

INFORME DE DEVOLUCIÓN

Estudio de contaminantes atmosféricos, determinantes e impactos en la Bahía de Quintero-Puchuncaví



Fotografía: Rafael Morales

(CR)² | Center for Climate
and Resilience Research
www.CR2.cl



fcfm

Geofísica

FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE





INFORME DE DEVOLUCIÓN

Estudio de contaminantes atmosféricos, determinantes e impactos en la Bahía de Quintero-Puchuncaví

Autores

Rodrigo J. Seguel, Ninoska Araya, Claudia Alonso, María I. Silva, Karla Vargas, Deniz Bozkurt, Charlie Opazo, Lucas Castillo

Participantes de la campaña de medición

René Garreaud, Ricardo Muñoz, Zoë Fleming, Mauricio Osses, Pamela Smith, Pablo Sarricolea, Anahí Urquiza, Eugenia Gayó, Pilar Moraga, Bárbara Morales, Rafael Morales, Martin Asenjo, Nicole Zárate.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Municipalidad de Quintero por proporcionar las instalaciones que permitieron realizar la campaña de monitoreo. En particular a Mauricio Carrasco, alcalde de la Ilustre Municipalidad de Quintero y a Lizet Lobos, Encargada de Medio Ambiente de la municipalidad.

Financiamiento

ANID/FONDAP/1522A0001; ANID/FONDEQUIP/EQM190064

Citar como:

Seguel, R.J., Araya, N., Alonso, C., Silva, M., Vargas, K. Bozkurt, D., Opazo, C. Castillo, L. (2023). Estudio de contaminantes atmosféricos, determinantes e impactos en la Bahía de Quintero-Puchuncaví. Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2. Disponible en: www.cr2.cl/quintero



MOTIVACIÓN

La bahía de Quintero-Puchuncaví ha experimentado episodios de emergencia ambiental por décadas. En los últimos años han sido frecuentes los eventos asociados a la industria de combustibles líquidos y gaseosos. Uno de los episodios de calidad de aire más severos provocó 1370 atenciones de urgencia en agosto de 2018 (MINSAL, 2018). Si bien su causa continúa en debate, la presencia de fuentes emisoras de compuestos orgánicos volátiles (en adelante COVs) motivaron al Ministerio del Medio Ambiente a elaborar una nueva norma de calidad de aire primaria a nivel nacional que regula de forma específica al benceno (MMA, 2023).

A pesar de su potencial impacto en el medio ambiente y la salud pública, en Chile no hay mediciones sistemáticas de COVs, por lo cual se cuenta con poca información que permita comprender sus efectos. Debido a esto, durante 2022, el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia CR2 puso a disposición de la comunidad sus capacidades científicas y tecnológicas para contribuir a la comprensión de los episodios de calidad de aire asociados a COVs que afectan a la ciudad de Quintero.

En este contexto se realizó una primera campaña de mediciones entre el 4 y 28 de enero de 2022 con el objetivo de estudiar contaminantes atmosféricos no regulados y los regímenes meteorológicos que influyen en la ocurrencia de episodios de contaminación atmosférica en la bahía de Quintero-Puchuncaví. Los resultados preliminares de la campaña fueron presentados a la comunidad entre el 11 y 13 de octubre de 2022 en Quintero y contaron con la participación de autoridades de la Ilustre municipalidad de Quintero, del gobierno, representantes de empresas presentes en el polo industrial y de la comunidad estudiantil. Además, dichas presentaciones fueron acompañadas de talleres participativos que permitieron conocer la percepción de los síntomas físicos y emocionales relacionados a la contaminación e identificar mejoras en la gobernanza¹ en materia de calidad de aire.

A continuación, se presentan los principales hallazgos y conclusiones de la investigación en un formato breve, directo y sin mayor uso de tecnicismos. Para mayor información sobre la investigación, le invitamos a visitar el sitio web www.cr2.cl/quintero.

