



# Documento técnico de apoyo para el estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire del plan de monitoreo del aire de la comunidad (CAMP) Camino Hacia un Aire Limpio

Noviembre de 2023



BAY AREA  
AIR QUALITY  
MANAGEMENT  
DISTRICT

## Tabla de contenidos

Resumen Ejecutivo.....	1
Antecedentes del proyecto.....	2
Participación de la comunidad y selección de proyectos .....	2
Objetivos y alcance .....	4
Recopilación de datos .....	7
Instrumentación.....	7
Mediciones de los VOC con el sistema PTR-ToF-MS.....	8
Operación.....	9
Aseguramiento de la calidad/control de calidad .....	10
Conjunto de datos final.....	12
Análisis de datos y resultados.....	12
Información general.....	13
Concentraciones más elevadas de VOC cerca de fuentes de contaminación .....	16
Zona portuaria y terminales de depósitos .....	16
Fabricación de plásticos .....	21
Gasolineras.....	23
Área de la refinería .....	24
Talleres de chapa y pintura .....	25
Panaderías comerciales .....	28
Parque industrial ligero.....	32
Ejemplos adicionales de picos de VOC.....	32
Conclusión.....	35
Apéndice .....	36

## Resumen Ejecutivo

Este documento describe el trabajo técnico realizado durante un estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire en el área de Richmond-North Richmond-San Pablo, California, como parte del plan de monitoreo del aire de la comunidad (Community Air Monitoring Plan, CAMP), Camino Hacia un Aire Limpio.<sup>1</sup> El objetivo principal de este trabajo era identificar las áreas con niveles más elevados de ciertos contaminantes tóxicos del aire gaseosos y, más concretamente, de compuestos orgánicos volátiles (volatile organic compounds, VOC), que pueden ser oportunidades para reducir las emisiones y la exposición a la contaminación. Algunos VOC están asociados a efectos significativos sobre la salud, en función de la exposición.

Este estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire se realizó en apoyo del CAMP, conforme al proyecto de ley (Assembly Bill, AB) 617 (AB 617). El AB 617 fue promulgado por el estado de California en 2017 para ayudar a abordar los problemas de calidad del aire en comunidades que históricamente enfrentaron injusticias medioambientales y que son afectadas de manera desproporcionada por la contaminación del aire.<sup>2</sup> En virtud del AB 617, los distritos de aire locales, en consulta con la Junta de Recursos del Aire de California (California Air Resources Board, CARB), tienen la tarea de asociarse con grupos comunitarios y otras partes interesadas para desarrollar un marco centrado en la comunidad para reducir las emisiones y la exposición a la contaminación del aire.

En 2018, el Distrito para el Control de la Calidad del Aire del Área de la Bahía (Distrito de Aire) recomendó el área de Richmond-North Richmond-San Pablo para el desarrollo e implementación de un CAMP con el fin de brindar información adicional que pueda ayudar a identificar y priorizar estrategias para reducir las emisiones y la exposición a la contaminación del aire. Un Comité Directivo de la Comunidad (Community Steering Committee, CSC), en asociación con el Distrito, lideró el desarrollo del CAMP. El CSC estudió y seleccionó diferentes proyectos de monitoreo del aire para incluirlos en el CAMP, con cada proyecto destinado a informar sobre diferentes cuestiones e inquietudes sobre la calidad del aire. El estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire descrito en este documento es uno de los proyectos de monitoreo del aire que el CSC seleccionó para el CAMP.

Para el estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire, el monitoreo del aire se realizó mediante una camioneta equipada con instrumentación especializada para medir múltiples contaminantes del aire con alta resolución espacial. El monitoreo se realizó alrededor de las fuentes conocidas de los VOC y de los problemas de calidad del aire señalados por la comunidad, así como en las áreas residenciales adyacentes.

Este estudio detectó numerosos casos de niveles superiores a los habituales de distintos VOC. Se detectaron niveles relativamente elevados de diferentes VOC cerca o en la dirección del viento de instalaciones y operaciones específicas en el área de estudio, incluidas (entre otras) operaciones de refinería, terminales de tanques, fabricación de plásticos, gasolineras, talleres de chapa y pintura y panaderías comerciales. Algunos de los casos de niveles más elevados de VOC estaban probablemente

---

<sup>1</sup> AB 617 del plan de monitoreo del aire de la comunidad Camino Hacia un Aire Limpio:

<https://www.baaqmd.gov/~/media/files/ab617-community-health/richmond/richmond-san-pablo-air-monitoring-plan-july-2020-pdf.pdf?la=en>

<sup>2</sup> Página web de la CARB para el Programa de Protección del Aire de la Comunidad del AB 617:

<https://ww2.arb.ca.gov/capp>

asociados a fuentes de emisiones relacionadas con la combustión, mientras que otros no. Los resultados pueden indicar fuentes de contaminación del aire desconocidas o potencialmente poco controladas, y pueden servir de base para reducir las emisiones o la exposición.

Las secciones de Proyectos y Tecnología de Monitoreo del Aire (Air Monitoring Projects and Technology, AMPT) y Análisis de la Calidad del Aire del Ambiente (Ambient Air Quality Analysis, AAQA) del Distrito, tanto en la división de meteorología como en la de medición, dirigieron este estudio de monitoreo del aire.

## Antecedentes del proyecto

El área de Richmond-North Richmond-San Pablo, en lo sucesivo denominada área de estudio, es una comunidad históricamente marginada que experimenta impactos de salud acumulativos desproporcionados e incluye una alta densidad de fuentes de contaminación complejas. Las fuentes industriales de contaminación incluyen una gran refinería petrolera (Chevron), una planta química, un terminal de coque de carbón y petróleo, instalaciones de almacenamiento y distribución de líquidos orgánicos, plantas de tratamiento de aguas residuales, un vertedero, instalaciones de residuos y metales orgánicos, y otras plantas industriales y de fabricación de varios tamaños. Además, numerosas fuentes comerciales más pequeñas de contaminación del aire se encuentran en toda el área de estudio, incluidos los talleres de chapa y pintura, las gasolineras y los restaurantes. El área de estudio también incluye caminos de gran volumen como la carretera I-80, la I-580, Richmond Parkway y otros caminos concurridos que atraviesan vecindarios residenciales, así como operaciones de camiones asociadas con grandes centros de distribución e instalaciones industriales. Otras fuentes de contaminación del aire incluyen operaciones marinas y de puertos marítimos, ferrocarriles y patios ferroviarios, y numerosos sitios de construcción. En el área de estudio existen más de 250 instalaciones con fuentes de emisiones autorizadas.

## Participación de la comunidad y selección de proyectos

Antes de iniciar el trabajo técnico de elaboración y aplicación de un plan de monitoreo del aire, era necesario disponer de un marco sólido y exhaustivo de participación de la comunidad. En noviembre de 2018, el Distrito celebró una reunión a la que asistieron residentes interesados, miembros de organizaciones comunitarias y líderes de la comunidad para iniciar este esfuerzo y aprovechar el poder y la sabiduría de la comunidad local para construir de manera colaborativa un proceso de participación. A partir de esta cumbre, se formó un equipo de diseño comunitario (Community Design Team, CDT), compuesto por once miembros de la comunidad y asistido por dos miembros del personal del Distrito. El CDT desarrolló el marco de participación, que incluye la estructura organizativa, el balance de miembros y los estatutos del CSC que dirigiría el proceso de desarrollo de un CAMP en colaboración con el Distrito. El CSC contaba con 35 miembros, la mayoría de los cuales eran residentes locales o representaban organizaciones comunitarias. El CSC también estaba integrado por representantes del gobierno, las empresas y la industria, y los sectores educativos. Por lo general, el CSC se reunió mensualmente de abril de 2019 a julio de 2020 para supervisar el desarrollo del CAMP. Algunas de las tareas principales del CSC incluían la creación de conocimientos colectivos sobre temas relacionados con la calidad del aire (como los enfoques de monitoreo del aire, y la calidad del aire y la salud), la identificación y priorización de los problemas de calidad del aire de la comunidad, la consideración y selección de proyectos de control del aire para informar sobre esos problemas, y las iniciativas de difusión comunitaria. El CSC fue asistido por un equipo de codirección, integrado por cinco miembros de la comunidad del CSC. El equipo de

codirección se reunió semanalmente con el personal del Distrito para ofrecer un apoyo técnico y de participación crucial al CSC más amplio mediante la planificación de las actividades y los programas de las reuniones del CSC, la respuesta a las solicitudes de los miembros del CSC y del público, y la planificación de actos de difusión. Un contratista del Distrito también colaboró en la facilitación y logística de la reunión. En el documento del CAMP encontrará más información sobre el marco de participación comunitaria, incluidos los estatutos y la membresía del CSC.

Un componente crítico del trabajo del CSC fue identificar inquietudes sobre la calidad del aire en la comunidad. A través de varias actividades cartográficas, el CSC y los ciudadanos aportaron información sobre los problemas de calidad del aire e ideas sobre dónde y cómo los datos de monitoreo del aire podrían contribuir a mejorarla. Este conjunto de datos generados por la comunidad sobre los problemas de calidad del aire, que contiene las experiencias vividas por los miembros de la comunidad con respecto a la calidad del aire, sirvió de base para el desarrollo y la consideración de proyectos de monitoreo del aire.

Las inquietudes de la comunidad sobre la calidad del aire fueron muy variadas y pusieron en evidencia la necesidad de un enfoque múltiple del monitoreo del aire. Dado que ningún proyecto de monitoreo del aire único puede informar todos los aspectos posibles de la calidad del aire, el CSC consideró y seleccionó varios proyectos, cada uno con el objetivo de recopilar datos para informar diferentes inquietudes sobre la calidad del aire de alta prioridad. En el verano de 2019, el CSC seleccionó tres proyectos iniciales de monitoreo del aire para recopilar mediciones exploratorias de materia particulada (particulate matter, PM) y otros contaminantes en toda el área de estudio. Dos de estos proyectos utilizaban redes de sensores que también proporcionaban datos en tiempo real, que era una importante necesidad de datos identificada por la comunidad.<sup>3,4</sup> Otro proyecto, realizado por Aclima, utilizó el monitoreo móvil para detectar determinados contaminantes en el área de estudio durante un periodo de tres meses.<sup>5</sup> Las inquietudes de la comunidad con respecto a la calidad del aire y los proyectos seleccionados por el CSC se describen con más detalle en el documento del CAMP.

A principios de 2020, mientras se implementaban los proyectos iniciales de monitoreo del aire, el CSC consideró inquietudes más específicas sobre la contaminación del aire y otros proyectos de monitoreo del aire para ayudar a informar sobre esas inquietudes. A medida que surgieron temas y categorías de inquietudes sobre la calidad del aire, el Distrito preparó los alcances iniciales de los proyectos de monitoreo del aire para que el CSC los considerara, de los cuales el CSC seleccionaría uno para el Distrito. Los proyectos propuestos utilizarían la camioneta de monitoreo del aire del Distrito para proyectos comunitarios de monitoreo del aire, que en ese momento estaba pendiente de desarrollo. En resumen, los tres proyectos propuestos se centraban en 1) mediciones de la PM relacionadas con fuentes móviles de contaminación, 2) mediciones de la PM relacionadas con operaciones de carbón en el área de estudio y 3) mediciones de contaminantes tóxicos del aire gaseosos cerca de fuentes estacionarias de contaminación preocupantes. El CSC votó para continuar con el proyecto centrado en la medición de los contaminantes tóxicos del aire gaseosos, para ayudar a subsanar las deficiencias de información en nuestra comprensión sobre las emisiones de determinados contaminantes y sus concentraciones e

---

<sup>3</sup> Sitio web del programa Air Rangers de Groundwork Richmond:

<http://www.groundworkrichmond.org/air-rangers.html>

<sup>4</sup> Sitio web de PSE para la red de monitoreo del aire de Richmond e informe final:

<https://www.psehealthyenergy.org/our-work/programs/environmental-health/richmond/>

<sup>5</sup> Informe de los puntos críticos de PM<sub>2.5</sub> en Richmond-San Pablo de Aclima: <https://rspreport.aclima.tools/>

impactos resultantes en la comunidad. Este estudio de contaminantes tóxicos del aire también proporcionaría datos para diferentes contaminantes e informaría diferentes inquietudes sobre la calidad del aire para las que se diseñaron los proyectos iniciales de monitoreo del aire. El alcance inicial del estudio de los contaminantes tóxicos del aire, así como los otros proyectos considerados por el CSC, se describen en los apéndices del CAMP.

## Objetivos y alcance

Los principales objetivos de este estudio de monitoreo fueron:

- identificar las áreas cercanas a las fuentes de contaminación preocupantes donde los niveles de contaminantes tóxicos del aire gaseosos son más altos que en las áreas adyacentes;
- comparar los niveles de contaminantes tóxicos del aire gaseosos en las comunidades cercanas a las fuentes de inquietud; y
- relacionar las conclusiones con oportunidades de estrategias de reducción de emisiones y exposición.

Los principales contaminantes de interés para el estudio de contaminantes tóxicos del aire fueron los VOC. Existen numerosas fuentes de VOC en el aire ambiente en el área de estudio, como refinerías y operaciones relacionadas con las refinerías (incluido el almacenamiento y transporte), instalaciones de gestión de residuos y agua, talleres de chapa y pintura, gasolineras, restaurantes y otras operaciones alimentarias, diversas empresas industriales o comerciales pequeñas, fuentes móviles (tráfico, tren y operaciones marinas), y fuentes residenciales como el humo de madera. Algunas fuentes de contaminación, como el tráfico, se encuentran en toda el área de estudio, mientras que muchas de las fuentes basadas en instalaciones se encuentran en áreas residenciales u otros lugares donde las personas pasan tiempo.

Algunos VOC son contaminantes tóxicos del aire con importantes efectos sobre la salud. Las personas están expuestas con regularidad a diversos contaminantes tóxicos del aire en su vida cotidiana, ya que estos contaminantes tienen muchas fuentes comunes. El riesgo para la salud de un contaminante tóxico del aire específico depende de su peligrosidad (o potencia) y de la cantidad del contaminante al que una persona esté expuesta durante un cierto periodo de tiempo. Algunos contaminantes tóxicos del aire son carcinógenos conocidos. Con el tiempo, la exposición a largo plazo (crónica) a los contaminantes tóxicos del aire puede provocar graves efectos para la salud, como daños en los sistemas respiratorio, nervioso, inmunitario y reproductor, así como trastornos neurológicos y del desarrollo. La exposición a corto plazo (aguda) a altos niveles de contaminantes tóxicos del aire también puede causar efectos agudos para la salud, como dolores de cabeza, náuseas, irritación respiratoria y episodios de asma, e irritación de los ojos, la nariz, la garganta y la piel.

La lista inicial de los VOC objetivo se elaboró a partir de los inventarios de emisiones, el análisis de las emisiones químicas de las refinerías y los efectos en la salud de la Oficina de Evaluación de Peligros a la Salud Ambiental (Office of Environmental Health Hazard Assessment, OEHHA) de California<sup>6</sup>, los conocimientos del Distrito sobre las fuentes de emisiones y los problemas de calidad del aire de la comunidad en el área de estudio, y las capacidades de los instrumentos de control. La lista final de los VOC objetivo para el estudio figura en la **Tabla 1**. Algunos de estos VOC, como el benceno, tolueno,

---

<sup>6</sup> Análisis de las emisiones químicas de las refinerías y sus efectos sobre la salud de la OEHHA de California, 2019: <https://oehha.ca.gov/air/analysis-refinery-chemical-emissions-and-health-effects>

etilbenceno y xileno (BTEX), son comunes en las áreas urbanas debido a su asociación con la quema de combustibles fósiles, mientras que otros VOC pueden estar asociados con instalaciones u operaciones específicas dentro del área de estudio. Algunos de los VOC objetivo, como el benceno, el 1,3-butadieno y el óxido de etileno, son carcinógenos conocidos. Gran parte de la información de antecedentes proporcionada en este documento sobre los VOC objetivo, incluidas las fuentes de emisiones típicas y los efectos en la salud, se recopiló a partir del cuaderno de datos de los efectos sobre la salud de los contaminantes peligrosos del aire de la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA), la base de datos de productos químicos del aire de la OEHHA y los conocimientos del Distrito.<sup>7,8</sup>

**Tabla 1.** VOC objetivos para el estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire.

1,3-butadieno	Diclorobenceno	Estireno
Acetaldehído	Etilbenceno	Tolueno
Benceno	Óxido de etileno	Trimetilbenceno
Benzo(a)pireno	Naftalina	Xileno

Mientras se desarrollaba el CAMP, el Distrito estaba empezando a construir su nueva camioneta de monitoreo del aire, equipada con instrumentos de monitoreo meteorológico y de la calidad del aire para ayudar a caracterizar y comprender la calidad del aire a escala comunitaria. El método de monitoreo móvil utilizado en este estudio permite examinar áreas geográficas relativamente extensas en busca de múltiples contaminantes con una resolución temporal de 1 segundo y puede medir contaminantes cerca de instalaciones o fuentes en las que no es factible el monitoreo en lugares fijos. Además, realizar múltiples encuestas de recorrido en la misma área puede indicar si los problemas de calidad del aire observados son recurrentes. El sistema de reacción de transferencia de protones con espectrometría de masas de tiempo de vuelo (Proton Transfer Reaction-Time-of-Flight-Mass Spectrometer, PTR-ToF-MS) a bordo de la camioneta de monitoreo del aire puede medir las concentraciones de múltiples VOC de manera simultánea. Esta instrumentación, junto con la instrumentación de apoyo para las mediciones de la posición y la velocidad de la camioneta de monitoreo del aire, los contaminantes del aire adicionales y los parámetros meteorológicos se describen en la sección Recopilación de datos de este documento. Aunque el monitoreo en movimiento a velocidades de tráfico típicas significa que las mediciones en cualquier lugar tienen una duración limitada, con frecuencia a solo unos segundos de datos, las mediciones permiten la detección de niveles de contaminantes locales más elevados, como cuando la camioneta de monitoreo intercepta una estela. Las mediciones a bordo de múltiples contaminantes, incluidos los VOC objetivos y los indicadores de combustión, como el monóxido de carbono (carbon monoxide, CO) y los óxidos de nitrógeno (nitrogen oxides, NO<sub>x</sub>), pueden ayudar a identificar y atribuir la fuente de las estelas.

Al igual que con cualquier esfuerzo de monitoreo, un solo enfoque o proyecto de monitoreo no puede informar cada aspecto de los problemas de calidad del aire en una comunidad. Los eventos de contaminación que se produzcan fuera de la hora y el lugar de las mediciones no se reflejarán en los datos. Los datos de 1 segundo recogidos en este tipo de proyectos no son directamente comparables con las

<sup>7</sup> Cuaderno de efectos sobre la salud de los contaminantes peligrosos del aire de la Agencia de Protección Ambiental: <https://www.epa.gov/haps/health-effects-notebook-hazardous-air-pollutants>

<sup>8</sup> Base de datos de productos químicos del aire de la OEHHA de California: <https://oehha.ca.gov/air/chemicals>

métricas de salud, que por lo general se basan en periodos medios mucho más largos. Los datos recopilados no ofrecen información suficiente para estimar una exposición de riesgo para la salud o comparar el riesgo para la salud entre los distintos problemas de calidad del aire que puedan observarse. Además, dadas las numerosas fuentes de emisiones diversas y complejas en el área de estudio, este estudio de monitoreo por sí solo no puede explicar y caracterizar de manera realista los impactos de todas estas fuentes.

