeran las estrategias de atenuación desde las más simples (y menos costosas) de implementar hasta aquellas que requieren un mayor nivel de esfuerzo.

Tipo de ventilación / HVAC	Estrategias de atenuación					
	Educar al personal	Sellar el edificio	Ajustar entrada de aire	Usar filtrado	Mejorar el sistema	
Sistema de HVAC 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 están cerca fuentes de contaminación (por ejemplo, carreteras, zona de descarga, estacionamiento)	Usar filtros MERV-16 o superior Usar prefiltros		Más eficaz
Sistema de HVAC 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 están 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	
Unidad de HVAC para una sola aula (por ejemplo, unidad de ventilación)	✓	✓	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 HVAC central	
Ventilación pasiva o natural	✓	Puede ser una opción si la ventilación adecuada para diluir y eliminar los contaminantes de las fuentes de espacios cerrados es un desafío.	Evitar el ingreso de aire durante períodos de mucho tráfico vehicular	Usar un sistema de filtrado autónomo y portátil	Cambiar a un método de ventilación mecánica	

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

Políticas de transporte

Recomendaciones

- Evite que se deje en marcha el motor de los autobuses escolares estacionados mediante el establecimiento de políticas que prohíban o reduzcan esta práctica.
- Mejore las flotas de autobuses escolares de las siguientes formas:
  - 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 mejores tecnologías en autobuses, como energía eléctrica o combustibles alternativos, que incluyen LPG, GNC y LNG.
- Analice las oportunidades de financiamiento para renovar 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.

Establecimiento de políticas que prohíban los motores de vehículos estacionados en marcha y de reducción de esa práctica

Un autobús y un vehículo de pasajeros en funcionamiento o en marcha estacionados pueden producir una gran cantidad de MP y otros contaminantes del aire. Algunas escuelas, estados y localidades han establecido políticas que prohíben o reducen esta práctica con el fin de disminuir el impacto de la contaminación que generan los autobuses y vehículos de pasajeros cerca de las escuelas. Dichas políticas generan una gran reducción en las concentraciones de partículas, en especial en las escuelas a las que llegan varios autobuses escolares con motor diésel. Para obtener más información, consulte el kit de herramientas para escuelas sin motores en marcha.

Mejoramiento de las flotas de autobuses

La contaminación que generan los autobuses escolares también puede reducirse al mejorar las flotas de autobuses. El reemplazo de la flota de autobuses escolares con motor diésel es bajo, y las unidades funcionan, en general, durante entre 20 y 30 años. Los autobuses más antiguos emiten niveles elevados de MP y otros 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.[30] Las emisiones pueden reducirse mediante la 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.

Las emisiones pueden disminuir si se usan combustibles alternativos. Algunos ejemplos incluyen los motores certificados para funcionar con combustibles alternativos, como gas licuado de petróleo (GLP), gas natural comprimido (GNC) y gas natural licuado (GNL). Un beneficio adicional de renovar los autobuses escolares más antiguos para los niños que los utilizan como transporte es la reducción de la exposición dentro del vehículo. Analice las posibles opciones de financiamiento para renovar la flota de autobuses con la agencia estatal o local de calidad ambiental o de aire.[31]

[30] https://www.edf.org/sites/default/files/cleanbuses_14_screen.pdf

[31] Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. (2010). Clean school bus. Disponible en https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/CleanSchoolBus.pdf

Incentivar la movilidad activa

Fomentar la movilidad activa, como trasladarse caminando y en bicicleta a las escuelas, ayuda a reducir la contaminación relacionada con el tráfico vehicular al disminuir la cantidad de autobuses y vehículos de pasajeros que están cerca de la escuela. Por ejemplo, la habilitación de senderos para caminar o andar en bicicleta en la Escuela Media Roosevelt de Eugene, en Oregón, redujo los volúmenes de tráfico vehicular cerca de la escuela en un 24 %[32]

Si bien el transporte activo puede colaborar con la mejora de la calidad del aire en los entornos escolares, los alumnos que caminan o van en bicicleta pueden estar expuestos a la contaminación de la ruta y otros peligros del tráfico vehicular 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 rutas con volúmenes más bajos de tráfico vehicular ayuda a reducir la exposición a la contaminación y los peligros de seguridad.[32]