¹ El concepto de gobernanza hace referencia a todos los procesos de gobierno, instituciones, procedimientos y prácticas mediante los que se deciden y regulan los asuntos que atañen al conjunto de la sociedad” (Oficina del Alto Comisionado de Naciones Unidas para los Derechos Humanos, ACNUDH, 2023)

LA CIUDAD DE QUINTERO

Desde 1955, la bahía de Quintero ha concentrado diversas actividades relacionadas a la fundición de cobre, generación de energía, y almacenamiento y distribución de combustibles y productos químicos (Figura 1). Como resultado, esta zona industrial, actualmente saturada por material particulado fino ($MP_{2.5}$), emite cantidades significativas de contaminantes atmosféricos que impactan directamente la calidad de aire de la ciudad de Quintero y de ciudades situadas viento abajo de la cuenca atmosférica del Aconcagua, lo cual genera un impacto sobre los habitantes y los ecosistemas (Gayo et al., 2022).

Debido a los reiterados y agudos problemas ambientales que han afectado a la bahía de Quintero-Puchuncaví esta zona industrial ha sido denominada en ocasiones como una “zona de sacrificio”, un término que surgió en Estados Unidos para referirse a zonas contaminadas con desechos provenientes de pruebas nucleares (Folchi, 2020) y que en América latina ha estado vinculado a zonas de alta concentración industrial (Lara, 2020).

En la Bahía, los instrumentos de gestión ambiental disponibles (Sección V) no han permitido reducir la exposición de la población a contaminantes peligrosos de manera eficaz. Por este motivo, actualmente se encuentran en etapa de implementación diversos instrumentos de gran importancia para la comunidad y cuya credibilidad depende, en parte, de las estructuras de gobernanza y participación efectiva de los actores presentes en el territorio. Estos instrumentos de gestión ambiental corresponden a la nueva Red de Monitoreo de Calidad del Aire para las Comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví, la implementación de la norma primaria de calidad de aire para el compuesto orgánico volátil benceno y la red de alerta temprana del polo industrial Quintero-Puchuncaví.