Toda el área de estudio de Richmond-North Richmond-San Pablo del CAMP tiene más de 25 millas cuadradas y contiene cientos de millas de carreteras. Aunque el monitoreo móvil puede ampliar en gran medida el área geográfica en la que se pueden recopilar datos, dadas las limitaciones de recursos de personal y equipos, no sería factible realizar y analizar mediciones de manera sólida en toda esta área. Para ayudar a equilibrar estas restricciones con los objetivos del proyecto, delimitaron cuatro áreas de control, cada una de ellas centrada en la ubicación de las fuentes de contaminantes tóxicos del aire gaseosos y en los problemas de calidad del aire de la comunidad. Cada área objetivo también incluye vecindarios adyacentes a estas fuentes para recopilar datos en una variedad de usos de la tierra y lugares donde las personas viven, trabajan y pasan tiempo. Las cuatro áreas de monitoreo objetivo (North Richmond, el área de refinería, el corredor de 23<sup>rd</sup> Street y el puerto de Richmond) se muestran en la **Figura 1**.



**Figura 1.** Mapa de las cuatro áreas objetivo de seguimiento y ejemplos de fuentes de contaminación en cada área. Mapa de fondo generado en Google Earth.

## Recopilación de datos

Tras la decisión del CSC de continuar con un estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire mediante un enfoque de monitoreo móvil, el Distrito procedió a construir la camioneta de monitoreo del aire. Esto incluyó la compra de la camioneta, su instrumentación y la infraestructura de apoyo, la instalación y las pruebas exhaustivas de todo el sistema de monitoreo móvil antes de que comenzara el monitoreo en el área de estudio. Las calcomanías para el exterior de la camioneta de monitoreo del aire fueron diseñadas por jóvenes artistas de la organización comunitaria RYSE de Richmond (**Figura 2**) para resaltar el propósito de la camioneta de monitoreo del aire en la comunidad local. RYSE también tenía un representante en el CSC del CAMP.

Como se describió con anterioridad, el estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire utilizó un enfoque de monitoreo orientado a la fuente en el que la camioneta de monitoreo del aire se centró en los problemas de calidad del aire de la comunidad identificados por el CSC y en receptores sensibles, como escuelas y hogares para adultos mayores. Se cartografiaron y delimitaron espacialmente cuatro áreas de monitoreo para que pudieran recorrerse en un solo día. Cada una de las cuatro áreas de monitoreo objetivo se recorrió cuatro veces a lo largo de dos meses y medio (de finales de enero a principios de abril de 2022), lo que supuso un total de 16 recorridos. El monitoreo se realizó en días hábiles y, por lo general, se inició entre las 9 y 11 a. m. y finalizó entre las 3 y 5 p. m. Algunos días no fueron adecuados para realizar el recorrido debido a que la lluvia en las líneas de muestra afectó los instrumentos y los datos.



**Figura 2.** Foto exterior de la camioneta de monitoreo del aire.

## Instrumentación

La camioneta de monitoreo del aire se desarrolló para realizar mediciones rápidas y en movimiento de los contaminantes del aire con el fin de mejorar la resolución espacial de los datos sobre la calidad del aire a escala comunitaria en el Área de la Bahía. La camioneta de monitoreo del aire puede medir una variedad

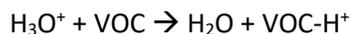
de contaminantes a una resolución de 1 segundo para asociar con precisión las medidas con el lugar donde ocurrieron a lo largo del camino. Dado que los VOC son el objetivo principal de este proyecto de monitoreo, la medición clave fue de los VOC específicos seleccionados a través del sistema de reacción de transferencia de protones con espectrometría de masas de tiempo de vuelo (Ionicon 6000X PTR-ToF-MS), que se explica más adelante. También se realizaron mediciones de apoyo de NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> + NO) mediante la quimioluminiscencia (analizador Thermo Scientific 42iQ en modo NO<sub>x</sub> para obtener mediciones de 1 segundo) y de CO mediante la espectroscopia de anulación de cavidad (Picarro G2401) para ayudar a identificar cuándo los VOC estaban relacionados con la combustión. Todos los datos de contaminación se alinearon con marcas de tiempo basadas en los tiempos de respuesta de los instrumentos individuales para garantizar un etiquetado preciso del sistema de posicionamiento global (Global Positioning System, GPS) de la ubicación de cada medición individual.

Un sensor meteorológico (Airmar 200WX) y GPS instalado en el techo proporcionó datos complementarios como la velocidad y dirección del viento, la velocidad del vehículo y su ubicación. Los datos de viento en movimiento no son válidos debido a la inexactitud de las mediciones de velocidad y dirección del viento cuando se ven afectados por el movimiento del vehículo. Un subconjunto de datos eólicos son válidos a partir de periodos de medición estacionarios y situados de manera correcta.

Los datos se recopilaron y visualizaron a través de un servidor en red y un sistema de adquisición de datos personalizados que permitían al operador de la camioneta de monitoreo del aire visualizar los datos de los instrumentos y los parámetros operativos clave durante el monitoreo. Los datos se revisaron y se controló su calidad en tiempo real y *a posteriori* mediante una aplicación web personalizada basada en Shiny y una secuencia de comandos en lenguaje R, respectivamente.

#### Mediciones de los VOC con el sistema PTR-ToF-MS

El instrumento principal para este proyecto de monitoreo del aire, el PTR-ToF-MS, utiliza un método analítico en tiempo real que se basa en una fuente de iones que contiene agua (H<sub>2</sub>O) para producir hidronio o agua protonada (H<sub>3</sub>O<sup>+</sup>). A continuación, el hidronio reacciona con los VOC entrantes que, si el VOC es adecuado, aceptarán el protón H<sup>+</sup> del hidronio en una "reacción de transferencia de protones (proton transfer reaction, PTR)", como muestra la reacción siguiente.



A continuación, el VOC-H<sup>+</sup> protonado entra en el analizador de masas de "tiempo de vuelo (time-of-flight, ToF)", donde el tiempo que tarda el VOC-H<sup>+</sup> cargado en acelerar a través de un campo eléctrico está directamente relacionado con la masa molecular. La capacidad para detectar e identificar un VOC específico depende de las características físicas del VOC. Por ejemplo, la afinidad protónica, una característica que define la facilidad con la que se produce la reacción de transferencia protónica, dicta la detectabilidad de un compuesto mediante el PTR-ToF-MS. Los VOC con afinidad protónica superior al H<sub>2</sub>O ganarán protones del hidronio y serán detectados, mientras que aquellos con afinidad protónica inferior al H<sub>2</sub>O no serán protonados y, por tanto, no serán detectados. La masa molecular de un VOC también es fundamental para poder diferenciar un compuesto de otro. Aunque se trata de una característica identificativa de un VOC, los compuestos con la misma masa molecular se moverán a través del analizador de ToF a la misma velocidad y parecerán idénticos al detector. De los VOC objetivo de este estudio, la masa molecular del acetaldehído es la misma que la del óxido de etileno, y la masa molecular del etilbenceno

es la misma que la del xileno, por lo que el sistema PTR-ToF-MS no pudo diferenciar entre esos compuestos y los resultados se presentaron como mediciones de concentración combinada.

## Operación

Todos los días antes de la recopilación de datos, el personal asignado realizaba comprobaciones diarias de los instrumentos tras la puesta en marcha del sistema para verificar que todos los instrumentos funcionaban según lo previsto, que la camioneta de monitoreo del aire era segura para conducir y que los datos eran de alta calidad.

La puesta en marcha incluía lo siguiente:

- lista de verificación de aproximadamente 100 tareas que dos operarios deben realizar en 90 minutos;
- inspección física del equipo y la camioneta;
- comprobaciones de flujo y cero control de calidad en la instrumentación;
- inicio del registro de datos; y
- revisión de metadatos, como la presión del colector, las temperaturas del instrumento y el caudal de la línea de muestra, que son indicadores del estado del instrumento y del sistema.

El cierre al final de la jornada también exigía una serie de procedimientos normalizados, que incluía lo siguiente:

- aproximadamente 50 pasos que requieren 45 minutos para que dos operadores los completen en colaboración;
- cambiar la camioneta de monitoreo del aire a la toma de carga;
- controles de flujo y cero control de calidad en los instrumentos;
- finalización del registro de datos;
- transferencia y procesamiento de datos; y
- colocación de determinados instrumentos en modo de espera.

La camioneta de monitoreo del aire requería dos personas para funcionar con seguridad: un operador de control de misión y un conductor. El operador de control de la misión se encargaba de observar los datos en tiempo real, controlar el correcto funcionamiento de los instrumentos, registrar las observaciones del entorno (construcciones, olores, humo visible, etc.) y vigilar al conductor durante los cambios de carril, los retrocesos y los giros. El conductor era responsable de navegar por el polígono de estudio con una aplicación de navegación que traza el polígono y registra las coordenadas GPS del recorrido. Cuando correspondía, los conductores utilizaban el método de la caja derecha (**Figura 3**), que consiste en girar exclusivamente a la derecha y reducir los giros a la izquierda y los cambios de carril, lo que permite mejorar la eficacia y la seguridad de la conducción. El método de la caja derecha solo se utilizó para circular por vecindarios con calles en forma de cuadrícula y sin cierres de carreteras o calles "sin salida".



**Figura 3.** Método de la caja derecha. Las flechas de color más claro indican las primeras fases del recorrido y las más oscuras las últimas.

### Aseguramiento de la calidad/control de calidad

La recopilación de datos se realizó de acuerdo con las directrices de un plan de aseguramiento de la calidad del proyecto (Quality Assurance Project Plan, QAPP). Para garantizar que todos los instrumentos funcionaban de acuerdo con las normas, se designó una semana al mes para el control de calidad (quality control, QC) y el mantenimiento de toda la instrumentación de las camionetas de monitoreo del aire. El QC mensual de rutina se asignó por instrumento a operadores específicos que eran responsables de seguir los cronogramas y procedimientos de QC/mantenimiento en los procedimientos operativos estándar (Standard Operating Procedures, SOP) asociados. Las comprobaciones del QC y el mantenimiento varían según el instrumento, pero por lo general incluyen la sustitución de filtros, la realización de verificaciones de calibración, la limpieza de componentes y la realización de verificaciones de flujo, presión y temperatura. El QAPP y los SOP relevantes para la instrumentación operada durante esta campaña pueden solicitarse a través de una [solicitud de registros públicos en línea](#), dirigiéndose a la sección los AMPT de Meteorología y Medición.

Una vez finalizada la misión del día y los procedimientos de apagado, se procedió a la revisión *posterior* de los datos. Inicialmente, una secuencia de comandos en lenguaje R aplicaba varias comprobaciones automáticas de QC para señalar los metadatos de los instrumentos que quedaban fuera de un rango esperado. Durante el QC automático, se utilizó una métrica llamada código de operación global para indicar los periodos en los que la camioneta de monitoreo del aire podía realizar muestras automáticas de sus propias estelas de humo y gas. Los criterios para el código de operación global se basaban en que la camioneta permaneciera estacionaria o casi estacionaria (desplazándose a velocidades inferiores a 3 mph) o que estuviera retrocediendo. El revisor principal de datos, por lo general el operador de control de misión, revisó todos los indicadores del QC automático y del código de operación global, así como todos los metadatos de contaminantes e instrumentos en detalle. Se capacitó a los operadores para identificar tendencias de datos inesperadas o preocupantes, como saltos o caídas bruscos, desviación constante de la línea de base, ciclos periódicos, valores repetidos o señales de muestra automática, cualquiera de las cuales podría indicar un problema con un instrumento o una medición. Si se determinó que la concentración o los datos medioambientales eran erróneos al identificar un problema del instrumento, los datos se invalidaron y se iniciaron los procedimientos de reparación del instrumento. No

se invalidó ningún dato a menos que hubiera un problema claro con el instrumento asociado. Después de que el revisor primario completara la revisión, el revisor secundario, por lo general el conductor, realizó una revisión secundaria completa de los datos. A continuación, los dos revisores compararon sus conjuntos de datos resultantes y cualquier codificación de CQ contradictoria se debatió y consultó con la dirección de los AMPT. La revisión de datos puede requerir hasta un día entero por revisor y unidad.

Los datos que estaban por debajo del límite de detección del método (Method Detection Limit, MDL) de un instrumento se marcan con un código de calificación de datos asociado. Según la EPA, el MDL se define como la concentración mínima medida de una sustancia que puede notificarse como distinguible de los resultados del método en blanco con un 99 % de confianza.<sup>9</sup> El límite de detección informado (Reportable Detection Limit, RDL) se define como el límite que puede medirse *de manera fiable*.<sup>10</sup> A diferencia del MDL, el RDL no está definido en las regulaciones federales y es particular de cada laboratorio.

Los MDL de NO<sub>x</sub> (en partes por mil millones o ppb), CO (en partes por millón o ppm) y los VOC específicos monitorizados por el PTR-MS (en ppb) se determinaron durante una prueba de conducción mientras se realizaba la toma de muestras de aire al que se le habían eliminado el NO<sub>x</sub>, CO y VOC. Se analizaron los datos de concentración para cada uno de los compuestos. Los datos se filtraron para eliminar los casos en los que la velocidad del vehículo era inferior a 3 mph. Se realizó un filtrado para armonizar los MDL calculados con los datos móviles categorizados con el código de operación global de 0, lo que indica que durante esas horas se esperaba que la muestra automática de los gases de los vehículos fuera insignificante. Después de este filtrado, se determinó la desviación estándar de 1 segundo,  $\sigma_i$ , de cada una de estas especies a lo largo de todo el recorrido según la ecuación 1 siguiente:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum |x_i - \mu_i|^2}{N_i}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde para cada compuesto  $x_i$  es cada punto de datos de concentración individual de 1 segundo,  $\mu_i$  es la concentración media de los datos filtrados para el compuesto  $i$  en el transcurso del recorrido, y  $N_i$  es el número total de puntos de datos.

A continuación, se determinó el MDL mediante la multiplicación de  $\sigma_i$  para cada compuesto por el valor  $t$  de Student,  $t_{(n-1, 1-\alpha=0.99)}$  adecuado para una estadística  $t$  de única cola de percentil 99 y una estimación de la desviación estándar con  $n-1$  grados de libertad y añadiendo este valor a la concentración media para el compuesto  $i$  como se muestra en la siguiente ecuación 2. El valor de la métrica del valor  $t$  de Student (2.327 para este conjunto de datos) se determinó a partir de tablas estadísticas disponibles habitualmente.

$$MDL_i = Avg_i + t_{(n-1, 1-\alpha=0.99)} * \sigma_i \quad \text{Ecuación 2}$$

A continuación, se determinó el RDL según la siguiente ecuación 3:

$$RDL_i = MDL_i * 3 \quad \text{Ecuación 3}$$

<sup>9</sup> Título 40 del Código de Regulaciones Federales (Code of Federal Regulations, CFR) apéndice B de la Parte 136: Definición y procedimiento para la determinación del límite de detección del método, revisión 2: <https://www.ecfr.gov/current/title-40/chapter-I/subchapter-D/part-136#Appendix-B-to-Part-136>

<sup>10</sup> Oficina de Planificación y Normas de Calidad del Aire, EPA: More Ado About Next to Nothing: Brining Minimum Detection Levels into Focus. <https://www3.epa.gov/ttnemc01/meetnw/2015/moreado.pdf>

Donde  $RDL_i$ , es el límite de detección informado para el compuesto  $i$ . Se determinó que el factor 3 era el multiplicador más bajo que permitía medir todos los compuestos de manera fiable.

Las mediciones con valores por debajo del MDL para un compuesto dado tienen mayor incertidumbre y no se distinguen estadísticamente de los resultados en blanco del método. Las mediciones con valores superiores al MDL pero inferiores al RDL indican probablemente la confirmación del compuesto en cuestión, pero que su concentración puede no cuantificarse de manera fiable. Por lo tanto, las mediciones por debajo de estos límites deben considerarse con cautela y criterio para el análisis y la interpretación de los datos.

Los MDL y RDL de  $NO_x$ , CO y cada VOC objetivo para la prueba y durante los periodos de conducción se indican en la tabla A-1 del apéndice.

### Conjunto de datos final

Los conjuntos de datos finales, sometidos a un aseguramiento de la calidad (QA), que contenían datos específicos de los VOC,  $NO_x$ , CO, temperatura ambiente, viento y GPS, se pusieron a disposición para su análisis e interpretación internos tan pronto como se completó la revisión de los datos. En el análisis interno del Distrito solo se utilizaron los datos sometidos a un QA que eran válidos, estaban por encima de un determinado umbral de velocidad de la camioneta de monitoreo y no se habían producido retenciones de vehículos. Se excluyeron del análisis los datos recopilados mientras el vehículo circulaba a baja velocidad (menos de 3 millas por hora) o mientras retrocedía para limitar la posible contaminación de las mediciones por las estelas de humo y gas de muestras automáticas producidas por la camioneta de monitoreo del aire, tal y como marcaba la métrica del código de operación global. En el sitio web del CAMP del Distrito se publicaron los conjuntos de datos finales, sometidos a un QA, que contenían los datos válidos utilizados en el análisis interno.<sup>11</sup> Se elaboró un archivo README con descripciones de todos los parámetros de datos, la lógica de control de calidad de los datos y otros detalles necesarios para interpretar los datos, que se incluyó con los conjuntos de datos públicos finales.

### Análisis de datos y resultados

El conjunto de datos final de 16 días de recorrido se evaluó y analizó principalmente con herramientas basadas en lenguaje R. Para la mayor parte del análisis, se desarrolló un panel exploratorio basado en lenguaje R con funciones para filtrar los datos por periodo de recorrido, área de interés del recorrido y códigos de validez de los datos, y para ver los datos en diferentes visualizaciones, como diagramas de caja, histogramas, gráficos de dispersión, series temporales y espacialmente en mapas.

Para localizar e investigar los casos de niveles más altos de VOC, cada día de recorrido se trató como su propio subconjunto de datos y se consideró de manera independiente, ya que cada día de recorrido tiene condiciones meteorológicas y de calidad del aire diferentes que impiden la agregación sin iniciativas analíticas más complejas. Es importante destacar que la agregación de los datos a través de múltiples días de recorrido, como el desarrollo de mapas espacialmente promediados de diferentes compuestos a través de los días de recorrido, no fue necesaria para informar el objetivo principal de este proyecto.

Para cada día de recorrido, el analista visualizó cada compuesto espacialmente en mapas y anotó las ubicaciones de ocurrencia de niveles relativamente más elevados de diferentes VOC, incluidos los

---

<sup>11</sup> Sitio web del Distrito de Aire para el CAMP Camino Hacia un Aire Limpio:

<https://www.baaqmd.gov/community-health/community-health-protection-program/richmond-area-community-health-protection-program/community-air-monitoring>

patrones que surgieron de ubicaciones donde múltiples VOC parecían ser más altos y donde se produjeron niveles más altos de VOC en múltiples días de recorrido. Algunos compuestos también se visualizaron en una escala logarítmica para revelar mejor parte de la estructura espacial subyacente de la contaminación y ayudar a identificar corredores de niveles relativamente más altos de diferentes compuestos. Dada la cantidad de datos recopilados durante este estudio, es inevitable que haya muchos más casos de niveles relativamente altos de distintos VOC de los que pueden evaluarse de manera razonable en función del tiempo y los recursos disponibles. Por lo tanto, se seleccionaron varios casos más notables de niveles más altos de VOC para un examen más detallado y la atribución de la fuente. También se evaluaron los datos de CO y NO<sub>x</sub> para ayudar a diferenciar las fuentes de VOC de combustión de las que no lo son, ya que unos niveles más elevados de CO y NO<sub>x</sub> junto con los VOC suelen indicar combustión, mientras que su ausencia puede indicar emisiones de VOC no procedentes de la combustión, como una fuga en las instalaciones.