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 rutas más seguras para que los alumnos puedan trasladarse a pie y en bicicleta a la escuela. 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.[33] Cuando se piense en las rutas para caminar y andar en bicicleta que conducen a la escuela, es importante tener en cuenta los impactos en la seguridad vial y personal, la iluminación, el acceso y los requisitos de mantenimiento. En el sitio web de los **Programas de Rutas Seguras hacia la Escuela** del Departamento de Transporte de EE. UU. se proporcionan varios enlaces a recursos, como la **Asociación Nacional de Rutas Seguras hacia la Escuela**, que contiene información acerca de programas que promueven caminar o andar en bicicleta hacia la escuela.

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 vecindarios aptos para el traslado a pie son, por lo general, más activas a nivel físico que aquellas que viven en vecindarios que no tienen estas condiciones. Fomentar el caminar y el uso de la bicicleta para ir a la escuela por rutas o caminos que tienen volúmenes bajos de tráfico vehicular (con respecto a otras rutas) 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 contaminantes del aire.

Ubicación y diseño del sitio

Recomendaciones

- En el caso de planificar escuelas nuevas, tenga en cuenta las ubicaciones que estén alejadas de las carreteras principales y otras áreas con mucho tráfico vehicular de camiones, pero aún dentro de la comunidad.
- 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 carretera.
- Ubique las zonas de carga de autobuses y vehículos de pasajeros lejos de las aulas, las áreas de juego y las entradas de aire del edificio.

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, establecieron pautas

[32] 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

[33] National Center for Safe Routes to School. (2013). Starting a walking school bus. Disponible en http://www.walkingschoolbus.org

de emplazamiento para escuelas nuevas; dichas pautas recomiendan reducir la exposición a la contaminación del aire relacionada con el tráfico vehicular (**Tabla 2**).

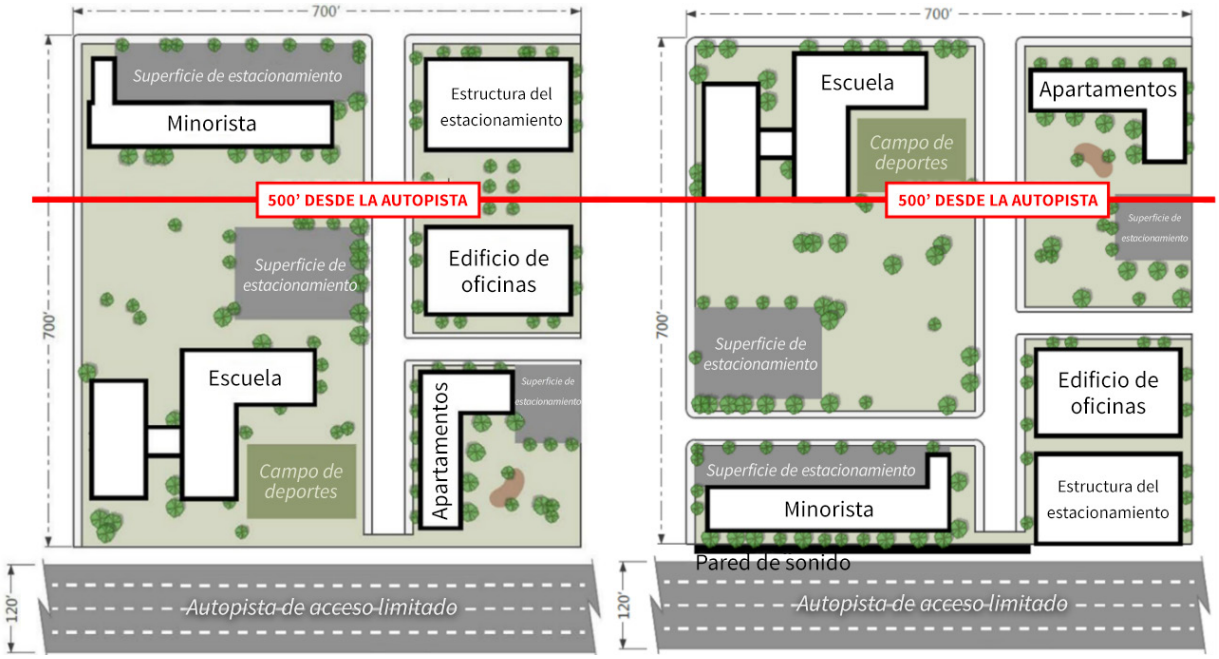
Tabla 2. Documentos de emplazamiento de escuelas desarrollados por varias agencias.