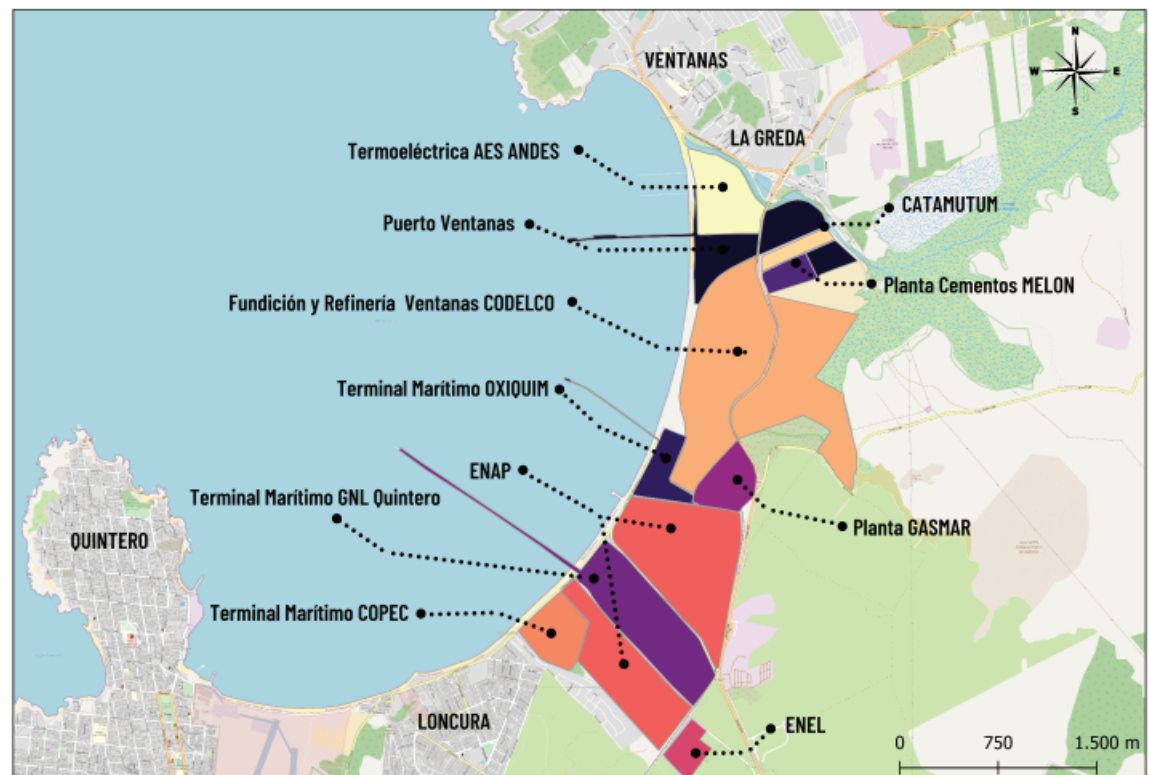


Figura 1. Mapa de la Bahía de Quintero-Puchuncaví. La figura muestra a la ciudad de Quintero y las principales industrias ubicadas en la bahía.

EL ROL DE LA METEOROLOGÍA EN LA BAHÍA

Chile central está dominado por un sistema de altas presiones o anticiclón ubicado sobre el océano. Como resultado, el aire sobre esta zona desciende de forma lenta, es seco y cálido lo que da lugar a un clima semiárido y viento predominante desde el sur-suroeste a lo largo de la costa. En contraste, la atmósfera superficial en contacto directo con el océano (capa límite marina) es más fría, húmeda y suele estar cubierta por nubosidad. Sobre la capa límite marina se observa con frecuencia una persistente inversión del perfil vertical de temperatura ocasionada por la presencia del anticiclón. En esta zona de transición, el aire proveniente desde la capa inferior ve limitado su ascenso al encontrar aire más cálido en su entorno (menos denso) y en consecuencia es forzado a descender nuevamente. Aunque estas características son muy persistentes, el anticiclón puede verse perturbado por el paso de frentes fríos que migran hacia el este.

Ambos regímenes meteorológicos, es decir, la presencia del anticiclón y el paso de un frente frío, ocurrieron durante la campaña de verano de 2022 (Figura 2). La primera parte de la campaña estuvo dominada por una baja costera centrada al sur de Quintero, que dio lugar a vientos débiles del norte y a una capa límite marina de 500-700 m de profundidad cubierta por nubosidad. Después de unos pocos días, el anticiclón subtropical se restableció y trajo consigo cielos despejados con fuertes vientos del sur durante el día.

Como se mostrará en la Sección VI, ambas fases del régimen meteorológico previamente descrito proporcionaron características distintivas a los episodios de contaminación atmosférica.