Se consideraron varios factores a la hora de seleccionar ejemplos de casos más notables de niveles más elevados de VOC para este análisis adicional, entre los que se incluyen:

- casos de niveles más altos de VOC cerca de fuentes o lugares identificados por la comunidad
- lugares donde se registraron niveles más elevados de VOC en varias jornadas o días de recorrido
- problemas de calidad del aire observados por el equipo de monitoreo del aire, como humo u olores
- concentraciones de un compuesto que fueron las más altas de un día de recorrido o de cualquier día de recorrido

Se revisaron los mapas meteorológicos sinópticos y los datos de los monitores meteorológicos situados en lugares fijos cercanos para tener una idea general de las condiciones meteorológicas, como los rangos de temperatura y los patrones de viento, en cada día de recorrido.<sup>12,13</sup> Además, los datos sobre el viento recopilados por la camioneta de monitoreo del aire se utilizaron, cuando fue posible, para ayudar a contextualizar e identificar posibles fuentes de ocurrencia de niveles más altos de VOC medidos. Los datos de viento de la camioneta de monitoreo solo se consideraron cuando la camioneta no estaba en movimiento y se compararon con los datos de los monitores meteorológicos de los sitios fijos del área como una comprobación adicional.

### Información general

En la tabla 3 se presentan los promedios, rangos y percentiles de cada VOC objetivo a lo largo de los 16 días de recorrido. Para la mayoría de los VOC, la mayoría de los valores medidos estaban por encima de los MDL para el compuesto. Para el benzo[a]pireno y el diclorobenceno, más del 95 % de los datos estaban por debajo de los MDL. A modo de comparación con otras mediciones de VOC en el área de estudio, las concentraciones medias de benceno y tolueno medidas con una frecuencia de 1 en 12 días en la estación fija de monitoreo del aire del Distrito en San Pablo (Rumrill Blvd.) de enero a marzo de 2022

---

<sup>12</sup> Sitio web de mapas meteorológicos diarios del Centro de Predicciones Climáticas de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA):

<https://www.wpc.ncep.noaa.gov/dailywxmap/>

<sup>13</sup> Los datos históricos de los centros de vigilancia meteorológica RCMC1 (Richmond-Long Wharf) y PPXC1 (Point Potrero) operados por la NOAA están disponibles en el sitio web de Mesowest: <https://mesowest.utah.edu/>. También se revisaron los datos del monitor a nivel del suelo de Chevron-Gertrude.

fueron de 0.201 ppb y 0.473 ppb, respectivamente.<sup>14</sup> Aunque los datos de las muestras integradas de 24 horas obtenidas en las estaciones fijas de monitoreo del aire no son directamente comparables con los promedios de los datos de 1 segundo recogidos por la camioneta de monitoreo del aire en días diferentes durante periodos de tiempo distintos, los valores eran alentadoramente próximos entre los dos métodos.

**Tabla 2.** Resumen estadístico de cada VOC objetivo a lo largo de los 16 días de recorrido. Las concentraciones por debajo del MDL están subrayadas. Las concentraciones se expresan en partes por mil millones (ppb).

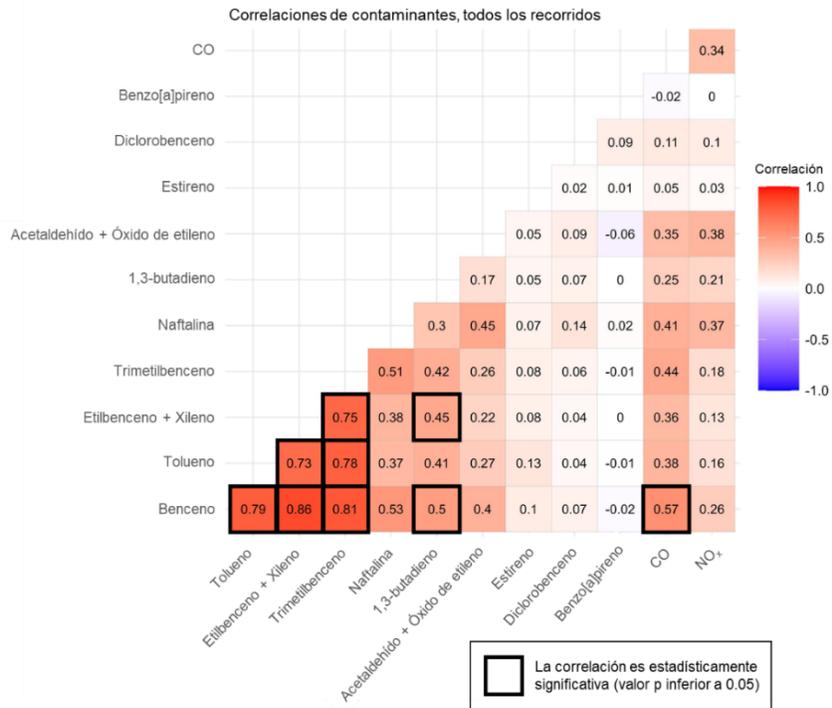
Compuesto	Media	5 %	25 %	Mediana	75 %	95 %	Máximo
Acetaldehído + óxido de etileno	2.853	1.402	1.930	2.738	3.496	4.768	85.904
Benceno	0.302	0.115	0.169	0.250	0.346	0.575	60.186
Benzo(a)pireno	<u>0.001</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.004</u>	0.049
1,3-butadieno	<u>0.115</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	0.164	0.479	15.297
Diclorobenceno	<u>0.005</u>	<u>0.001</u>	<u>0.002</u>	<u>0.004</u>	<u>0.006</u>	<u>0.010</u>	0.633
Etilbenceno + xileno	0.309	0.039	0.097	0.178	0.320	0.733	230.482
Naftalina	0.040	<u>0.016</u>	<u>0.025</u>	0.035	0.049	0.077	1.836
Estireno	0.069	<u>0.013</u>	<u>0.022</u>	0.034	0.059	0.209	75.378
Tolueno	0.340	0.055	0.125	0.220	0.366	0.795	185.805
Trimetilbenceno	0.169	0.027	0.058	0.101	0.173	0.420	127.084

En el apéndice se incluyen las distribuciones de las mediciones de 1 segundo de cada VOC objetivo por día de recorrido. Como ocurre en general con las distribuciones de las mediciones de contaminantes del aire, las distribuciones de las mediciones de este estudio son muy asimétricas, con una gran mayoría de mediciones en el extremo inferior de la gama de concentraciones medidas para cada compuesto y día de recorrido, pero con varios casos de valores mucho más altos. Son estos casos de concentraciones más elevadas, o picos, los que más interesan en este estudio para identificar las posibles fuentes de VOC y oportunidades de reducción de emisiones.

Varios de los VOC medidos estaban altamente correlacionados, lo que significa que cuando la concentración de un compuesto era relativamente más alta, otros compuestos también lo eran (**Figura 4**). Esto puede indicar la coemisión de múltiples VOC y otros contaminantes procedentes del mismo tipo de fuentes o de fuentes similares. Los compuestos BTEX y el trimetilbenceno presentaron las correlaciones más elevadas, lo que es típico en las áreas urbanizadas, ya que todos estos compuestos se emiten de forma conjunta a través de la combustión de combustibles fósiles, y de la evaporación y las fugas de las redes de almacenamiento y distribución de combustibles fósiles. Las correlaciones entre los compuestos BTEX y el trimetilbenceno fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ). La naftalina, el 1,3-butadieno y el acetaldehído, que también se emiten a través de la quema de combustibles fósiles, también se correlacionaron de manera moderada con los BTEX y el trimetilbenceno. El CO, y en menor medida el NO<sub>x</sub>, también estaban correlacionados de manera moderada con varios VOC, lo que indica la prevalencia de fuentes de combustión de VOC, como el tráfico, que son omnipresentes en toda el área de estudio. Es probable que parte de la correlación entre contaminantes se deba también a otros factores, como los periodos en que las condiciones meteorológicas favorecen concentraciones más elevadas de contaminantes en general.

<sup>14</sup> Para obtener más información sobre la red fija de control del aire del Distrito, consulte el Plan anual de la red de monitoreo del aire del Distrito:

<https://www.baaqmd.gov/about-air-quality/air-quality-measurement/ambient-air-monitoring-network>



**Figura 4.** Matriz de correlación de VOC objetivo, CO y NO<sub>x</sub> en todos los días de recorrido. Un sombreado rojo más oscuro indica una mayor correlación positiva. Los cuadrados en negrita indican que la correlación es estadísticamente significativa.

Muchos de los casos individuales de niveles más elevados, o picos, de un VOC concreto coincidieron con niveles más elevados de otros VOC (en particular BTEX y trimetilbenceno) y CO, lo que indica la existencia de fuentes de contaminación relacionadas con la combustión. Con frecuencia, estos casos se producían en caminos muy transitados o en intersecciones, así como en zonas comerciales con tráfico, restaurantes y otras fuentes de VOC. Por ejemplo, se observaron niveles generalmente más elevados de BTEX coincidentes con niveles más elevados de CO en varios corredores comerciales o de tráfico intenso, como 23<sup>rd</sup> Street, Barrett Ave., Macdonald Ave., Rumrill Blvd., Brookside Dr., Parr Blvd., Fred Jackson Way, Richmond Pkwy., Pittsburg Ave., Cutting Blvd., Spring St., Canal Blvd., Ohio Blvd., Harbour Way, and Castro St., entre otros. El CSC también señaló que muchos de estos caminos eran preocupantes para la calidad del aire, incluidas las calles que las personas que se desplazan a diario pueden utilizar a través de los vecindarios para evitar el tráfico en otras carreteras. Además, en ocasiones se observaron niveles más elevados de VOC que parecían estar relacionados con la combustión en áreas residenciales, donde las fuentes de combustión podían incluir vehículos que están al ralentí, generadores diésel, humo de madera y preparación de alimentos, entre otros.

Hubo varios casos de picos de diferentes VOC en ausencia de indicadores de combustión, lo que probablemente indica fuentes de emisiones ajenas a la combustión. En algunos casos, solo un VOC registró un pico en las concentraciones, mientras que los demás VOC objetivo se mantuvieron en niveles habituales. Se calcularon y evaluaron visualmente en mapas las proporciones normalizadas de determinados VOC en relación con el CO, como el tolueno en relación con el CO y el estireno en relación con el CO, para ayudar a localizar los casos de niveles más elevados de VOC que pudieran deberse a fuentes ajenas a la combustión, y si esos casos se repetían en varios trayectos o días de recorrido.

Se observaron varios casos de niveles relativamente elevados de estireno en las proximidades de instalaciones y operaciones específicas en ausencia de picos de otros VOC y CO. Aunque el estireno se produce a través de la combustión de combustibles fósiles y otras fuentes de combustión, sus cantidades son por lo general relativamente bajas en las áreas urbanas en comparación con otros VOC como los BTEX; por lo tanto, el estireno resultó ser un trazador útil para posibles fuentes de VOC no procedentes de la combustión en este estudio. Uno de los principales usos del estireno es la producción de plásticos y resinas. Los picos de estireno en este estudio se encontraron cerca de terminales de depósitos y cerca de una instalación de fabricación de plásticos. La EPA no tiene una clasificación de carcinógeno para el estireno debido a la falta de pruebas concluyentes.<sup>15</sup> Otros ejemplos de picos de uno o más VOC que parecen deberse a fuentes ajenas a la combustión son los niveles más elevados de BTEX y otros compuestos cerca de una gasolinera, el tolueno cerca de talleres de chapa y pintura, el acetaldehído cerca de panaderías y el 1,3-butadieno cerca de la refinería y el patio ferroviario.

### Concentraciones más elevadas de VOC cerca de fuentes de contaminación

Esta sección describe ejemplos de casos de concentraciones relativamente elevadas de diferentes VOC que se midieron cerca de determinadas fuentes de contaminación. Cada ejemplo incluye mapas anotados del área que rodea las mayores concentraciones de VOC, gráficos de series temporales de concentraciones de VOC y CO, y tablas con las concentraciones máximas de VOC. También se indican las fechas de recorrido de los casos de ejemplo para ayudar a diferenciar los picos de VOC que se produjeron en los mismos lugares o cerca de ellos en varios días de recorrido.

#### Zona portuaria y terminales de depósitos

Se observaron picos de uno o varios VOC en múltiples recorridos y días de recorrido en las inmediaciones y en la dirección del viento de diferentes terminales de depósitos e instalaciones relacionadas con el puerto en la zona portuaria. Estos picos parecen estar asociados a fuentes de VOC no procedentes de la combustión, ya que los niveles de CO y NO<sub>x</sub> eran comparativamente bajos. Algunos de los picos de VOC incluían varios compuestos, mientras que en otros predominaban el estireno y el tolueno.

En la zona portuaria de Richmond existen varias terminales de depósitos que se utilizan para almacenar y transportar diversos productos. Las operaciones en estas instalaciones pueden producir la liberación de VOC al aire ambiente, en particular durante el llenado o vaciado de líquidos dentro o fuera de los depósitos, y por la volatilización y fuga de gases durante el almacenamiento. También hay otras instalaciones y operaciones en la zona portuaria, como talleres de reparación de motores marinos y carrocerías, operaciones portuarias generales como la actividad de remolcadores y la descarga y carga de embarcaciones, la actividad ferroviaria y de camiones, una terminal de carbón, un reciclador de metales y un club náutico.

El 29 de marzo se detectaron picos de estireno y tolueno en Wright Avenue (**Figura 5, Figura 6, Tabla 3**). Este pico incluía las concentraciones más elevadas de estireno medidas durante el estudio (75 ppb). Las concentraciones máximas de estireno y tolueno se produjeron de manera inmediata junto a una terminal de depósitos. Los vientos soplaban del sur-sureste, en dirección a la terminal de depósitos. También había indicios de una estela que se extendía hacia el norte desde este lugar, a través de la carretera I-580 hacia

---

<sup>15</sup> Hoja informativa de la EPA sobre los efectos del estireno en la salud, del cuaderno de los efectos sobre la salud de los contaminantes peligrosos del aire de la EPA:

[https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-05/documents/styrene\\_update\\_2a.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-05/documents/styrene_update_2a.pdf)

las áreas residenciales. Aunque las concentraciones disminuyeron en la dirección del viento, este ejemplo ilustra cómo tales estelas pueden extenderse mucho más allá de sus orígenes.



Figura 5. Vista del mapa de las concentraciones de estireno medidas cerca de una terminal de depósitos a lo largo de Wright Avenue, el 29 de marzo de 2022.

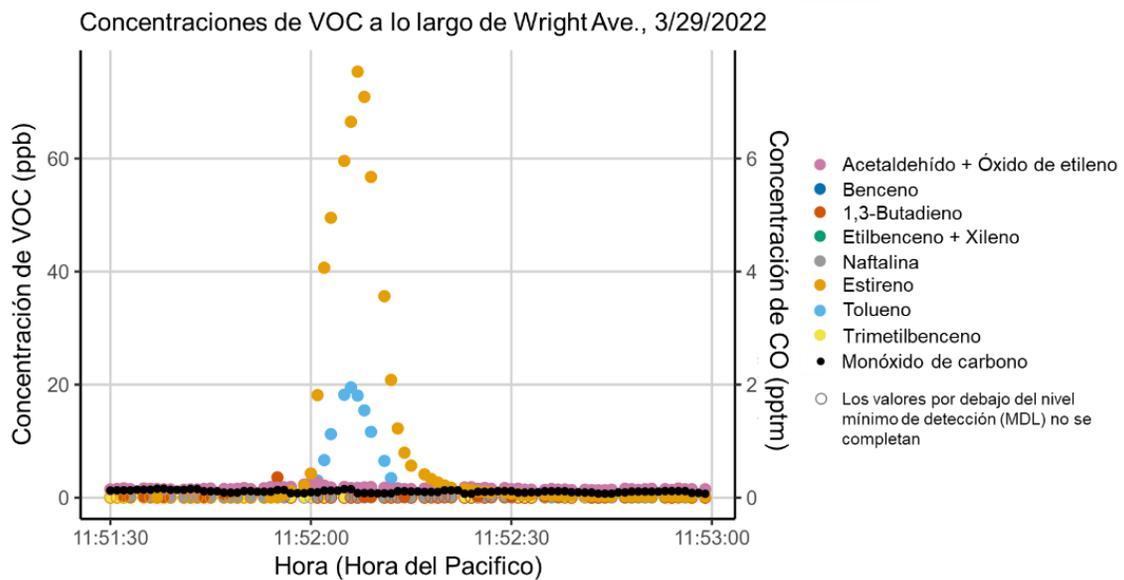


Figura 6. Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas cerca de una terminal de depósitos a lo largo de Wright Avenue, el 29 de marzo de 2022.

**Tabla 3.** Concentraciones de VOC medidas cerca de una terminal de depósitos a lo largo de Wright Avenue el 29 de marzo de 2022.