Agencia	Guía	Resultados clave
EPA de EE. UU.	Pautas de Emplazamiento de Escuelas (2011)	Recomienda tener en cuenta muchos factores en el 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 contaminantes del aire durante el traslado de los alumnos, posibilidades de atenuación en el sitio y posibilidad de acceso a pie o en bicicleta.
Junta de Recursos de Aire de California	Estrategias para reducir la exposición a la contaminación del aire cerca de carreteras de alto volumen (2017)	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 2,500 pies de carreteras importantes por donde se transportan explosivos y a una distancia mínima de 1,500 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 orientativo (2005, actualizado en 2007)	Recomienda una zona intermedia de no menos de 500 pies y un máximo de 1,000 pies entre las escuelas y las carreteras principales.
Estado de Oregón	Manual de emplazamiento de escuelas (2005)	Recomienda que las escuelas se ubiquen lejos de caminos y carreteras arteriales principales, ya que implican peligro al cruzar y reducen el acceso seguro a las escuelas a pie y en bicicleta. Asegúrese de establecer buenas conexiones entre la escuela y los vecindarios cercanos para fomentar el caminar y andar en bicicleta para ir a la escuela.
Departamento de Salud de Ohio	Emplazamiento Inteligente de Escuelas (2018)	Recomienda elegir lugares remotos para el descenso de los alumnos, ubicar los estacionamientos más lejos de la escuela y crear entradas separadas para los medios de transporte motorizados y no motorizados.

Aunque las pautas de California recomiendan que las escuelas nuevas deben ubicarse al menos a 500 pies de carreteras principales (aquellas que tienen >50,000 vehículos por día en áreas rurales o >100,000 vehículos por día en áreas urbanas), las[34] **Pautas de emplazamiento 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 carretera importante que requiere de traslados prolongados en autobús o en automóvil puede generar una exposición general más elevada para los alumnos en comparación con el sitio de una escuela que está cerca de una carretera importante desde la cual no se necesitan traslados prolongados.[35] 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, patios de juegos, campos deportivos, oficinas e instalaciones de mantenimiento y almacenamiento. En el caso de las escuelas nuevas o renovadas cerca de carreteras, es probable que existan oportunidades de reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular mediante el diseño minucioso del sitio. Al ubicar ciertos usos del terreno, como instalaciones de mantenimiento, almacenamiento, estacionamiento y oficinas, se ubican en un área cercana a una carretera, y las aulas y áreas de juego pueden ubicarse más lejos de la carretera, en áreas donde las concentraciones de 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 de diésel, tales como depósitos, rutas de camiones, terminales de trenes y puertos.

La exposición a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular también puede reducirse si las fuentes relacionadas con el transporte en el lugar, en especial los lugares de subida y bajado 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.



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 roja).

[34] https://ww2.arb.ca.gov/resources/fact-sheets/strategies-reduce-air-pollution-exposure-near-high-volume-roadways

[35] Wolfe, M. K., McDonald, N. C., Arunachalam, S., Baldauf, R. and Valencia, A., 2020. Impact of school location on children's air pollution exposure. *Journal of Urban Affairs*, pp.1-17

Barreras al costado de la carretera

Recomendaciones

- Use una barrera sólida para el costado de la carretera y/o vegetación para bloquear los contaminantes relacionados con el tráfico vehicular y evitar que influyan en la calidad del aire cercano a la escuela junto a autopistas o vías locales muy grandes.
- Minimice los orificios en las barreras sólidas y de vegetación del costado de la carretera.
- En el caso de las barreras de vegetación, use especies siempre verde con plantas maduras y densas (se prefieren coníferas) y ubique la barrera a favor de la dirección del viento y cerca de la autopista.
- Consulte con un especialista o utilice uno de los recursos identificados en el texto de este documento para elegir especies que no cambien según la estación (por ejemplo, las coníferas) y que sean adecuadas para la región y el sitio.
- La vegetación se debe mantener adecuadamente para garantizar su buen estado y evitar que se formen orificios.