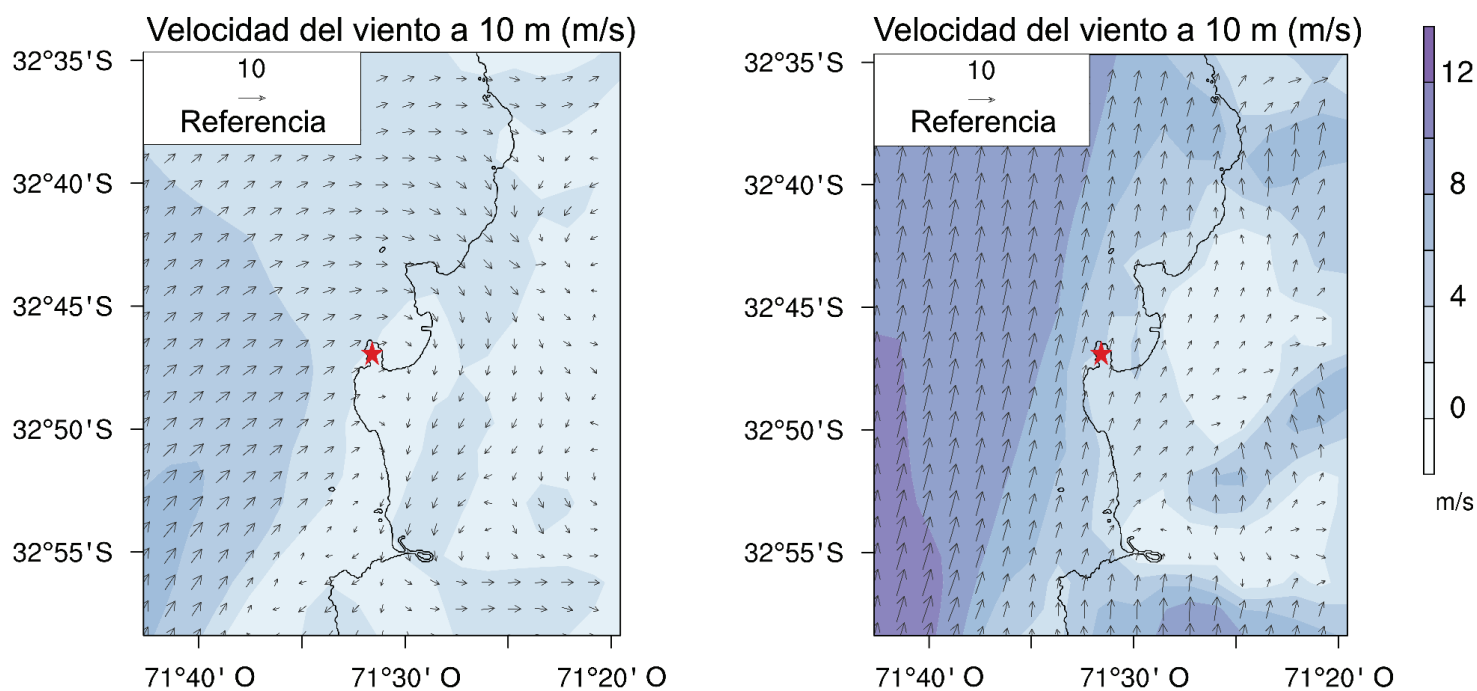


Figura 2. Distribución espacial de la velocidad y dirección del viento a 10 m sobre el nivel del suelo en la bahía de Quintero-Puchuncaví. El panel de la izquierda (11 de enero de 2022) muestra la influencia de una baja costera en el viento y el panel de la derecha (18 de enero de 2022) la influencia del anticiclón del pacífico. La estrella roja indica la ubicación de la península de Quintero (Figura adaptada de Seguel et al., 2023).

QUÉ SON LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES (COVS)

Los COVs engloban un conjunto de moléculas que contienen átomos de carbono e hidrógeno en su estructura química y que pueden incluir otros átomos, como nitrógeno (N) y azufre (S). Una de sus características es que se convierten rápidamente en vapores o gases.

En la atmósfera coexisten miles de COVs como resultado de emisiones naturales provenientes tanto de ecosistemas terrestres como marinos, las que se estiman diez veces superiores a las emisiones humanas. Estos compuestos participan de numerosas reacciones químicas complejas que influyen en los procesos químicos de la atmósfera. Por ejemplo, el proceso de oxidación de COVs en la atmósfera produce un elevado número de subproductos tóxicos que afectan la salud, los ecosistemas y la productividad agrícola. Por este motivo, los COVs también son conocidos como precursores de otros contaminantes, algunos regulados, como el dióxido de nitrógeno (NO₂), ozono (O₃) y material particulado fino (PM_{2,5}).