Concentraciones de VOC (ppb) a lo largo de Wright Avenue, el 29 de marzo de 2022		
Contaminante	Pico local	Promedio del día de recorrido
Acetaldehído + óxido de etileno	2.71	1.98
Benceno	1.19	0.17
1,3-butadieno	3.59	0.08
Etilbenceno + xileno	0.88	0.12
Naftalina	0.05	0.03
Estireno	75.37	0.08
Tolueno	19.50	0.15
Trimetilbenceno	0.36	0.08

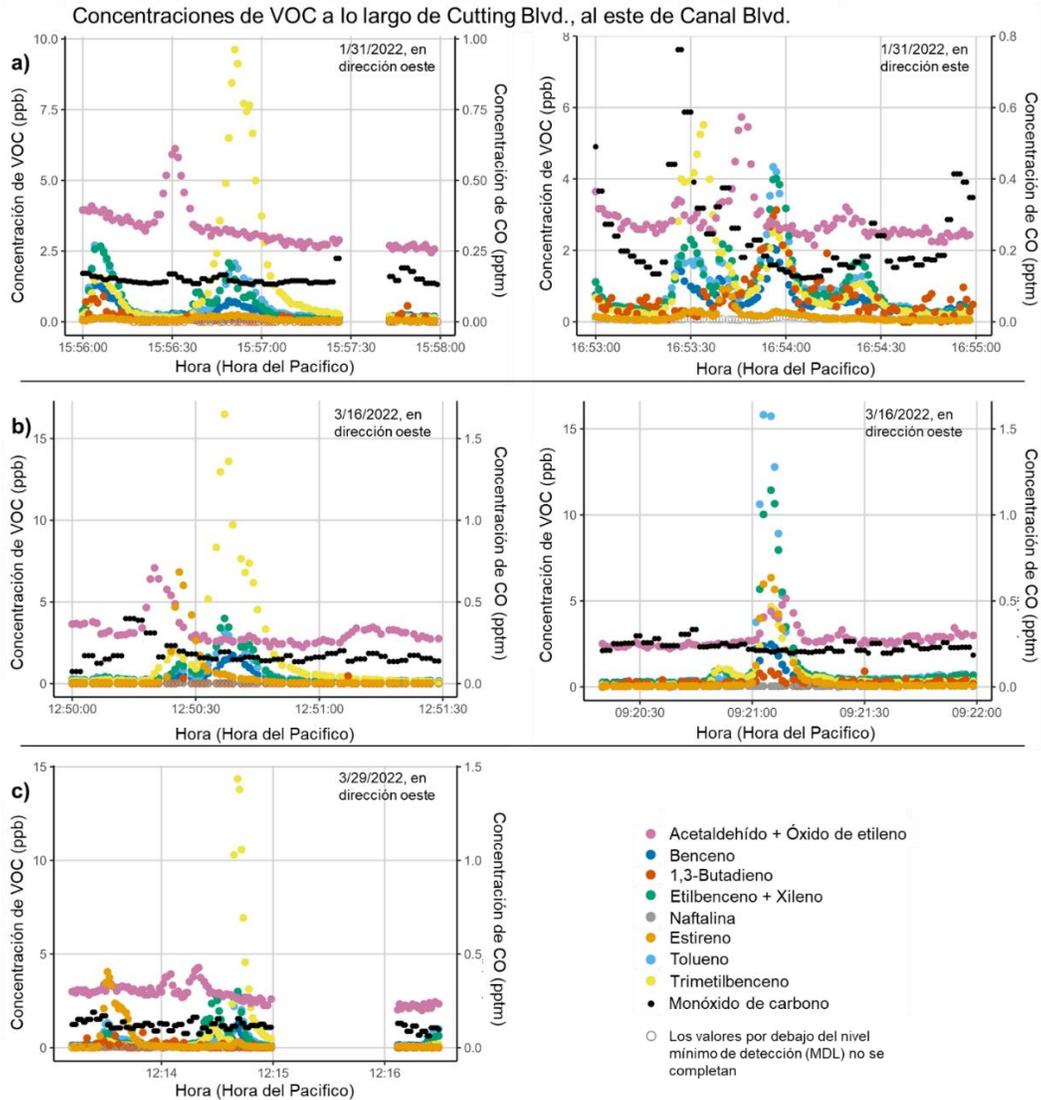
Además, en la zona portuaria, se observaron picos de varios VOC a lo largo de varios trayectos y días de recorrido (31 de enero, 16 de marzo, 29 de marzo) a lo largo de Cutting Boulevard al este de Canal Boulevard, como se muestra en la **Figure 7**, **Figura 8** y **Tabla 4**. Por ejemplo, el 31 de enero se observaron varios picos de diferentes VOC en dos recorridos de monitoreo con aproximadamente una hora de diferencia. En ambos recorridos, los picos de trimetilbenceno se encontraban junto a picos más pequeños de BTEX. También se observaron picos adicionales de distintos VOC ligeramente al este de los picos primarios; algunos de estos picos adicionales incluían el trimetilbenceno, el benceno y el 1,3-butadieno. También había picos independientes de acetaldehído + óxido de etileno. El trayecto en dirección este incluía picos de CO que no eran evidentes en otros trayectos. Estos múltiples picos de diferentes VOC, con y sin picos en los indicadores de combustión, pueden indicar estelas de diferentes fuentes de emisiones, lo que no es inesperado dada la compleja mezcla de fuentes de emisiones en esta área. En estos ejemplos, los picos de trimetilbenceno y BTEX se produjeron en la dirección del viento de las instalaciones de reparación marítima a lo largo de Cutting Blvd. y de las terminales de depósitos a través del canal de navegación.



**Figura 7a.** Vista del mapa de las concentraciones de trimetilbenceno medidas a lo largo de Cutting Boulevard, cerca de las terminales de depósitos y las operaciones marítimas el 31 de enero de 2022.



**Figuras 7b y 7c.** Vistas del mapa de las concentraciones de trimetilbenceno medidas a lo largo de Cutting Boulevard cerca de las terminales de depósitos y las operaciones marítimas b) el 16 de marzo de 2022 y c) el 29 de marzo de 2022.



**Figura 8.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO a lo largo de Cutting Boulevard medidas cerca de terminales de depósitos y operaciones marítimas a) el 31 de enero de 2022, b) el 16 de marzo de 2022 y c) el 29 de marzo de 2022.

**Tabla 4.** Concentraciones de VOC medidas a lo largo de Cutting Boulevard cerca de las terminales de depósitos y operaciones marítimas el 31 de enero de 2022, 16 de marzo de 2022 y 29 de marzo de 2022.

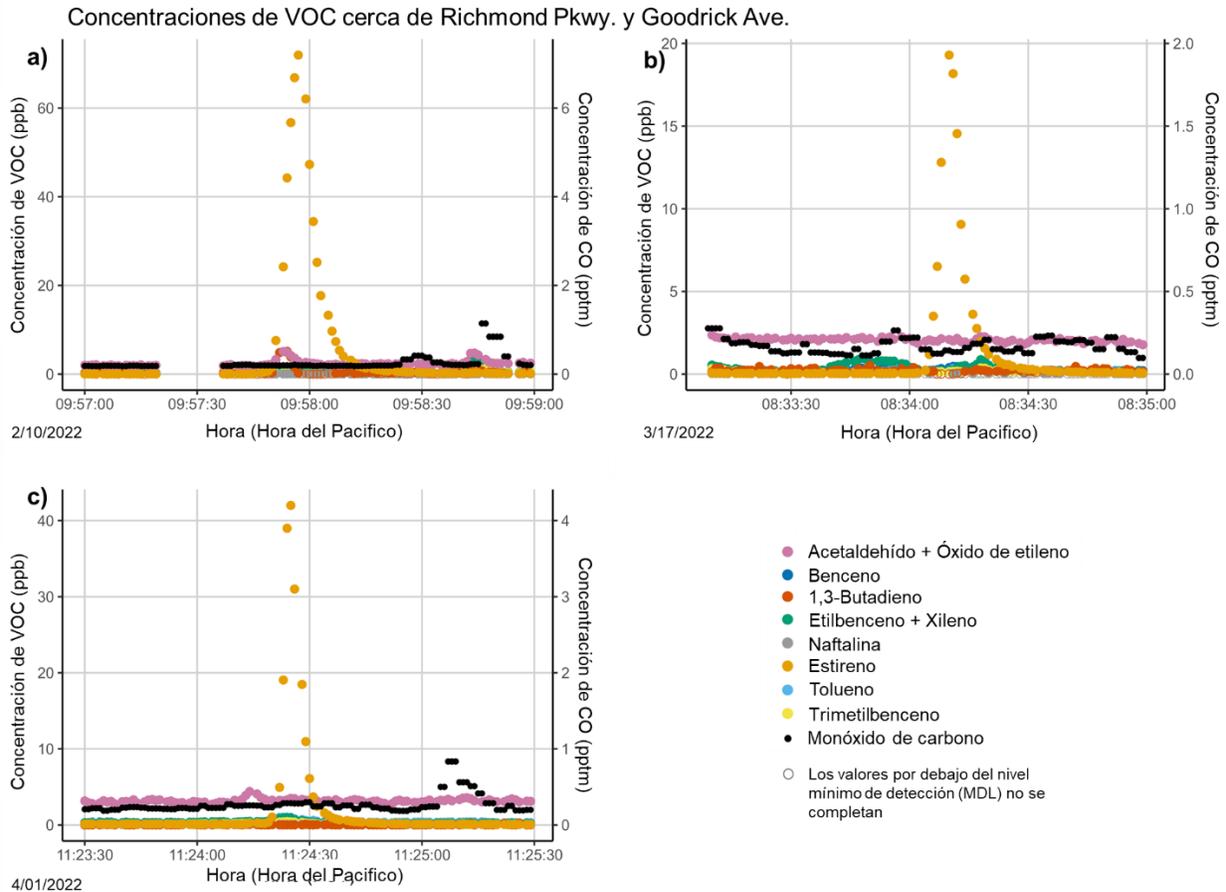
Concentraciones de VOC (ppb) a lo largo de Cutch Boulevard, al este de Canal Boulevard						
Contaminante	31 de enero de 2022		16 de marzo de 2022		29 de marzo de 2022	
	Pico Local	Promedio del día de recorrido	Pico Local	Promedio del día de recorrido	Pico Local	Promedio del día de recorrido
Acetaldehído + óxido de etileno	6.12	2.41	7.09	2.49	4.28	1.98
Benceno	2.06	0.29	2.48	0.28	1.23	0.17
1,3-butadieno	3.13	0.21	0.91	0.05	0.36	0.08
Etilbenceno + xileno	4.01	0.26	11.40	0.35	3.00	0.12
Naftalina	0.15	0.04	0.17	0.04	0.04	0.03
Estireno	0.93	0.04	6.83	0.04	0.32	0.08
Tolueno	4.34	0.31	15.80	0.37	2.95	0.15
Trimetilbenceno	9.62	0.17	16.50	0.21	14.35	0.08

## Fabricación de plásticos

Se detectaron niveles más elevados de estireno en varios trayectos y días de recorrido (10 de febrero, 17 de marzo, 1 de abril) cerca de la intersección de Richmond Parkway y Goodrick Avenue, en las inmediaciones de ATS Products, una instalación que trabaja con plásticos para la fabricación de conductos (Figura 9, Figura 10 y Tabla 5). Los niveles más elevados de estireno se produjeron sin picos destacados de otros VOC o indicadores de combustión. Los picos de estireno se produjeron, por lo general, en la dirección del viento del fabricante de plásticos durante cada recorrido. También hay otras fuentes potenciales de VOC en esta área, incluidas una instalación de reparación de motores eléctricos, un limpiador de tanques, un negocio de jardinería y una empresa de alquiler de equipos.



**Figura 9.** Vistas del mapa de las concentraciones de estireno medidas a lo largo de Richmond Parkway y Goodrick Avenue cerca de una instalación de fabricación de conductos de plástico a) el 10 de febrero de 2022, b) el 17 de marzo de 2022 y c) el 1 de abril de 2022.



**Figura 10.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas a lo largo de Richmond Parkway y Goodrick Avenue cerca de una instalación de fabricación de plásticos a) el 10 de febrero de 2022, b) el 17 de marzo de 2022 y c) el 1 de abril de 2022.

**Tabla 5.** Concentraciones de VOC medidas a lo largo de Richmond Parkway y Goodrick Avenue cerca de una instalación de fabricación de plásticos el 10 de febrero de 2022, 17 de marzo de 2022 y 1 de abril de 2022.

Concentraciones de VOC (ppb) cerca de Richmond Parkway y Goodrick Avenue						
Contaminante	10 de febrero de 2022		17 de marzo de 2022		1 de abril de 2022	
	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido
<b>Acetaldehído + óxido de etileno</b>	5.11	3.30	2.36	2.12	4.40	3.41
<b>Benceno</b>	2.72	0.31	0.47	0.23	0.96	0.38
<b>1,3-butadieno</b>	5.15	0.13	0.53	0.13	0.24	0.18
<b>Etilbenceno + xileno</b>	3.53	0.26	0.96	0.22	0.99	0.39
<b>Naftalina</b>	0.11	0.04	0.04	0.03	0.09	0.06
<b>Estireno</b>	71.95	0.10	19.30	0.04	41.99	0.13
<b>Tolueno</b>	4.27	0.37	0.74	0.21	1.01	0.44
<b>Trimetilbenceno</b>	1.62	0.15	0.38	0.10	0.45	0.20

## Gasolineras

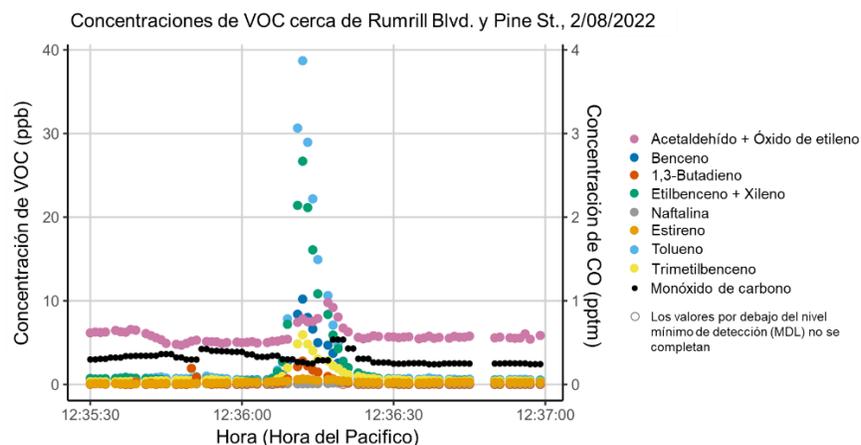
La evaporación de la gasolina y otros combustibles líquidos en las gasolineras produce emisiones de VOC. Las emisiones de las gasolineras pueden ser mayores cuando los sistemas de recuperación de vapores no funcionan de manera adecuada, durante las horas en que se reabastece la gasolinera y cuando el combustible se manipula mal o se derrama inadvertidamente.

El 8 de febrero se detectaron niveles más elevados de varios VOC, incluidos BTEX, trimetilbenceno y 1,3-butadieno, en el exterior de la gasolinera Top Food and Gas, situada en la esquina de Rumrill Boulevard y Pine Avenue, en San Pablo (Figura 11, Figura 12, Tabla 6). La gasolinera se estaba reabasteciendo en ese momento y se percibió un olor a gasolina. Esta gasolinera está adyacente a las residencias y a un parque deportivo al aire libre.

En respuesta a los niveles más elevados de VOC que se midieron, el equipo de prueba de fuente del Distrito inspeccionó la estación, lo que resultó en varias remisiones de infracción y mitigación a la división de cumplimiento y ejecución del Distrito.



**Figura 11.** Vista del mapa de las concentraciones de benceno medidas cerca de una gasolinera a lo largo de Pine Avenue, el 8 de febrero de 2022.



**Figura 12.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas cerca de una gasolinera a lo largo de Pine Avenue, el 8 de febrero de 2022.

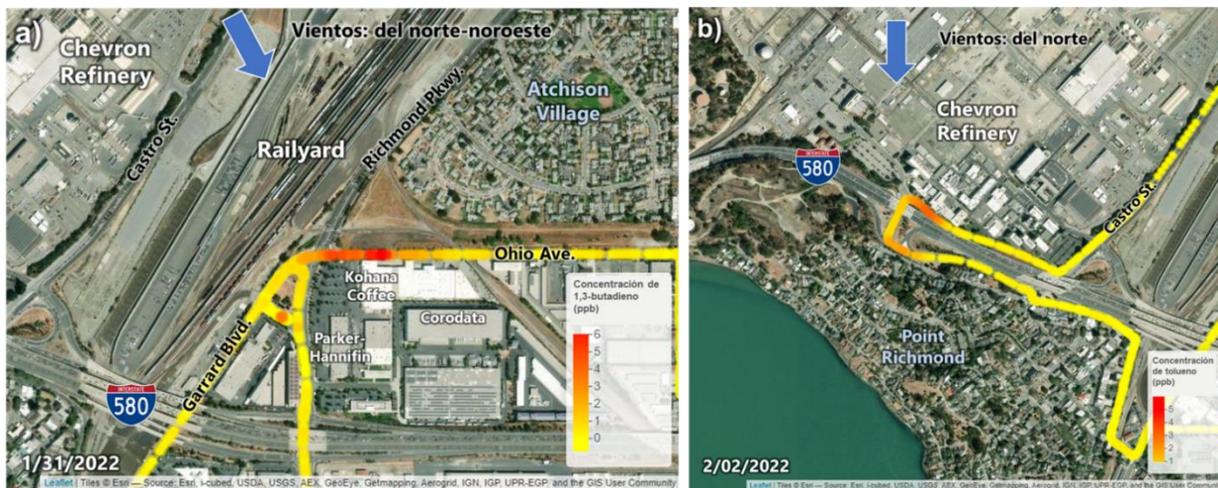
**Tabla 6.** Concentraciones de VOC medidas cerca de una gasolinera a lo largo de Pine Avenue el 8 de febrero de 2022.

Concentraciones de VOC (ppb) cerca de la gasolinera, 8 de febrero de 2022		
Contaminante	Pico local	Promedio del día de recorrido
Acetaldehído + óxido de etileno	9.78	4.44
Benceno	10.20	0.51
1,3-butadieno	2.78	0.13
Etilbenceno + xileno	26.69	0.66
Naftalina	0.17	0.06
Estireno	0.66	0.16
Tolueno	38.70	0.59
Trimetilbenceno	5.93	0.27

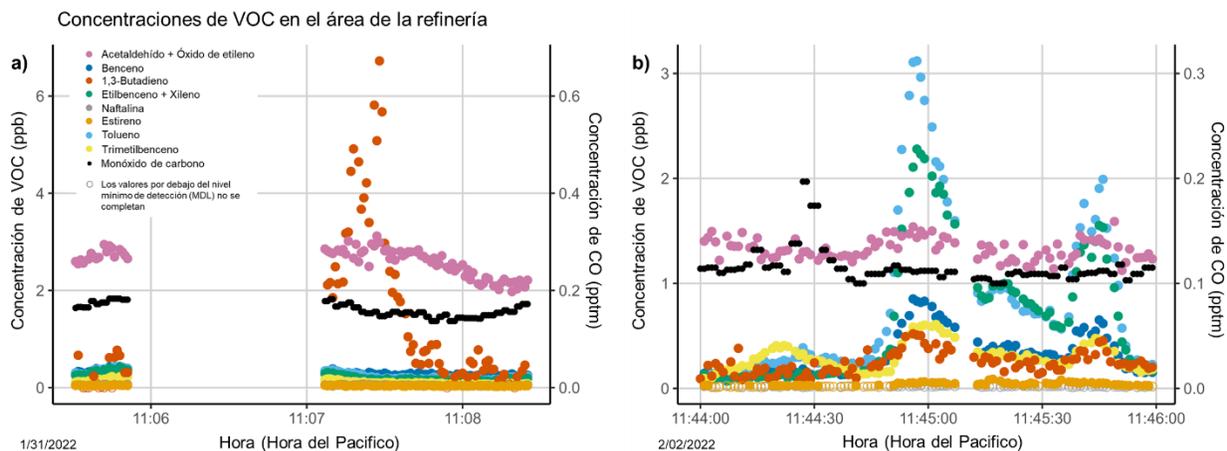
### Área de la refinería

En ocasiones, se detectaron niveles más elevados de VOC en las inmediaciones de la refinería Chevron y las instalaciones relacionadas adyacentes. Las operaciones asociadas al refinado, procesamiento, transporte y almacenamiento de petróleo y gas pueden producir VOC. La refinería es la mayor fuente de VOC en el área de Richmond y está sustentada por varias instalaciones y operaciones cercanas que también producen VOC.

Dos ejemplos de niveles relativamente altos de diferentes VOC que se encontraron cerca de la refinería se muestran en la **Figura 13**, **Figura 14** y **Tabla 7**. Uno de ellos se produjo a lo largo de Ohio Avenue, en la dirección del viento de la refinería y el patio ferroviario adyacente, y se registró un pico de 1,3-butadieno. El segundo se produjo al sur del área de la refinería e incluyó picos de varios VOC, incluidos BTEX, trimetilbenceno y 1,3-butadieno. También se detectó un olor en el momento de estos picos. En ambos ejemplos, los niveles de indicadores de combustión eran comparativamente más bajos, lo que podría indicar la existencia de fuentes de VOC ajenas a la combustión.



**Figura 13.** Vistas del mapa de las concentraciones medidas de a) 1,3-butadieno a lo largo de la Avenida Ohio el 31 de enero de 2022 y b) tolueno cerca de la refinería Chevron el 2 de febrero de 2022.



**Figura 14.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas a) a lo largo de Ohio Avenue el 31 de enero de 2022 y b) cerca de la refinería Chevron el 2 de febrero de 2022.