Barreras sólidas

Las concentraciones de contaminantes detrás de la barrera sólida ubicada a favor de la dirección del viento de una carretera, por ejemplo, un muro o una valla sólidos, por lo general, son más bajas que las concentraciones en ausencia de una barrera. En algunos estudios se demuestra que las reducciones en las concentraciones de 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 sólida bien diseñada pueden estar entre el 15 % y el 50 %.[36,37,38]

La efectividad de las barreras sólidas en la disminución de la exposición a la contaminación cerca de las carreteras

En situaciones en las que las autoridades escolares no tienen jurisdicción ni propiedad con respecto al entorno inmediato a la carretera, analice el uso de barreras al lado de la carretera para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular junto con la autoridad competente (por ejemplo, el Departamento Estatal de Transporte, el Departamento de Planificación de la Ciudad).

depende de la configuración de la carretera, la meteorología local y la altura, el diseño y la ubicación del extremo de la barrera. Por ejemplo, las concentraciones de contaminantes pueden ser más elevadas a favor de la dirección del viento de una pared si existen orificios en la pared que permitan el paso de contaminantes. Las barreras sólidas pueden tenerse en cuenta para escuelas que están cerca de autopistas y otras vías muy transitadas y de alto tráfico vehicular.

[36] 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.
[37] Baldauf, R. W., Isakov, V., Deshmukh, P., Venkatram, A., Yang, B., and Zhang, K. M., 2016. Influence of solid noise barriers on near-road and on-road air quality. *Atmospheric Environment*, 129, 265-276
[38] Lee, E. S., Ranasinghe, D. R., Ahangar, F. E., Amini, S., Mara, S., Choi, W., Paulson, S. and Zhu, Y., 2018. Field evaluation of vegetation and noise barriers for mitigation of near-freeway air pollution under variable wind conditions. *Atmospheric Environment*, 175, 92-99

Vegetación

Los árboles y las plantas que están a lo largo de la carretera pueden reducir las concentraciones de partículas y de algunos gases contaminantes porque actúan como una barrera física entre las carreteras y las escuelas (de hecho, son similares a las paredes sólidas y vallas) o filtran las partículas que los atraviesan y se acumulan en la superficie de las hojas. La cantidad de eliminación depende de las especies de plantas, el tipo y tamaño de la hoja y del tipo de contaminantes.

La efectividad de los árboles y plantas como barreras físicas también depende de la densidad y la altura de la vegetación. En general, las especies de hoja perenne suelen ser más eficaces que las de hoja temporal porque mantienen su verdor durante todo el año, y el verdor cubierto de cera y en forma de aguja de las coníferas suele ser más eficaz que el de los árboles de hoja ancha. Los índices de eliminación de partículas son más altos cuando la vegetación está cerca de la fuente de contaminantes y cuando la velocidad del viento es baja.

Los tipos de vegetación elegidos para las barreras del costado de la carretera 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 15 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 orificios 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. Los tipos de vegetación elegidos no deben ser emisores de contaminación aérea ni tener altos niveles de producción de polen.

Las escuelas pueden usar las **Recomendaciones** de la EPA junto con la **herramienta i-Tree Species** del Departamento de Agricultura de EE. UU. (USDA) para comenzar el proceso de designar y elegir la vegetación adecuada para las barreras, con el asesoramiento previo de especialistas de viveros, extensiones de cooperativas locales, el Gobierno de la Ciudad o el Servicio de Forestación de EE. UU. Toda la vegetación que se ubicará cerca de la carretera debe cumplir con las pautas de seguridad estatales y locales.

> Se ha demostrado que el uso combinado de vegetación y barreras sólidas es prometedor para reducir en un 60 % la contaminación de los vehículos si se ubican a favor de la dirección del viento con respecto a las carreteras.
>
> 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

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 carretera si existen orificios en la vegetación, como árboles que faltan o están muertos o falta de cobertura desde el suelo hasta la parte superior de la vegetación. En cualquier caso, la vegetación puede usarse como una zona media para separar a las personas de la carretera y, al mismo tiempo, crear un espacio más atractivo y con sombra que favorezca el transporte activo (a pie y en bicicleta) como alternativa al uso de vehículos.[39]

[39] 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.