Los COVs de origen antropogénico (es decir, producto de las actividades humanas) pueden ser dominantes en ambientes urbanos debido a que son emitidos desde fuentes diversas que incluyen combustibles fósiles, escapes de vehículos, solventes empleados por la industria química y aerosoles de uso doméstico. A escala urbana, la exposición a determinados COVs es una amenaza para la salud de las personas debido a sus propiedades tóxicas. El benceno (C₆H₆), por ejemplo, es un conocido cancerígeno (Tabla 1).

Los COVs que contienen azufre (compuestos azufrados) en su estructura química se denominan mercaptanos y sulfuros. Dichos compuestos azufrados se caracterizan por presentar un intenso olor molesto. Por este motivo, se incorporan al gas natural y al gas licuado de petróleo para que su olor advierta a las personas en caso de fuga del combustible.

Tabla 1. Fuentes, tiempos de vida en la atmósfera superficial e impactos del benceno y dimetil sulfuro

COV	Tiempo de vida	Fuentes	Impactos		
			Salud	Cultivos	Clima
Benceno (C ₆ H ₆)	9,4 días	<ul style="list-style-type: none"> Crudos, gasolinas, combustibles fósiles. Industria química. Procesos de combustión, escapes de automóviles. Humo de cigarrillos. 	<p>Directos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cancerígeno (leucemia) Sistema inmune <p>Indirectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Formación de ozono Formación de material particulado 	<p>Indirectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reducción de la producción agrícola por formación de ozono 	<p>Indirectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Calentamiento (ozono) Enfriamiento y calentamiento (material particulado)
Dimetil sulfuro (C ₂ H ₆ S)	0,8-1,5 días	<ul style="list-style-type: none"> Fitoplancton marino Odorante (compuesto con olor) adicionado al GN y GLP 	<p>Directos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Olor molesto sobre cierto umbral 	-----	<p>Indirectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Formación de aerosol sulfato y núcleos de condensación de nubes

NUEVA NORMA DE BENCENO

Los instrumentos para la gestión ambiental son herramientas de política pública que mediante regulaciones, incentivos o mecanismos que motivan acciones o conductas de agentes, permiten contribuir a la protección del medio ambiente y prevenir, atenuar o mejorar problemas ambientales (MMA, 2021).

Entre los principales instrumentos de gestión ambiental en materia de calidad de aire se encuentran aquellos que buscan proteger a la salud de la población, tales como, las normas primarias de calidad del aire con las cuales es posible declarar zonas saturadas o en latencia. Además, dicha declaración permite posteriormente diseñar Planes de Prevención o Descontaminación.

Nueva norma de benceno

La norma primaria de calidad del aire para el compuesto orgánico volátil benceno tiene por objetivo proteger la salud de la población respecto de la exposición a este contaminante debido a que es cancerígeno y afecta el sistema inmune (ATSDR 2007). Si bien la norma fue elaborada en respuesta a los episodios de contaminación ocurridos en la bahía de Quintero-Puchuncaví durante 2018, su aplicación se realizará a nivel nacional. Dentro de los principales cuestionamientos a esta norma se encuentra el no haber incluido a otros COVs que pueden representar un riesgo para la salud de la población.

Para determinar el riesgo asociado a los niveles de benceno, se utilizaron como referenciados umbrales de exposición establecidos por el Sistema Integrado de Información de Riesgos (IRIS, por su acrónimo en inglés) de la Agencia Ambiental de Estados Unidos (US EPA, por su acrónimo en inglés). El primer umbral corresponde a la razón de mezcla² de referencia para la inhalación (9,6 ppbv, partes por billón) o valor sobre el cual comienzan a presentarse efectos en el sistema inmune. El segundo lineamiento es el exceso de riesgo de cáncer por exposición crónica, correspondiente a 0,9 ppbv, con un nivel de riesgo de 1 en 100.000. Este último umbral corresponde a la actual norma nacional de benceno.