**Tabla 7.** Concentraciones de VOC medidas a) a lo largo de Ohio Avenue el 31 de enero de 2022 y b) cerca de la refinería Chevron el 2 de febrero de 2022.

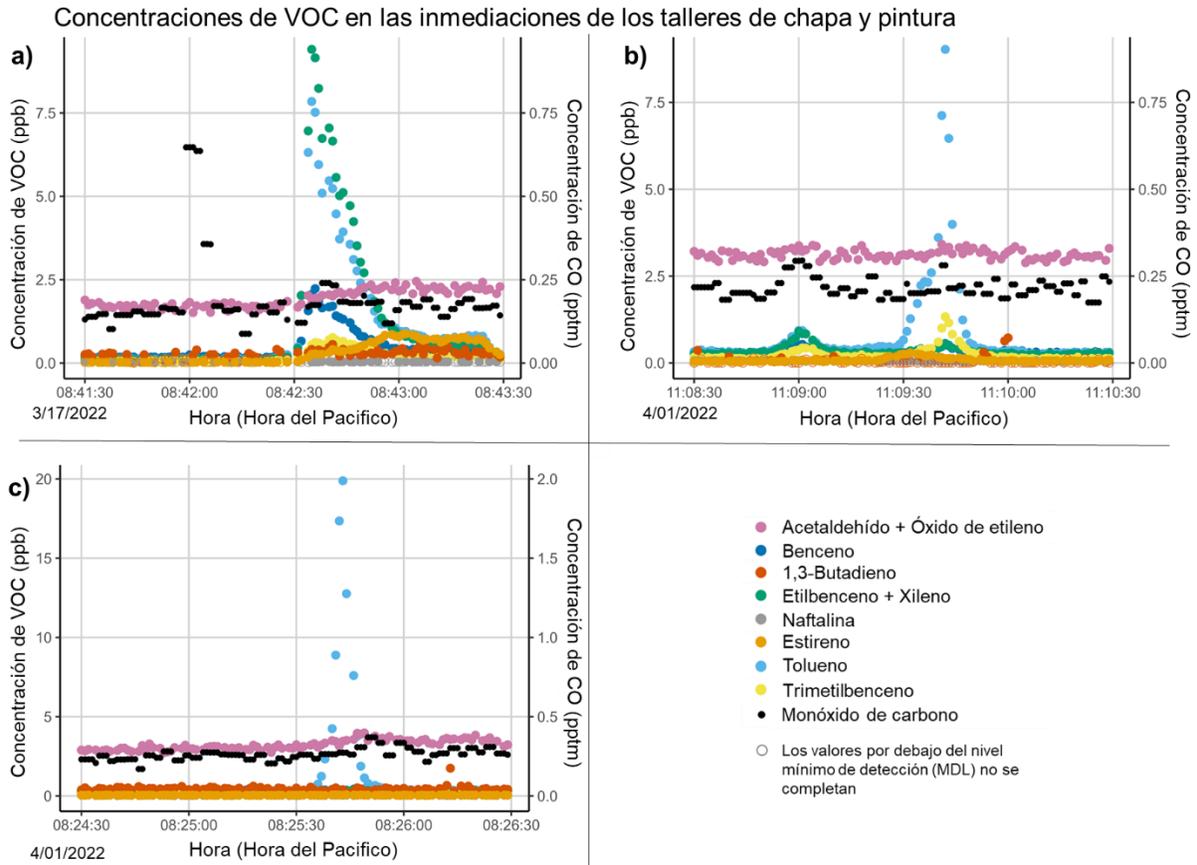
Concentraciones de VOC (ppb) cerca del área de refinería				
Contaminante	31 de enero de 2022		2 de febrero de 2022	
	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido
Acetaldehído + óxido de etileno	3.12	2.41	1.59	1.66
Benceno	0.43	0.28	0.85	0.18
1,3-butadieno	6.72	0.21	0.52	0.16
Etilbenceno + xileno	0.42	0.26	2.28	0.19
Naftalina	0.07	0.04	0.03	0.02
Estireno	0.06	0.04	0.09	0.06
Tolueno	0.43	0.31	3.12	0.22
Trimetilbenceno	0.23	0.16	0.61	0.10

### Talleres de chapa y pintura

Existen numerosos talleres de chapa y pintura en el área de estudio, incluidos más de 40 con permisos de calidad del aire. Los VOC pueden introducirse en el aire a partir de productos como pinturas, disolventes y limpiadores que se utilizan en los talleres de chapa y pintura. Se detectaron niveles más elevados de determinados VOC en las inmediaciones y en la dirección del viento de algunos talleres de chapa y pintura (**Figura 15**, **Figura 16** y **Tabla 8**). Algunos de los picos locales de VOC incluían varios compuestos, mientras que otros consistían principalmente de tolueno. Por ejemplo, se observaron picos de VOC a lo largo de Giant Highway en San Pablo en dos días de recorrido diferentes. En uno de los recorridos (17 de marzo), se detectaron picos de varios VOC (sobre todo de tolueno y etilbenceno + xileno), mientras que en otro (1 de abril), el pico fue principalmente de tolueno y, en menor medida, de trimetilbenceno. En ambos casos, los niveles de CO fueron comparativamente más bajos, lo que sugiere fuentes de VOC que no son de combustión. Los picos de VOC se detectaron en la dirección del viento de un taller de chapa y pintura y otras instalaciones relacionadas con la automoción. En otro ejemplo, se observaron niveles más elevados de tolueno en la dirección del viento de un taller de chapa y pintura en las proximidades de Market Avenue y 22<sup>nd</sup> Street en San Pablo.



**Figura 15.** Vistas del mapa de las concentraciones de tolueno medidas en las inmediaciones de los talleres de chapa y pintura a lo largo de a) Giant Highway el 17 de marzo de 2022, b) Giant Highway el 1 de abril de 2022 y c) Market Avenue el 1 de abril de 2022.



**Figura 16.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas en las inmediaciones de los talleres de chapa y pintura a lo largo de a) Giant Highway el 17 de marzo de 2022, b) Giant Highway el 1 de abril de 2022 y c) Market Avenue el 1 de abril de 2022.

**Tabla 8.** Concentraciones de VOC medidas en las inmediaciones de los talleres de chapa y pintura a lo largo de Giant Highway el 17 de marzo de 2022, Giant Highway el 1 de abril de 2022 y Market Avenue el 1 de abril de 2022.

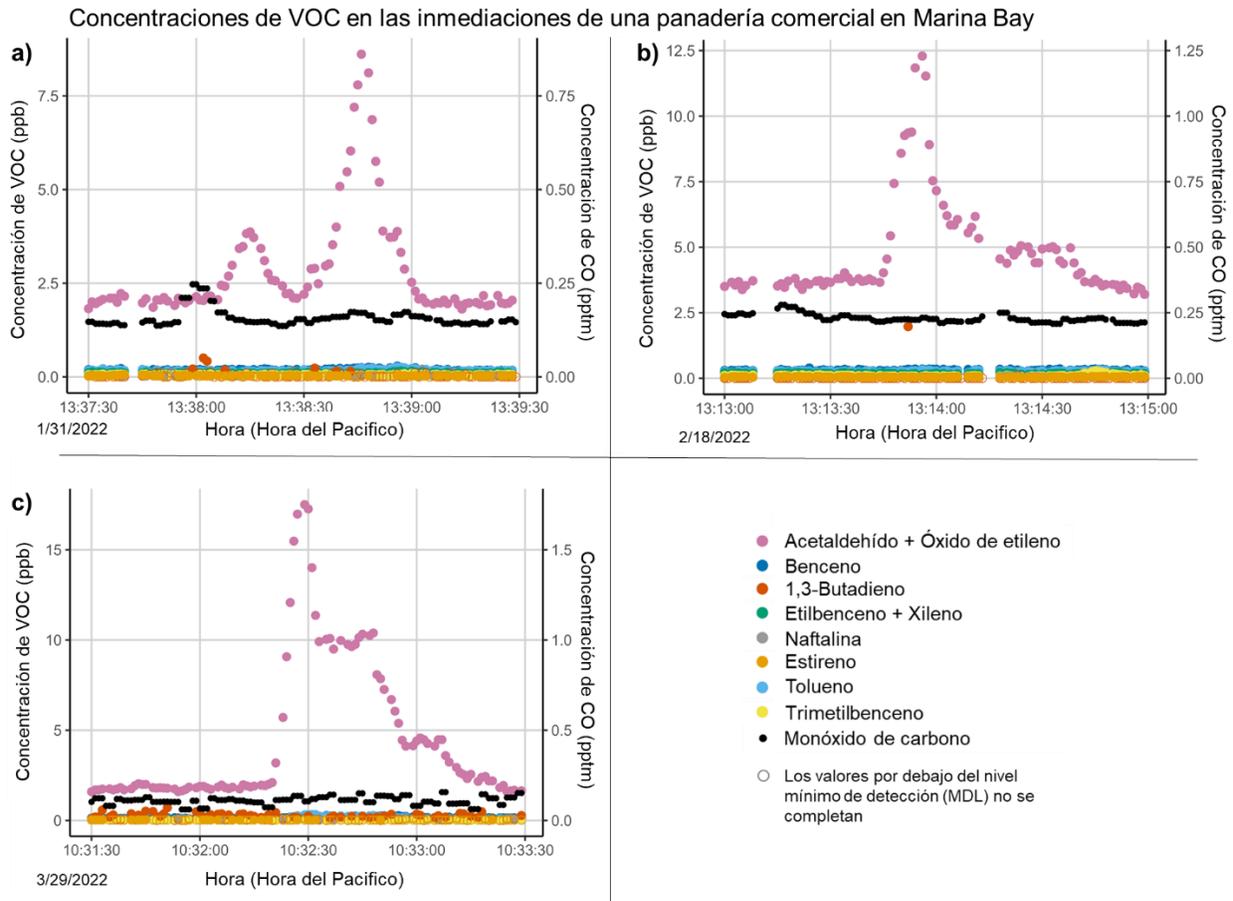
Concentraciones de VOC (ppb) cerca de los talleres de chapa y pintura						
Contaminante	17 de marzo de 2022 Giant Highway		1 de abril de 2022 Giant Highway		1 de abril de 2022 Market Avenue	
	Pico Local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido
Acetaldehído + óxido de etileno	2.45	2.12	3.42	3.41	3.97	3.41
Benceno	2.23	0.23	0.56	0.38	0.44	0.38
1,3-butadieno	0.56	0.13	0.72	0.18	1.75	0.18
Etilbenceno + xileno	9.41	0.22	0.91	0.39	0.43	0.39
Naftalina	0.06	0.03	0.08	0.06	0.07	0.06
Estireno	0.88	0.04	0.29	0.13	0.08	0.13
Tolueno	7.84	0.21	9.03	0.44	19.88	0.44
Trimetilbenceno	0.77	0.10	1.33	0.20	0.20	0.20

## Panaderías comerciales

Los gases de escape de las panaderías comerciales pueden contener acetaldehído y otros VOC, producidos junto con el dióxido de carbono durante la fermentación de la masa. Se detectaron niveles más elevados de acetaldehído en varios trayectos y días de recorrido en las inmediaciones y en la dirección del viento de dos panaderías comerciales del área de estudio, una en el área de Marina Bay y otra cerca de North Richmond. Aunque los instrumentos de monitoreo no pueden diferenciar entre acetaldehído y óxido de etileno porque tienen los mismos pesos moleculares, es probable que las concentraciones más elevadas medidas en estas áreas estén asociadas al acetaldehído, dadas las fuentes de emisiones cercanas. En algunos casos también se detectaron olores de panadería. En el ejemplo de Marina Bay, se observaron varios picos de acetaldehído en el exterior de la fábrica de pan Safeway (**Figura 17**, **Figura 18** y **Tabla 9**). Los picos aparecieron en lugares diferentes en días diferentes, y por lo general se produjeron directamente en la dirección del viento de la panadería. Los picos de acetaldehído también son aproximadamente de la misma magnitud y no se encontraron con picos de otros VOC ni con CO.



**Figura 17.** Vistas del mapa de las concentraciones de acetaldehído + óxido de etileno medidas en las inmediaciones de la fábrica de pan Safeway a) el 31 de enero de 2022, b) el 18 de febrero de 2022 y c) el 29 de marzo de 2022.



**Figura 18.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas en las inmediaciones de una panadería comercial en Marina Bay a) el 31 de enero de 2022, b) el 18 de febrero de 2022 y c) el 29 de marzo de 2022.

**Tabla 9.** Concentraciones de VOC y CO medidas en las inmediaciones de una panadería comercial en Marina Bay el 31 de enero de 2022, 18 de febrero de 2022 y 29 de marzo de 2022.

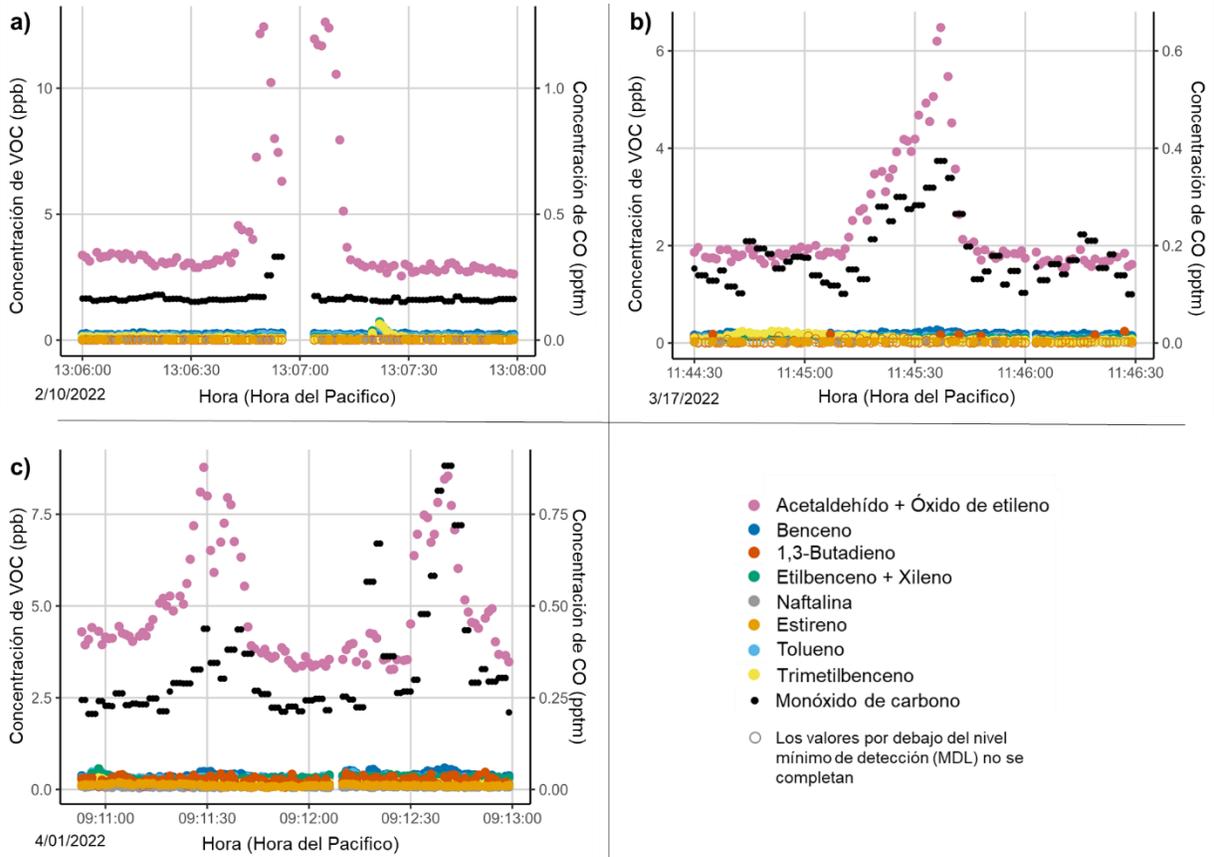
Concentraciones de VOC (ppb) cerca de una panadería comercial en Marina Bay						
Contaminante	31 de enero de 2022		18 de febrero de 2022		29 de marzo de 2022	
	Pico Local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido
<b>Acetaldehído + óxido de etileno</b>	8.61	2.41	12.29	3.61	17.50	1.98
<b>Benceno</b>	0.29	0.28	0.39	0.37	0.32	0.16
<b>1,3-butadieno</b>	0.50	0.21	1.97	0.02	0.71	0.08
<b>Etilbenceno + xileno</b>	0.15	0.26	0.24	0.34	0.09	0.12
<b>Naftalina</b>	0.05	0.04	0.08	0.05	0.04	0.03
<b>Estireno</b>	0.06	0.04	0.07	0.06	0.03	0.08
<b>Tolueno</b>	0.26	0.31	0.34	0.42	0.33	0.15
<b>Trimetilbenceno</b>	0.09	0.16	0.29	0.18	0.05	0.08

También se observaron picos de acetaldehído + óxido de etileno en varios días de recorrido cerca de una instalación de panadería comercial cerca de North Richmond (**Figura 19, Figura 20 y Tabla 10**). Los picos se produjeron, por lo general, muy cerca o en la dirección del viento de la panadería. A diferencia del ejemplo anterior, los picos de acetaldehído coincidían, en ocasiones, con picos de CO, mientras que los niveles de otros VOC permanecieron bajos.



**Figura 19.** Vistas del mapa de las concentraciones de acetaldehído + óxido de etileno medidas en las inmediaciones de una panadería comercial cerca de North Richmond a) el 10 de febrero de 2022, b) el 17 de marzo de 2022 y c) el 1 de abril de 2022.

Concentraciones de VOC en las inmediaciones de una panadería comercial cerca de North Richmond



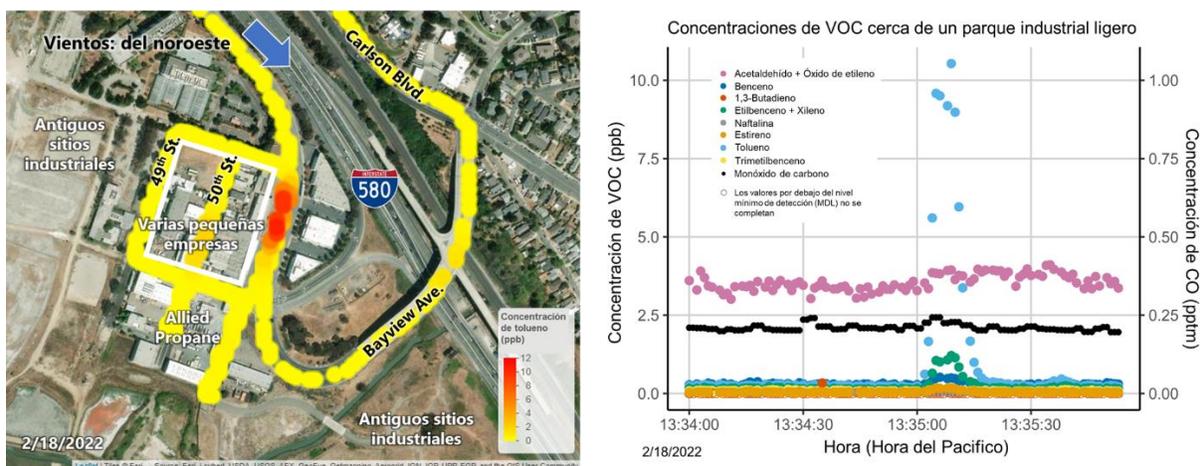
**Figura 20.** Concentraciones de VOC y CO medidas en las inmediaciones de una panadería comercial cerca de North Richmond a) el 10 de febrero de 2022, b) el 17 de marzo de 2022 y c) el 1 de abril de 2022.