Medidas de calidad del aire

Sensores de aire

La calidad del aire interior y exterior se puede medir con sensores de aire. En comparación con los monitores de grado reglamentario, los sensores de aire no reglamentarios suelen requerir una menor inversión, son portátiles y más fáciles de operar. Hay muchos sensores de aire disponibles para la compra, lo que podría causar confusión sobre los beneficios y la precisión de cada opción.[40] Para ayudar a los interesados a utilizar sensores como parte de los proyectos de monitoreo del aire, la EPA, el Centro de evaluación del rendimiento de sensores de calidad del aire (AQ-SPEC) y otras organizaciones realizan evaluaciones del rendimiento de determinados sensores de aire del mercado, en condiciones ambientales y fijas o en una cámara de exposición controlada de laboratorio.[41,42] En estas evaluaciones, se valora cómo miden los contaminantes del aire en términos de precisión y confiabilidad, así como lo fáciles que son de usar. Además, la EPA recomienda el **Protocolo de objetivos y pruebas de rendimiento de sensores de aire** para ayudar a los usuarios a comprobar sistemáticamente los dispositivos de sensores de aire, calcular las métricas de rendimiento, informar sistemáticamente los resultados de las pruebas y evaluar el rendimiento de los sensores utilizando los valores objetivos recomendados. Para obtener más información sobre la evaluación y el rendimiento de sensores, consulte la página de **Resultados de las evaluaciones de sensores de la EPA** y **AQ-SPEC**. Para obtener más información sobre el funcionamiento de los sensores y la interpretación de los datos, consulte la **Caja de herramientas de sensores de aire de la EPA**.

Una de las aplicaciones para las que podrían utilizarse los sensores de aire es para controlar el interior de los edificios escolares. Si bien el rendimiento de los sensores de manera individual puede variar y todavía se están evaluando los estudios sobre la precisión de la medición en ambientes interiores, los resultados pueden usarse para comprender la posible presencia o las tendencias de determinados contaminantes. Por ejemplo, los sensores de aire se pueden usar en las escuelas para ayudar a conocer los contaminantes dentro de las aulas, los pasillos u otras áreas. A grandes rasgos, hay dos tipos de sensores de aire: los sensores de aire estacionarios (fijos en un lugar) y los sensores portátiles o de mano. Los sensores estacionarios pueden ayudar al usuario a entender cómo cambian los niveles de contaminación en un lugar durante la jornada escolar. Los sensores de aire portátiles pueden ayudar a los usuarios a identificar los puntos de concentración alta en interiores. Otro uso de los sensores de aire portátiles es para investigar la exposición a la contaminación personal en el camino hacia la escuela o hacia el trabajo y usar la información para trazar una ruta de menor contaminación. Los dos tipos de sensores de aire se pueden usar en proyectos educativos y pueden ayudar a crear consciencia con respecto a la calidad del aire interior y exterior.

Es importante tener en cuenta que los sensores de aire son monitores de calidad del aire de grado no regulatorio y, por lo tanto, se deben usar para monitoreo informativo y complementario no regulatorio. Es posible que necesiten calibrado o mantenimiento periódico. Consulte el manual del fabricante o la caja de herramientas de sensores de aire de la EPA para ver instrucciones sobre los procedimientos de mantenimiento y calibrado adecuados a fin de garantizar que los datos del sensor de aire sigan siendo de alta calidad.

[40] https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox
[41] https://www.epa.gov/air-sensor-toolbox/evaluation-emerging-air-sensor-performance
[42] http://www.aqmd.gov/aq-spec

Resumen de recomendaciones

La Tabla 3 resume las estrategias de atenuación que pueden usarse para reducir la exposición a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular en las escuelas, que incluye los requisitos del sistema de HVAC o de ventilación, los beneficios, las desventajas y la importancia para las escuelas nuevas o existentes. Tenga en cuenta que algunas de estas estrategias de atenuación solo servirán para reducir la exposición a la contaminación en los espacios cerrados (por ejemplo, el filtrado) o solo reducirán en forma efectiva algunos contaminantes (por ejemplo, el MP), pero no otros (por ejemplo, los compuestos orgánicos volátiles). Estas estrategias de atenuación reducen los riesgos, pero no los eliminan. Los beneficios de la atenuación son estimaciones, y los costos reales pueden variar según la ubicación, la infraestructura de filtrado existente y otros factores.