Como se observa en la Figura 3, el valor promedio de la razón de mezcla de benceno, correspondiente a **0,49 ppbv** (mediana = 0,42 ppbv), no superó el umbral de 0,9 ppbv. Lo anterior, a pesar de la ocurrencia de múltiples valores máximos de corta duración que se detallarán en la Sección VI. El promedio horario tampoco superó el umbral de 9,6 ppbv asociado a efectos en la sangre (no indicado en la Figura 3).

Es importante mencionar que esta estimación se realizó para enero, mes que se caracteriza por una mejor dispersión de los contaminantes en el aire en comparación con el invierno, cuando la quema de leña puede aumentar la razón de mezcla de benceno.

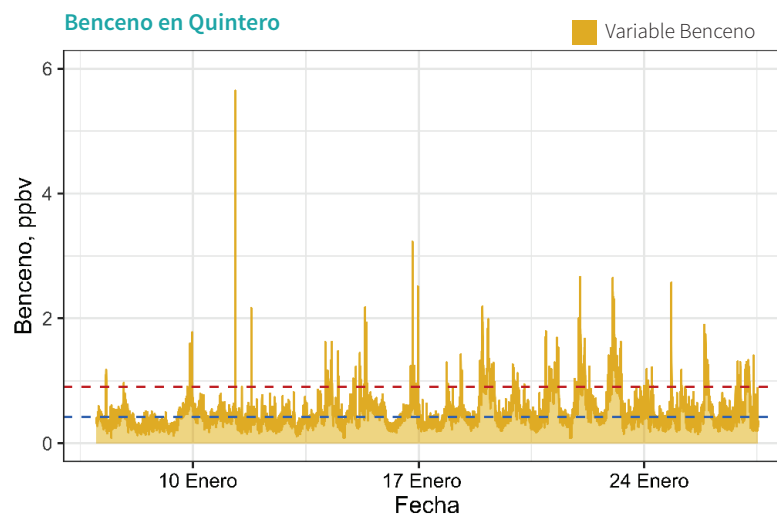


Figura 3. Serie de tiempo de benceno en minutos promediados a partir de mediciones de 1 segundo. La línea roja segmentada indica el valor de la norma correspondiente a 0,9 ppbv como promedio anual y la línea azul muestra la mediana para el periodo estudiado.

² La razón de mezcla corresponde a la fracción molar de benceno en el aire, expresada en unidades del Sistema Internacional de nmol mol^{-1} en donde n (nano) es igual a 1×10^{-9} .

PRINCIPALES RESULTADOS DE LA CAMPAÑA

En términos generales, Quintero experimentó buena calidad de aire durante el mes de enero. Sin embargo, dichas condiciones favorables fueron interrumpidas por elevados niveles de compuestos orgánicos volátiles medidos en tiempo real. Durante dichos eventos los residentes de la ciudad expresaron su descontento por olor a hidrocarburos, además se reportaron síntomas de mareo y dolor de cabeza coincidentes con las mediciones de estos gases peligrosos (Seguel et al., 2023).

11 de enero de 2023

En este evento, la presencia de los COVs propeno/ciclopropano, buteno, benceno, tolueno y etilbenceno/xileno se asociaron a vientos débiles del norte y noroeste (Figura 4). Durante este episodio se registraron **denuncias por olor a hidrocarburos**. Las observaciones y simulaciones numéricas indicaron que la contaminación se originó en plantas industriales y petroquímicas ubicadas al norte de Quintero en donde se transporta y almacena gas natural, gas licuado de petróleo y petróleo.

18 y 19 de enero de 2022

En este caso, se produjeron altos niveles de los COVs fenol, furano y cresol bajo fuertes vientos del suroeste (Figura 4). Durante este evento, se registraron **dolores de cabeza y mareos**. A diferencia del caso anterior, los niveles de benceno, tolueno, etilbenceno/xilenos fueron inferiores. Es importante destacar que este evento estuvo vinculado a procesos industriales ubicados al sur del sitio de medición.