**Tabla 10.** Concentraciones de VOC y CO medidas en las inmediaciones de una panadería comercial cerca de North Richmond el 10 de febrero de 2022, 17 de marzo de 2022, 1 de abril de 2022.

Concentraciones de VOC (ppb) cerca de una panadería comercial en North Richmond						
Contaminante	10 de febrero de 2022		17 de marzo de 2022		1 de abril de 2022	
	Pico Local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido
<b>Acetaldehído + óxido de etileno</b>	12.63	0.13	6.48	2.12	8.78	3.41
<b>Benceno</b>	0.37	0.31	0.27	0.23	0.59	0.38
<b>1,3-butadieno</b>	0.14	0.13	0.24	0.13	0.47	0.18
<b>Etilbenceno + xileno</b>	0.73	0.26	0.17	0.22	0.57	0.39
<b>Naftalina</b>	0.05	0.04	0.04	0.03	0.10	0.06
<b>Estireno</b>	0.05	0.10	0.03	0.04	0.19	0.13
<b>Tolueno</b>	0.52	0.37	0.17	0.21	0.49	0.44
<b>Trimetilbenceno</b>	0.64	0.15	0.24	0.10	0.32	0.20

## Parque industrial ligero

Hay muchos parques industriales ligeros en toda el área de estudio que pueden incluir una variedad de instalaciones y operaciones. Algunos de estos parques industriales son adyacentes o se encuentran dentro de áreas residenciales. Se observaron niveles más elevados de varios VOC (en particular, tolueno) en las inmediaciones y en la dirección del viento de un parque industrial ligero en el área de Marina Bay (**Figura 21** y **Tabla 11**). En esta área hay varias empresas que pueden ser fuentes de tolueno y otros VOC, entre ellas una ebanistería y talleres de pintura, gráficos y arte. Esta área también se encuentra en las proximidades de antiguos terrenos industriales, algunos de los cuales están en proceso de rehabilitación para su futuro desarrollo. En este ejemplo, no había ningún pico de CO en el mismo lugar, lo que probablemente indica que los VOC no proceden de fuentes de combustión.



**Figura 21.** Vista del mapa de las concentraciones medidas de tolueno (izquierda) y series temporales de las concentraciones de VOC y CO (derecha) medidas cerca de un parque industrial ligero junto a la carretera I-580, el 18 de febrero de 2022.

**Tabla 11.** Concentraciones de VOC medidas cerca de un parque industrial ligero junto a la carretera I-580, el 18 de febrero de 2022.

Concentraciones de VOC (ppb) cerca de un parque industrial ligero, el 18 de febrero de 2022		
Contaminante	Pico local	Promedio del día de recorrido
Acetaldehído + óxido de etileno	4.11	3.61
Benceno	0.52	0.37
1,3-butadieno	0.33	0.02
Etilbenceno + xileno	1.21	0.34
Naftalina	0.06	0.05
Estireno	0.18	0.06
Tolueno	10.53	0.42
Trimetilbenceno	0.13	0.18

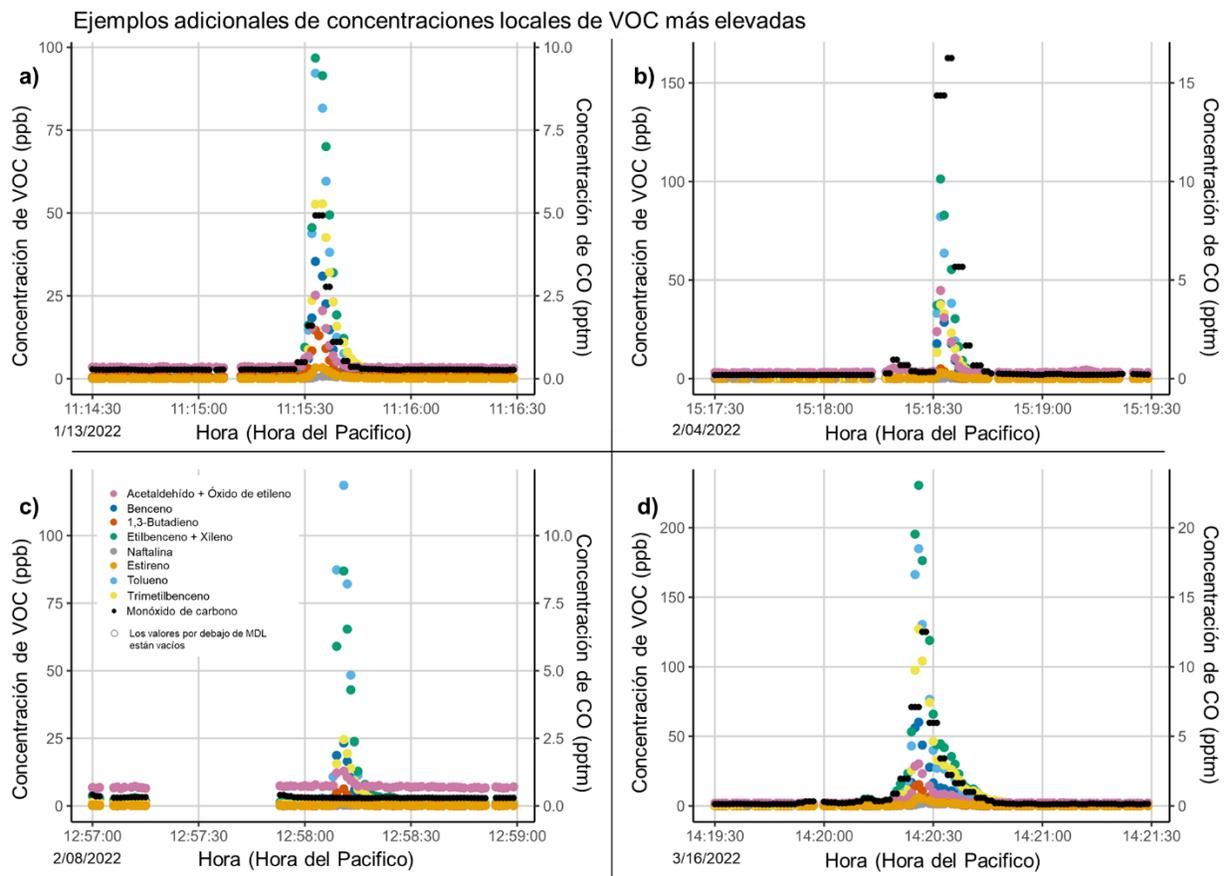
## Ejemplos adicionales de picos de VOC

Esta sección contiene ejemplos de casos de concentraciones locales de VOC más elevadas, que presentaron algunas de las concentraciones más altas de diferentes compuestos que se midieron durante el estudio. Las mayores concentraciones de VOC en estos ejemplos no tenían fuentes evidentes según los datos disponibles, el análisis preliminar y el conocimiento de las fuentes de contaminación cercanas conocidas.

Los cuatro ejemplos representados a continuación en la **Figura 22** y **Tabla 12** se produjeron en:

- Sanford Avenue cerca de Battery Street en North Richmond (31 de enero)
- 25<sup>th</sup> Street cerca de Barrett Avenue en Richmond (4 de febrero)
- Rheem Avenue cerca de 23<sup>rd</sup> Street en Richmond (8 de febrero)
- Cutting Boulevard cerca de 26<sup>th</sup> Street (16 de marzo)

En estos ejemplos, se observaron picos en la mayoría de los VOC medidos, y en particular para BTEX y el trimetilbenceno. Excepto el ejemplo de Rheem Ave. del 8 de febrero, los demás ejemplos de picos locales de VOC coincidían con picos de CO, lo que indica la existencia de fuentes de combustión cerca de esos lugares. El pico de VOC a lo largo de Rheem Ave. no tenía un pico de CO en el mismo lugar, lo que probablemente indica una fuente no relacionada con la combustión. Las concentraciones más elevadas de benceno, trimetilbenceno, etilbenceno + xileno, acetaldehído + óxido de etileno y 1,3-butadieno que se midieron durante todo el estudio se produjeron a lo largo de Cutting Blvd. cerca de 26<sup>th</sup> Street en el recorrido del 16 de marzo. Las segundas concentraciones más elevadas de tolueno y naftalina durante el estudio también se midieron en este momento y lugar. Estos ejemplos de picos de VOC se produjeron en áreas principalmente residenciales sin fuentes evidentes conocidas de VOC procedentes o no de la combustión.



**Figura 22.** Series temporales de las concentraciones de VOC y CO medidas durante los ejemplos adicionales de picos de VOC, medidas a lo largo de a) Sanford Avenue el 13 de enero 2022, b) 25<sup>th</sup> Street el 4 de febrero de 2022, c) Rheem Avenue el 8 de febrero de 2022 y d) Cutting Boulevard el 16 de marzo de 2022.

**Tabla 12.** Concentraciones de VOC medidas durante los ejemplos adicionales de picos de VOC, medidas a lo largo de Sanford Ave. el 13 de enero de 2022, 25<sup>th</sup> St. el 4 de febrero de 2022, Rheem Avenue el 8 de febrero de 2022 y Cutting Boulevard el 16 de marzo de 2022.

Ejemplos adicionales de concentraciones locales de VOC más elevadas								
Contaminante	13 de enero de 2022 (Sanford Ave.)		4 de febrero de 2022 (25 <sup>th</sup> St.)		8 de febrero de 2022 (Rheem Ave.)		16 de marzo de 2022 (Cutting Blvd.)	
	Pico Local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido	Pico local	Promedio del día de recorrido
<b>Acetaldehído + óxido de etileno</b>	25.20	3.71	44.70	3.93	12.85	4.44	30.21	2.49
<b>Benceno</b>	35.37	0.47	37.92	0.37	23.28	0.51	60.19	0.28
<b>1,3-butadieno</b>	14.58	0.20	4.92	0.00	6.27	0.13	15.30	0.05
<b>Etilbenceno + xileno</b>	96.74	0.56	101.27	0.30	86.90	0.66	230.48	0.35
<b>Naftalina</b>	0.84	0.06	0.21	0.05	0.24	0.06	1.77	0.04
<b>Estireno</b>	3.32	0.08	3.05	0.04	1.19	0.16	6.05	0.04
<b>Tolueno</b>	92.16	0.59	82.11	0.34	118.61	0.59	184.93	0.37
<b>Trimetilbenceno</b>	52.78	0.32	37.49	0.18	24.53	0.27	127.08	0.21

En el caso de dos compuestos, el diclorobenceno y el benzo(a)pireno, la gran mayoría de las mediciones se situaron por debajo de los límites de detección del método.

El diclorobenceno se utiliza en productos como las bolas de naftalina y ciertos desodorizantes, sobre todo para los inodoros; por ello, suele considerarse principalmente un contaminante del aire interior. Sin embargo, también se utiliza como insecticida, para las operaciones de tratamiento de aguas y como intermediario en la producción química.<sup>16</sup> El inventario de emisiones del Distrito para el área de estudio incluye el diclorobenceno para algunas instalaciones y operaciones de tratamiento de aguas y gestión de residuos. Aunque la mayoría de las mediciones de diclorobenceno estaban por debajo del MDL, se midieron algunos casos de niveles relativamente más elevados del compuesto en los mismos lugares en varios días de recorrido. Un ejemplo de ello se produjo en el vecindario norte y este de Richmond en 32<sup>nd</sup> Street, entre Nevin Avenue y Barrett Avenue, donde se midieron niveles relativamente elevados de diclorobenceno en los recorridos del 19 de enero y el 4 de febrero. Otros ejemplos se produjeron a lo largo de 26<sup>th</sup> Street al norte de Cutting Boulevard (recorridos del 31 de enero y 18 de febrero) y en las inmediaciones de 8<sup>th</sup> St. entre Maine Avenue y Florida Avenue (recorridos del 31 de enero, 18 de febrero y 16 de marzo). El 23 de marzo se midieron niveles más elevados de diclorobenceno en dos recorridos por Macdonald Avenue, cerca del puente ferroviario de BART y Amtrak. Los niveles más elevados de diclorobenceno medidos durante el estudio (0.63 ppb) se produjeron a lo largo de Wilcox Avenue, justo al oeste de 23<sup>rd</sup> Street y Richmond High School (recorrido del 2 de febrero). Excepto en el caso de Macdonald Avenue, todos estos casos se produjeron en áreas residenciales alejadas de fuentes industriales o comerciales de diclorobenceno.

<sup>16</sup> Hoja informativa de la EPA sobre los efectos del diclorobenceno en la salud, del cuaderno de los efectos sobre la salud de los contaminantes peligrosos del aire de la EPA:

<https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-09/documents/1-4-dichlorobenzene.pdf>

El benzo[a]pireno es un hidrocarburo aromático policíclico (polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH) con fuentes ubicuas, como los gases de escape de los automóviles, el humo de la madera, el humo del tabaco, los productos derivados del petróleo y el gas, y las carnes asadas.<sup>17</sup> También es un carcinógeno conocido. El benzo(a)pireno se incluyó en la lista de objetivos del estudio debido a sus fuentes habituales en entornos urbanos y a que la OEHHA lo incluyó en la lista de candidatos para el monitoreo del aire relacionado con las emisiones químicas de las refinerías. Las únicas mediciones del benzo(a)pireno que superaron el MDL se produjeron en el recorrido del 10 de febrero a lo largo de Mission Avenue cerca de 14<sup>th</sup> Street en San Pablo, que es una área residencial a una o dos cuadras de un corredor comercial con operaciones de cocina en Rumrill Blvd. También se observaron picos de otros VOC y CO que coincidían con este pico de benzo(a)pireno, lo que probablemente indica una fuente de combustión de estos contaminantes.

## Conclusión

Una pieza crucial de este estudio, al formar parte de un plan de monitoreo del aire desarrollado por la comunidad, fue la comunicación de los datos y las conclusiones contextualizadas con las personas. Cuando el CSC concluyó su labor de desarrollo del CAMP en julio de 2020, seleccionó a un subconjunto de miembros del CSC para que participaran en un equipo de difusión del monitoreo (Monitoring Outreach Team, MOT) a la comunidad. Se encomendó al MOT la tarea de colaborar con el Distrito durante la aplicación del CAMP, mediante la ayuda en la elaboración y revisión de materiales destinados a los ciudadanos que contienen actualizaciones y conclusiones de los distintos proyectos de monitoreo del aire del CAMP y mediante la realización de iniciativas de difusión. El último esfuerzo del MOT consistió en ayudar a revisar y realizar actividades de difusión para el GIS StoryMap destinado a los ciudadanos que resumía los resultados de este estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire.<sup>18</sup> Entre los miembros del MOT se encontraban el Dr. Henry Clark, Oscar Garcia, Kevin G. Ruano Hernandez, la Dra. Julia Walsh y Linda Whitmore. Anteriormente, Matt Holmes participó como miembro del equipo. El MOT fue esencial para ayudar a compartir la información del proyecto de monitoreo del aire con la comunidad, y sus iniciativas y compromisos son muy apreciados.

Este estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire detectó numerosos casos de niveles superiores a los habituales de distintos VOC en toda el área de estudio. Algunos de los VOC medidos son contaminantes tóxicos del aire con efectos importantes para la salud. Las correlaciones entre los niveles de VOC y las señales de combustión como el CO y el NO<sub>x</sub> indican la prevalencia de fuentes de contaminación relacionadas con la combustión (por ejemplo, el tráfico) en toda el área de estudio. También se detectaron numerosos casos de niveles de VOC superiores a los habituales en las proximidades de instalaciones y operaciones específicas. El Distrito está investigando las posibles causas de los niveles más altos de VOC que se encontraron en este estudio. Los resultados pueden indicar fuentes de contaminación del aire desconocidas o potencialmente poco controladas, y pueden servir de base para reducir las emisiones o la exposición, por ejemplo a través del Plan Comunitario de Reducción de Emisiones Camino Hacia un Aire Limpio y de los programas de ejecución de la ley, elaboración de normas y revisión de permisos del Distrito. Si tiene preguntas o comentarios sobre este estudio, envíe un correo electrónico a [analysis@baaqmd.gov](mailto:analysis@baaqmd.gov).

---

<sup>17</sup> Revisión toxicológica del benzo(a)pireno del Sistema Integrado de Información de Riesgos (Integrated Risk Information System, IRIS) de la EPA: <https://iris.epa.gov/static/pdfs/0136tr.pdf>

<sup>18</sup> StoryMap para el estudio de monitoreo de los contaminantes tóxicos del aire del CAMP Camino Hacia un Aire Limpio: <https://storymaps.arcgis.com/stories/21c9cd2252fe4a7d8ab26ae2fa81ec47>

## Apéndice

**Tabla A-1.** Límites de detección del método (MDL) y límites de detección informados (RDL) para los VOC, el CO y el NO<sub>x</sub>, en partes por mil millones (ppb), a menos que se indique lo contrario.

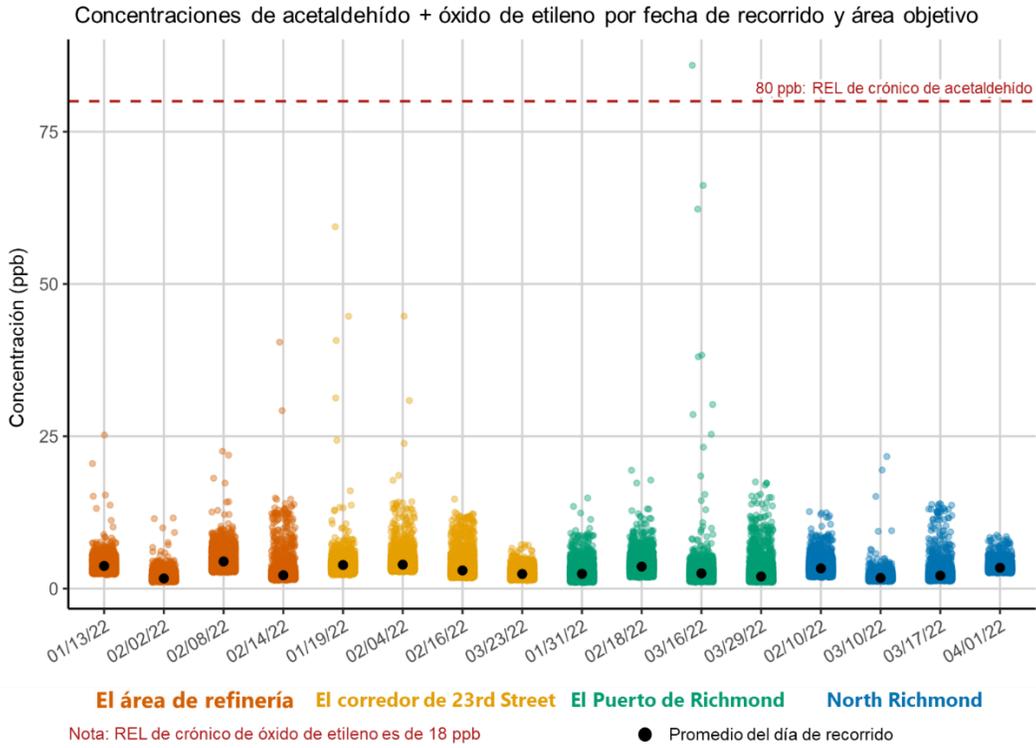
Contaminante	MDL (N = 3131)	RDL
Acetaldehído + óxido de etileno	0.8	2.4
Benceno	0.05	0.15
Benzo(a)pireno	0.01	0.03
1,3-butadieno	0.1	0.3
Diclorobenceno	0.02	0.06
Etilbenceno + xileno	0.02	0.06
Naftalina	0.03	0.09
Estireno	0.02	0.06
Tolueno	0.02	0.06
Trimetilbenceno	0.02	0.06
CO (ppm)	0.02	0.06
NO <sub>x</sub>	0.2	0.6

**Tabla A-2.** Niveles de exposición de referencia (REL) en partes por mil millones (ppb) para los VOC objetivo, según lo establecido por la OEHHA. N/C indica que no se ha establecido un REL para ese compuesto objetivo o métrica de exposición.