Tabla 3. Resumen de estrategias de atenuación.

Estrategia	Tipo de sistema de HVAC o ventilación	Beneficios	Desventajas	Beneficio de la atenuación	Costo de capital	Costo continuo
Educar al personal sobre la ventilación y las prácticas recomendadas de calidad del aire interior.	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 interior; potencial de prolongar la vida útil de los filtros mecánicos; se pueden implementar en escuelas nuevas o existentes	La efectividad puede disminuir con el paso del tiempo; los resultados dependen de la calidad de la capacitación y de la colaboración del personal; los maestros o los alumnos pueden percibir que la calidad del aire del aula disminuye cuando las ventanas y las puertas están cerradas.	de medio a bajo	USD	) - USD
Sellar alrededor de puertas, ventanas, conductos de HVAC, etc.	Sistemas de ventilación mecánica	Reduce la cantidad de aire sin filtrado que ingresa en el edificio; se pueden implementar en escuelas nuevas o existentes.	Las concentraciones de contaminantes de los espacios interiores pueden acumularse con el paso del tiempo si la ventilación no es suficiente, en especial si la generación de contaminantes en espacios interiores es alta.	de medio a bajo	USD	0
Reubicar las entradas o la fuente de aire si hay una carretera o fuente de contaminación ceca de la entrada de aire.	Unidades de HVAC centrales o individuales en cada aula	Reduce las concentraciones de partículas y gases en el aire que ingresa; puede aumentar la vida útil de los filtros; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes.	Costo	mediano	$$ - $$$	0
Usar unidades de filtrado portátiles	Aulas ventiladas naturalmente	Reduce las concentraciones de partículas tanto de fuentes exteriores como de fuentes interiores; se pueden implementar en escuelas nuevas o existentes.	Requiere de mantenimiento y reemplazo; puede necesitar mejoras en el sistema.	mediano	$-$$	0-USD
Mejorar el diseño del sistema de HVAC para que sea compatible con el filtrado de alta eficiencia	Sistemas de HVAC central	Es posible una mayor reducción en concentraciones de partículas; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes.	Costo; reducción de filtrado si el sistema de HVAC o el cerramiento del edificio tienen fugas	alto	$$$	USD
Implementar políticas que prohíban el motor en marcha o reduzcan esta práctica	Todos	Reduce las emisiones de partículas y gases; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes.	Falta de control climático del vehículo durante climas cálidos o fríos.	mediano	USD	USD
renovar la flota de autobuses escolares	Todos	Reduce las emisiones de partículas y gases; posible reducción de costos a largo plazo; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes.	Costo de adquisición; puede requerir capacitación para el mantenimiento y la conservación de los autobuses; posibles limitaciones de las rutas en función de la longitud de estas y de la variedad de autobuses seleccionada.	mediano	$$$[a]	USD
Fomentar el transporte activo (caminar y andar en bicicleta para ir a la escuela	Todos	Reduce las emisiones de partículas y gases; mejora de la salud con el ejercicio físico; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes.	Los peatones o ciclistas pueden estar expuestos a la contaminación relacionada con el tráfico vehicular o a otros peligros durante los viajes.	mediano	de 0 a $	0
Ubicar el sitio de la escuela lejos de las fuentes de contaminación (Se aplica principalmente a escuelas nuevas)	Todos	Puede reducir la exposición de los alumnos a partículas y gases, aunque las exposiciones generales pueden aumentar si un sitio alternativo requiere de traslados prolongados en autobuses o automóviles más antiguos.	Si los lugares alternativos son limitados, es probable que no haya oportunidades de ubicar la escuela más lejos de la carretera; las consecuencias accidentales de ubicar sitios lejos de la comunidad pueden incluir una disminución de las oportunidades para caminar o ir en bicicleta, el aumento del tráfico vehicular o un incremento de las exposiciones durante el traslado.	NA[b]	NA[b]	0
Diseñar los sitios de escuelas para minimizar la exposición a las fuentes contaminantes	Todos	Reduce la exposición de los alumnos a partículas y gases; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes si hay flexibilidad para reubicar las actividades de los niños.	La efectividad es específica del sitio; puede ser costoso o no viable para las escuelas existentes.	mediano	$$$	USD
Usar barreras de vegetación y 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; se puede implementar en escuelas nuevas o existentes.	Costo; el diseño óptimo puede ser específico del sitio; existen necesidades de mantenimiento y agua para las barreras de vegetación; la visibilidad reducida desde la calle puede ser un problema de seguridad o limitar el acceso y la conectividad; se puede necesitar el apoyo de otras partes interesadas, como el Departamento de Transporte del Estado.	mediano	$$ - $$$	) - USD

[a] Puede haber subvenciones o ayudas locales, estatales y federales.

[b] Consideración solo para las nuevas construcciones

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 (es preferible que esté al menos a 500 pies de la carretera)?
        - ¿La escuela está a favor de la dirección del viento de la carretera?
        - ¿Está a nivel, por encima o por debajo de la carretera (a nivel tiende a maximizar la exposición a la contaminación de la carretera)?
    - ¿En qué lugar se realiza la subida y bajada de estudiantes que se transportan en autobús escolar?
        - ¿Existen oportunidades de reducir el tiempo que el autobús permanece estacionado con el motor en marcha 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. Para obtener una lista de verificación más detallada sobre este tema, consulte la Lista de verificación de herramientas para la ventilación de las escuelas.
    - ¿La ventilación se logra en forma pasiva o mecánica?
    - Si fuera mecánica:
        - ¿Se usa un sistema de HVAC central o de una unidad por aula?
        - ¿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. Para obtener una lista de verificación más detallada sobre este tema, consulte la Lista de verificación de herramientas para la ventilación de las escuelas.
    - ¿Los maestros dejan las puertas y ventanas abiertas durante el día?
    - ¿Existen oportunidades de dejar entrar aire fuera de los horarios pico de emisión?
    - ¿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?
    - ¿El funcionamiento de toda la ventilación cumple con un sistema o plan de mantenimiento preventivo?
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 HVAC
5. Evalúe la ubicación de las entradas de aire con respecto a las carreteras u otras fuentes de contaminantes, como lugares de subida y bajada de estudiantes que se trasladan en el autobús escolar.
    - ¿Las entradas de aire están cerca de una carretera, zona de carga o de otras fuentes de contaminantes, como áreas designadas para fumar?[43] ¿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 contaminantes?

[43] Los Centros para el Control y la 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. Consulte https://www.cdc.gov/healthyschools/health_and_academics/tobacco_product_use.htm para obtener más recomendaciones sobre la prevención del consumo de tabaco en las escuelas.

Documentos relacionados

Para ver una infografía general que resume algunas de las estrategias de atenuación y sugerencias importantes de esta Guía de prácticas recomendadas, consulte la **Infografía resumida**.

Para acceder a una lista de recursos que proporcionan más información sobre varios temas incluidos en esta Guía de prácticas recomendadas, consulte la **Guía de recursos**.

Para casos prácticos relacionados con la implementación de varias estrategias en las escuelas, consulte el **Documento de casos prácticos en escuelas** (solamente en inglés).

Agradecimientos

La EPA desea agradecer a las siguientes organizaciones que ofrecieron comentarios sobre este documento.

Oficinas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos:

- Oficina de Protección de Salud Infantil
- Oficina de Aire Interior y Radiación
- Oficina de Investigación y Desarrollo
- Oficina de Revitalización Comunitaria
- Región 5

La EPA desea mencionar a las siguientes organizaciones que ofrecieron comentarios sobre una versión anterior a este documento.

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

Oficina de Protección de Salud Infantil (1107A)
y
Oficina de Transporte y Calidad del Aire
EPA-420-R-23-001
Enero de 2023

www.epa.gov

Reciclado/Reciclable
Impreso en papel que contiene al menos un 50 % de fibra posconsumo.