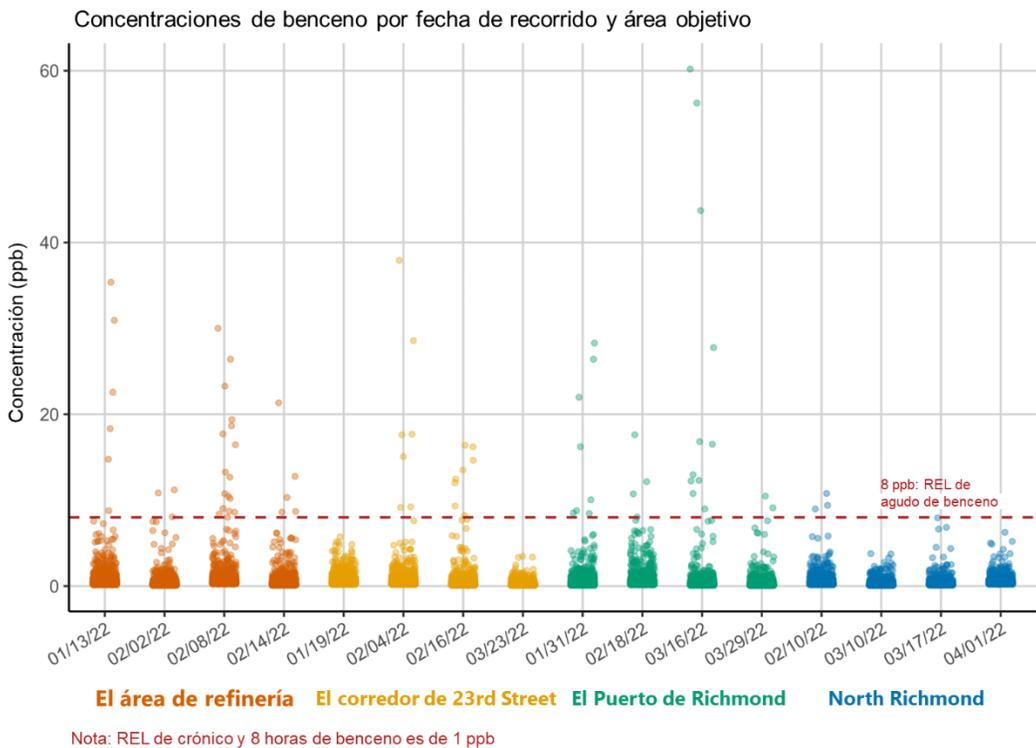
Contaminante	REL agudo (1 hora)	REL de 8 horas	REL crónico (anual)
Acetaldehído	420	160	80
Benceno	8	1	1
Benzo(a)pireno	N/C	N/C	N/C
1,3-butadieno	297	4	1
Diclorobenceno	N/C	N/C	100
Etilbenceno	N/C	N/C	400
Óxido de etileno	N/C	N/C	18
Naftalina	N/C	N/C	2
Estireno	N/C	N/C	200
Tolueno	1300	220	110
Trimetilbenceno	N/C	N/C	N/C
Xileno	5000	N/C	200

Las siguientes figuras muestran las distribuciones de cada VOC objetivo por fecha de recorrido y área de monitoreo objetivo. Cada punto representa una medición de 1 segundo. Los niveles de exposición de referencia (REL)<sup>19</sup> establecidos por la OEHHA para los efectos no cancerígenos sobre la salud también se indican para contextualizar, pero se debe tener en cuenta que los datos de 1 segundo recopilados por la camioneta de monitoreo del aire no son directamente comparables con los REL, que se basan en exposiciones agudas (1 hora), de 8 horas o crónicas (anuales). Sin embargo, los REL pueden proporcionar cierto contexto a los rangos de concentraciones que se midieron durante este estudio. En algunos gráficos se incluyen las concentraciones promedio del día de recorrido para ayudar a visualizar la variabilidad de las concentraciones promedio en diferentes días de recorrido. Para algunos compuestos, también se incluye un segundo que se centra en la parte inferior del intervalo de valores medidos.

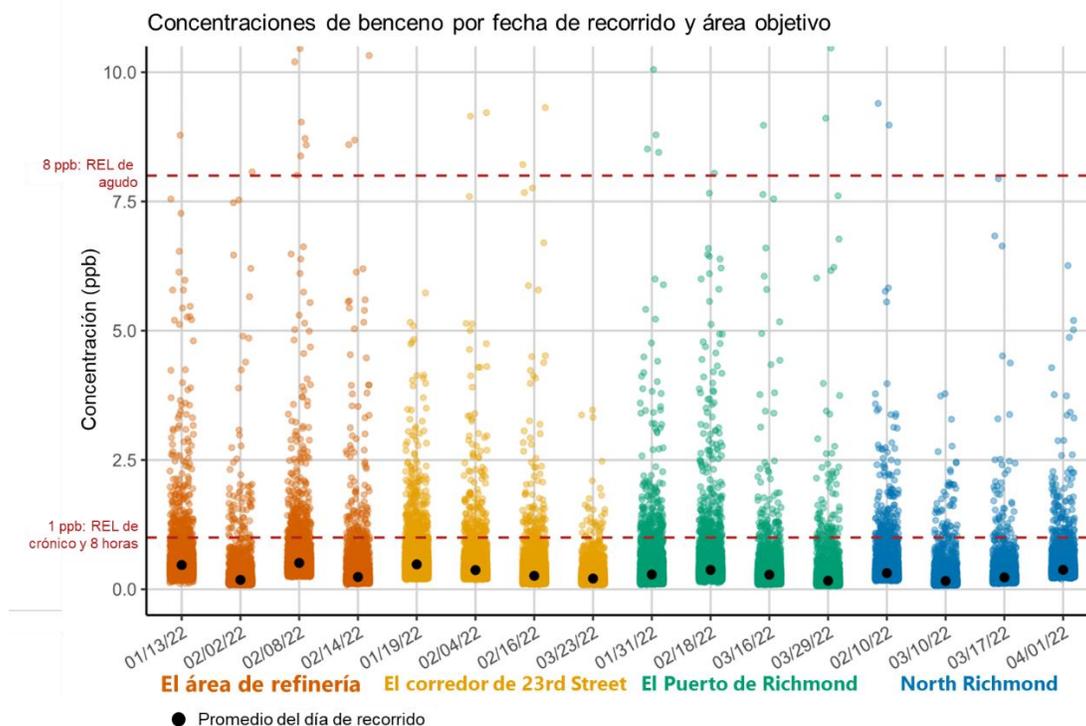
<sup>19</sup> Resumen del nivel de exposición de referencia (REL) agudo, de 8 horas y crónico de la OEHHA de California: <https://oehha.ca.gov/air/general-info/oehha-acute-8-hour-and-chronic-reference-exposure-level-rel-summary>



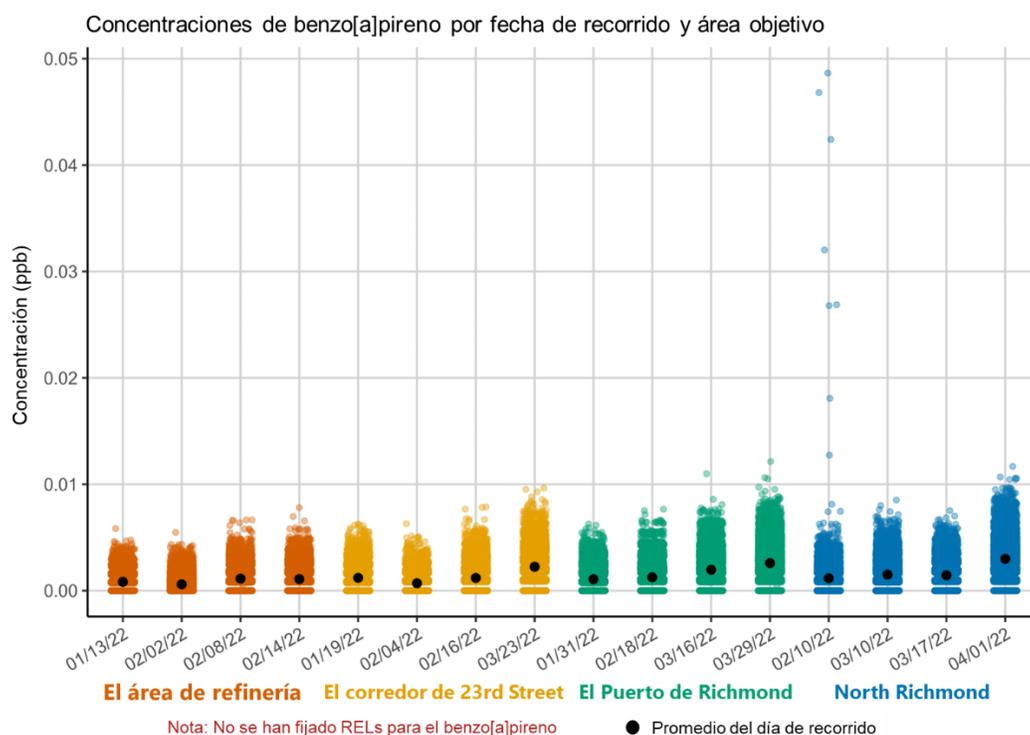
**Figura A-1.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de acetaldehído + óxido de etileno por fecha de recorrido y área objetivo. Los REL crónicos se ofrecen como referencia, pero tenga en cuenta que se basan en exposiciones a largo plazo (anuales).



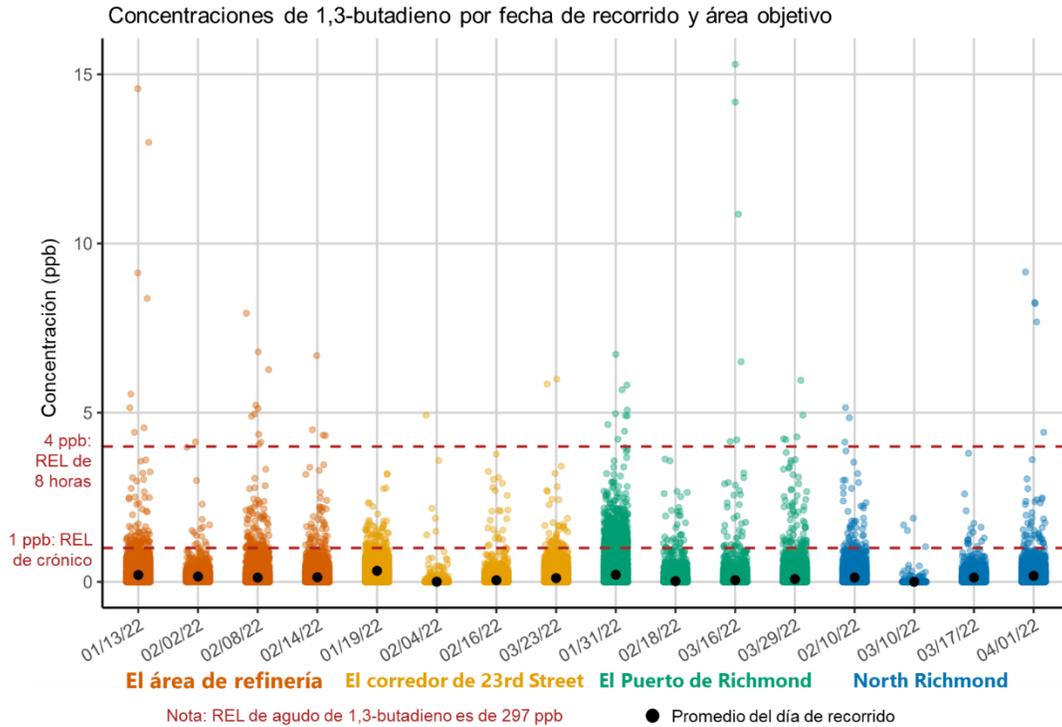
**Figura A-2.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de benceno por fecha de recorrido y área objetivo. El REL agudo para el benceno se ofrece como referencia, pero tenga en cuenta que se basa en exposiciones de 1 hora.



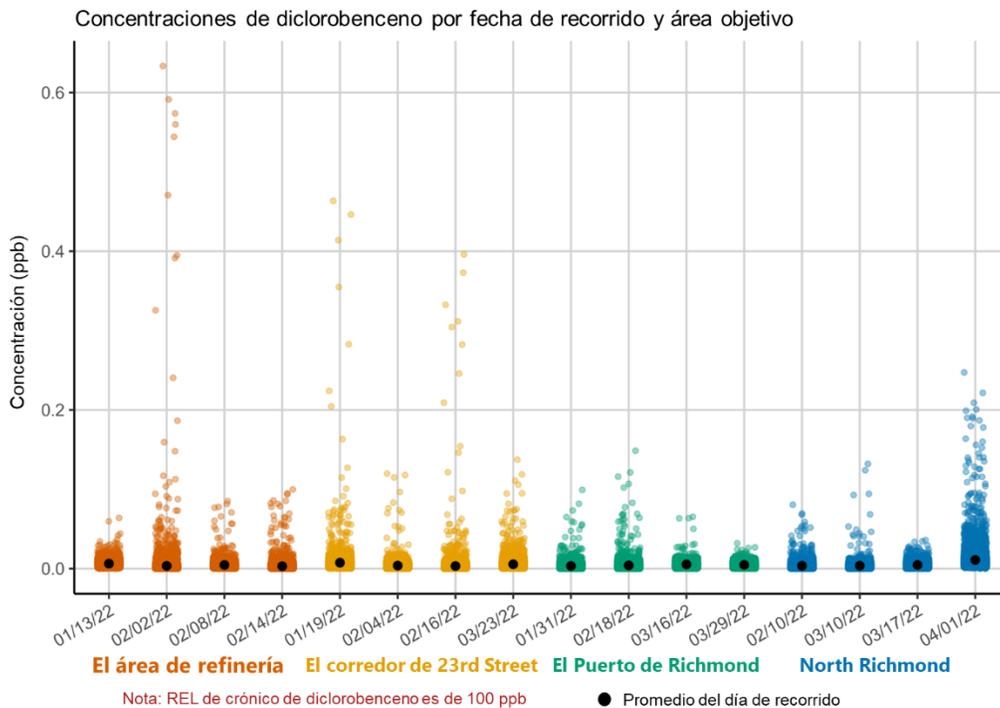
**Figura A-3.** Similar a la figura A-2, concentraciones instantáneas (1 segundo) de benceno por fecha de recorrido y área objetivo, pero ampliada en concentraciones por debajo de 10 ppb para visualizar mejor la variabilidad en las concentraciones a lo largo de los días de recorrido. El REL agudo y el REL crónico para el benceno se ofrecen como referencia, pero tenga en cuenta que se basan en exposiciones de 1 hora y anuales, respectivamente.



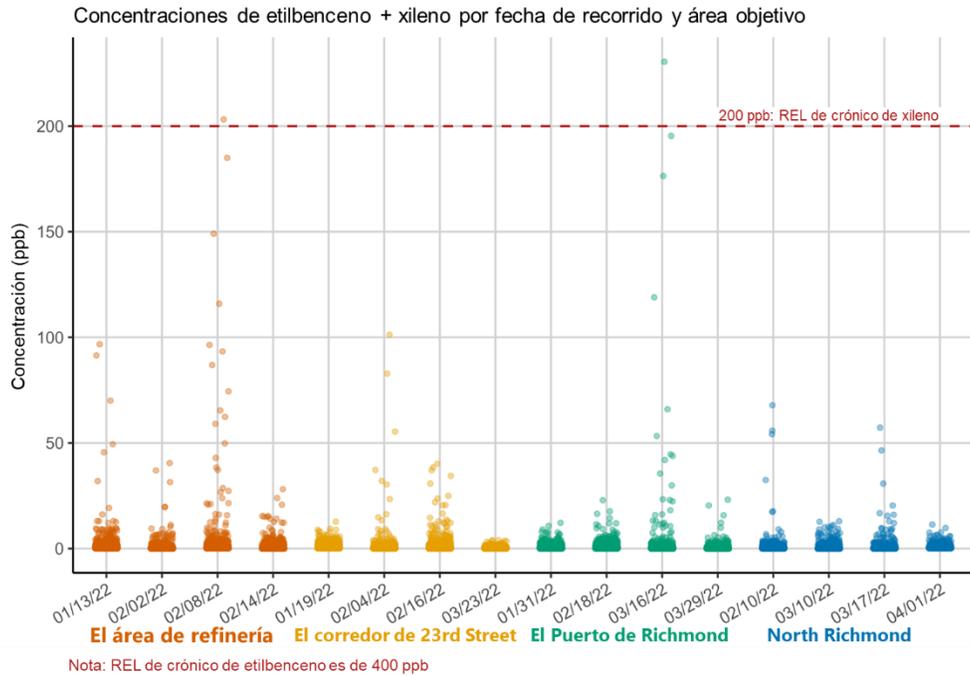
**Figura A-4.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de benzo[a]pireno por fecha de recorrido y área objetivo.



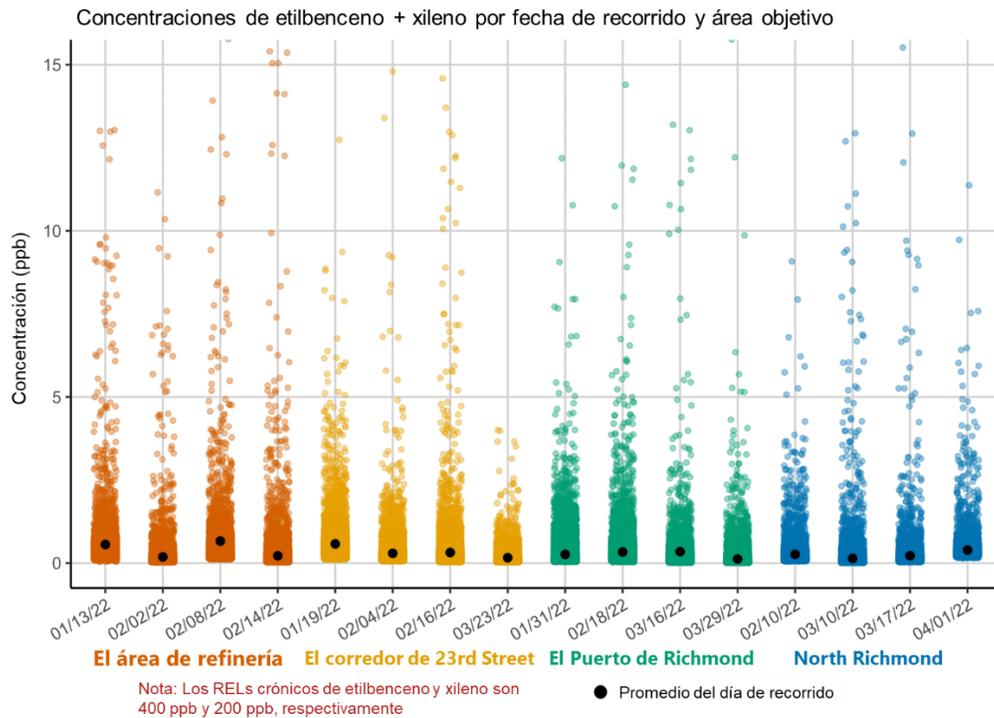
**Figura A-5.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de 1,3-butadieno por fecha de recorrido y área objetivo. Los REL agudo y crónico para el 1,3-butadieno se ofrecen como referencia, pero tenga en cuenta que se basan en exposiciones de 1 hora y anuales, respectivamente.



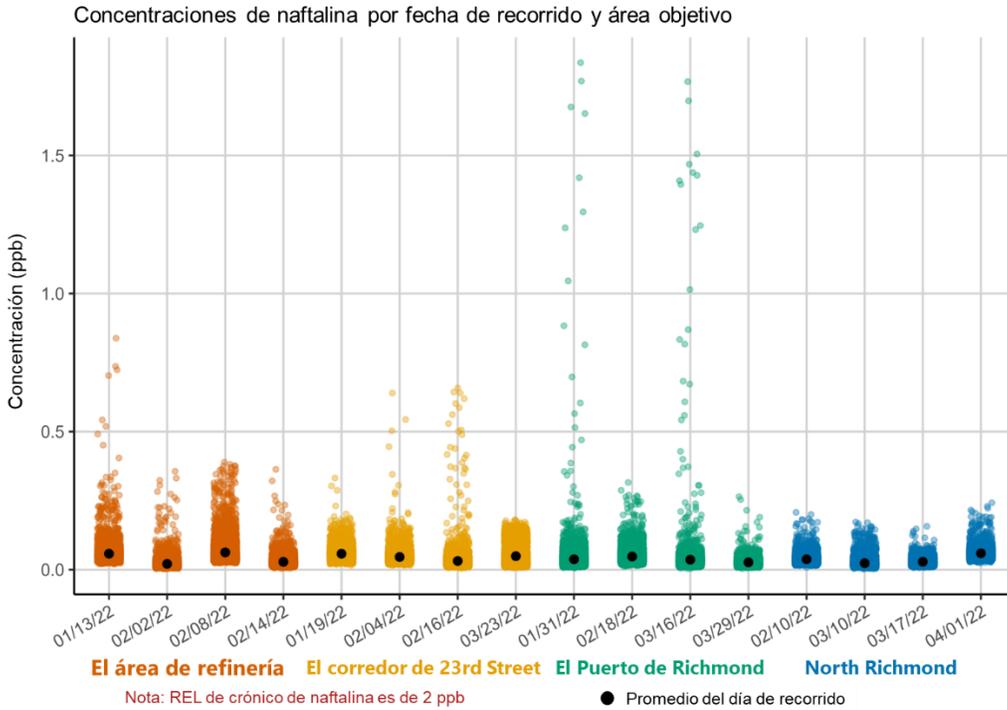
**Figura A-6.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de diclorobenceno por fecha de recorrido y área objetivo.



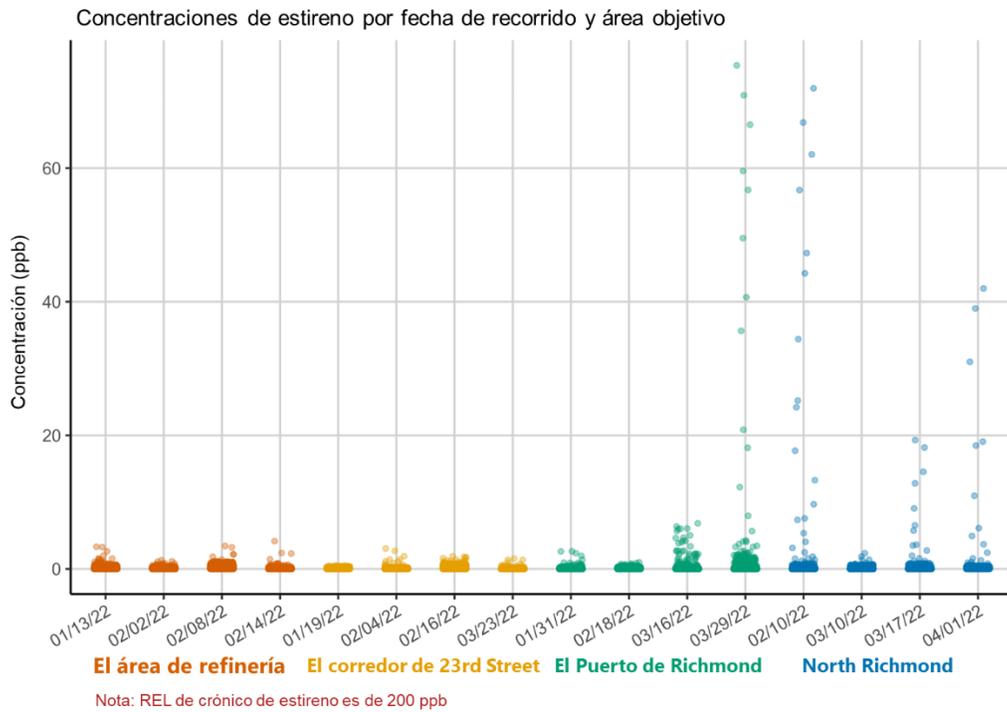
**Figura A-7.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de etilbenceno + xileno por fecha de recorrido y área objetivo. Los REL crónicos para el etilbenceno y el xileno se ofrecen como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



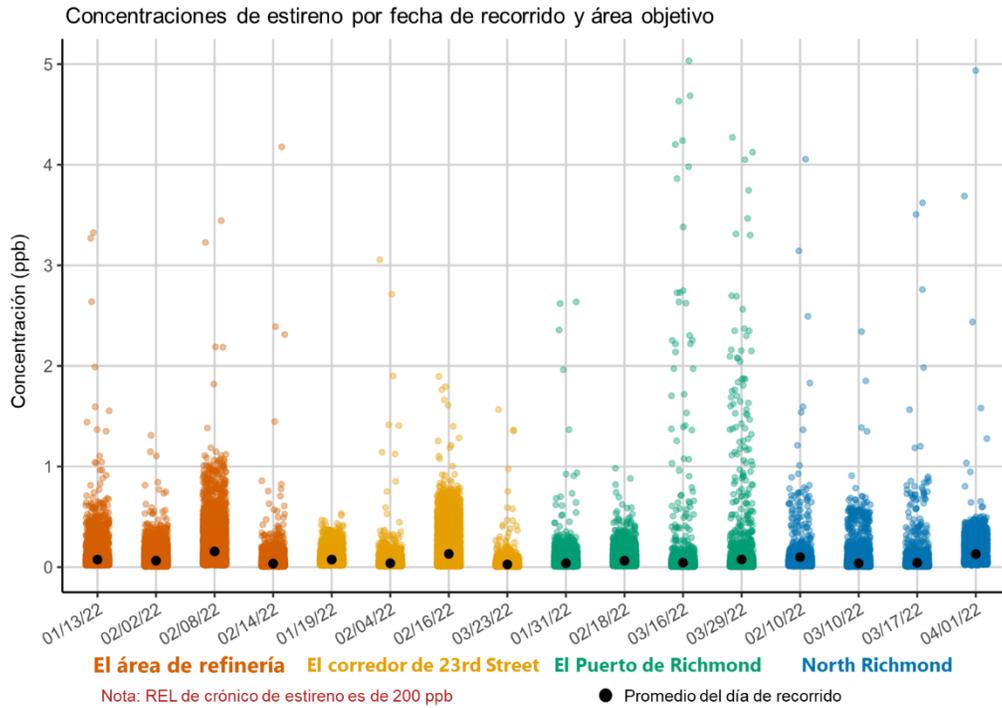
**Figura A-8.** Similar a la figura A-7, concentraciones instantáneas (1 segundo) de etilbenceno + xileno por fecha de recorrido y área objetivo, pero ampliadas en concentraciones por debajo de 15 ppb para visualizar mejor la variabilidad en las concentraciones a lo largo de los días de recorrido. Los REL crónicos para el etilbenceno y el xileno se ofrecen como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



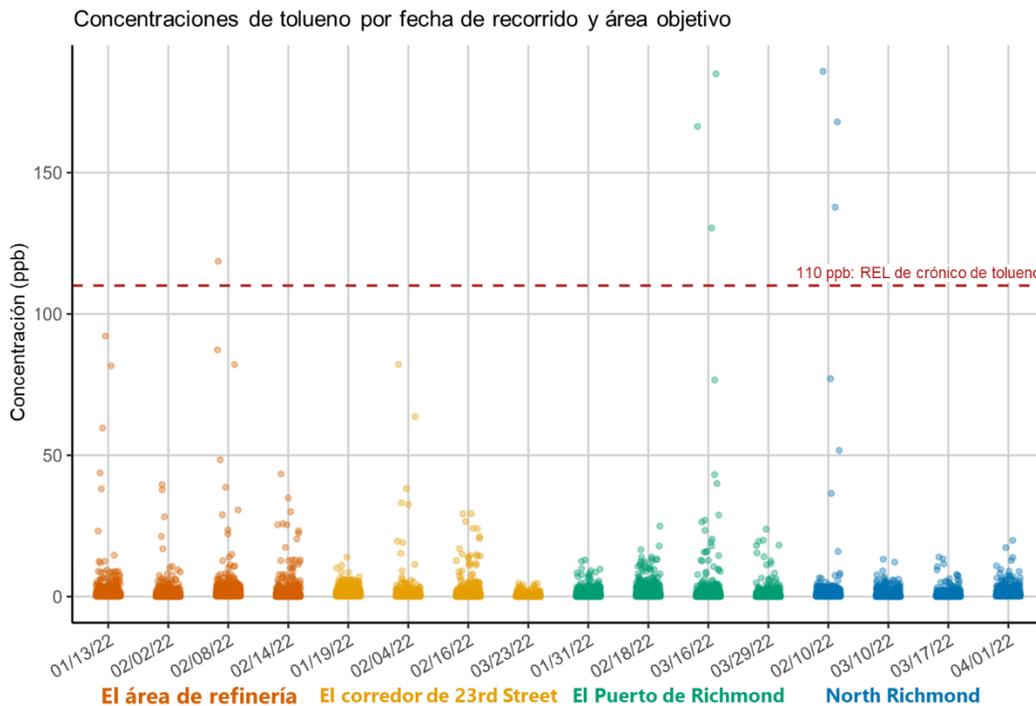
**Figura A-9.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de naftalina por fecha de recorrido y área objetivo. El REL crónico para naftalina se ofrece como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



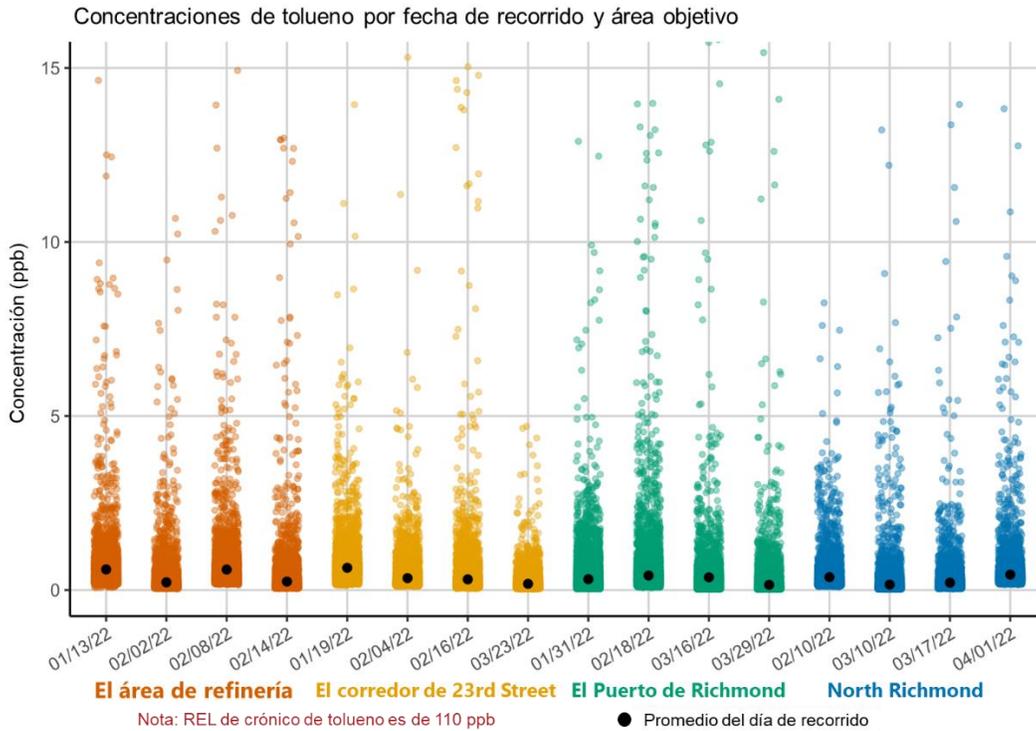
**Figura A-10.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de estireno por fecha de recorrido y área objetivo. El REL crónico para estireno se ofrece como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



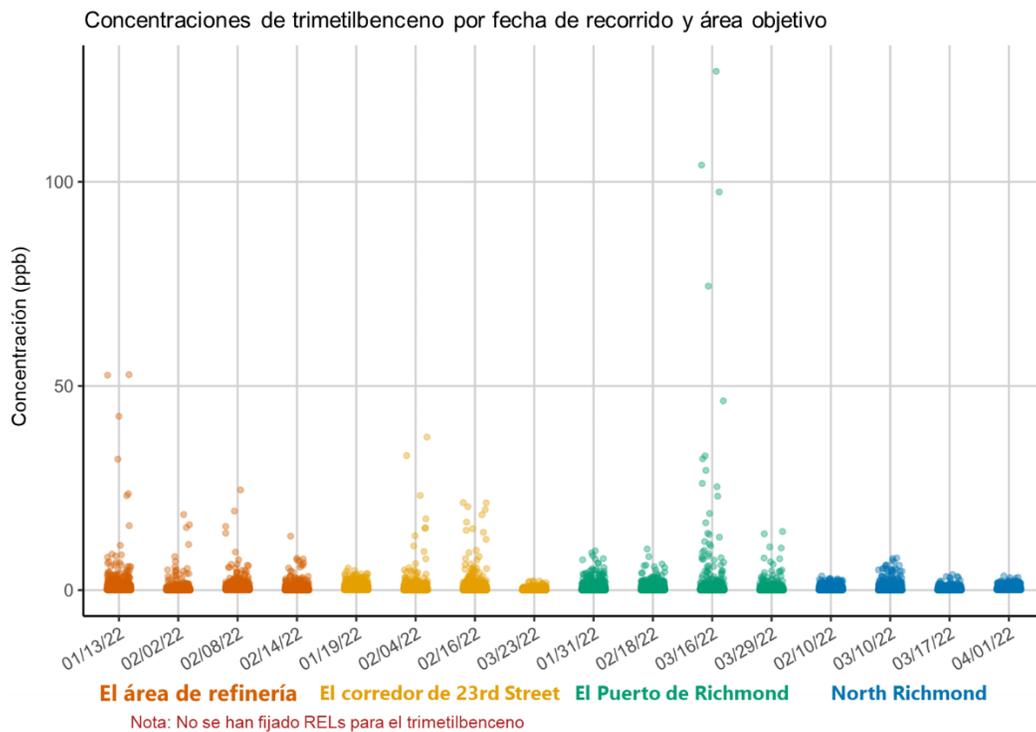
**Figura A-11.** Similar a la figura A-10, concentraciones instantáneas (1 segundo) de estireno por fecha de recorrido y área objetivo, pero ampliada en concentraciones por debajo de 5 ppb para visualizar mejor la variabilidad en las concentraciones a lo largo de los días de recorrido. El REL crónico para estireno se ofrece como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



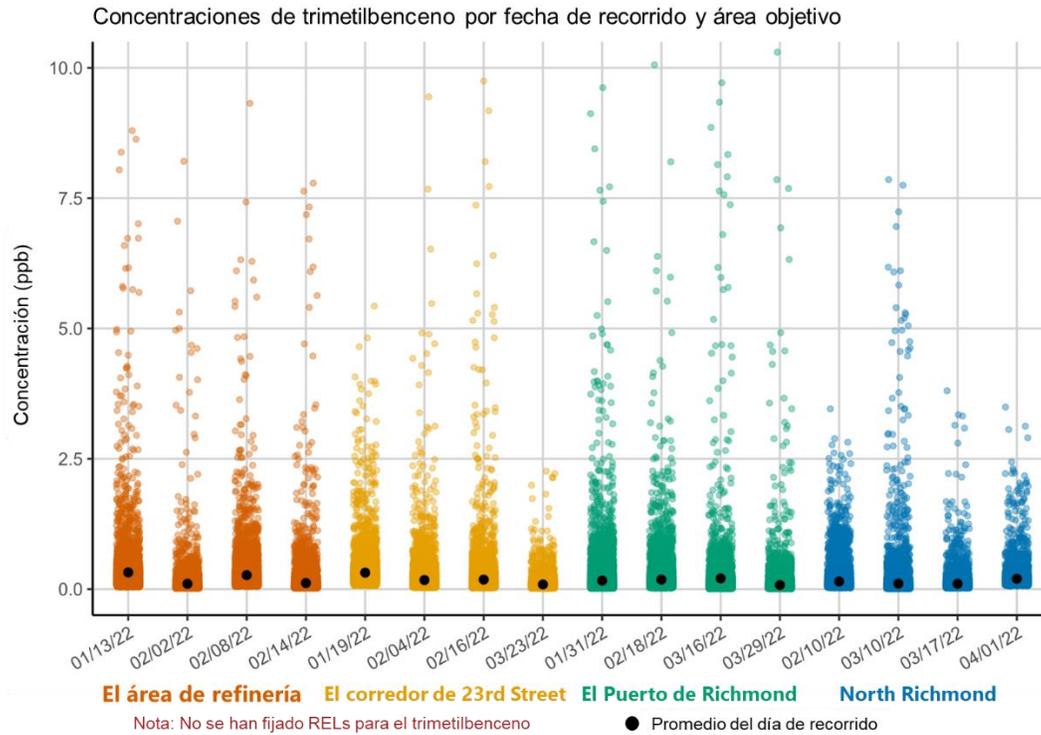
**Figura A-12.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de tolueno por fecha de recorrido y área objetivo. El REL crónico para tolueno se ofrece como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



**Figura A-13.** Similar a la figura A-12, concentraciones instantáneas (1 segundo) de tolueno por fecha de recorrido y área objetivo, pero ampliada en concentraciones por debajo de 15 ppb para visualizar mejor la variabilidad en las concentraciones a lo largo de los días de recorrido. El REL crónico para tolueno se ofrece como referencia, pero tenga en cuenta que el REL crónico se basa en exposiciones anuales.



**Figura A-14.** Concentraciones instantáneas (1 segundo) de trimetilbenceno por fecha de recorrido y área objetivo.



**Figura A-15.** Similar a la figura A-14, concentraciones instantáneas (1 segundo) de trimetilbenceno por fecha de recorrido y área objetivo, pero ampliada en concentraciones por debajo de 10 ppb para visualizar mejor la variabilidad en las concentraciones a lo largo de los días de recorrido.