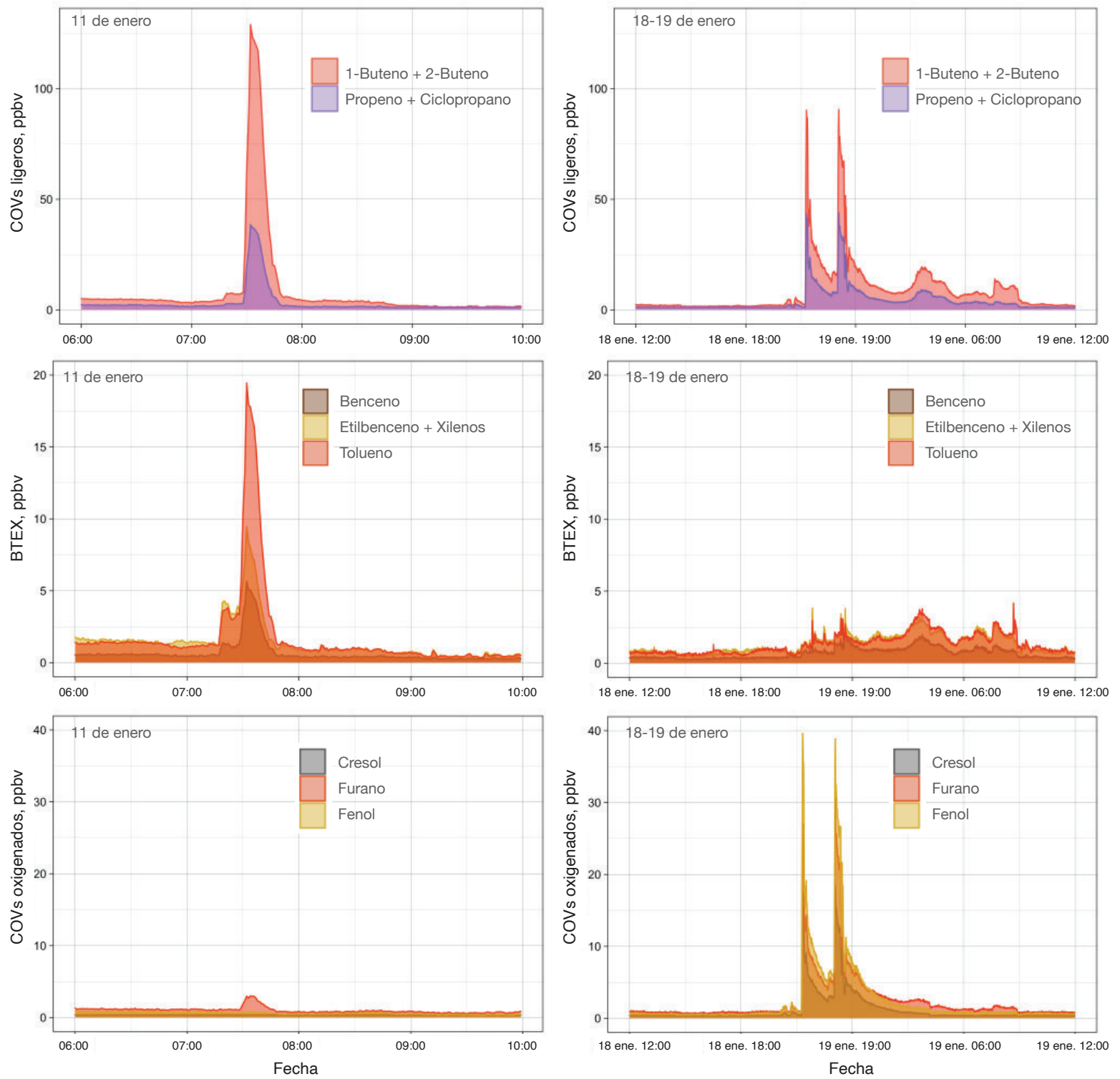


Figura 4. Serie de tiempo de COVs en minutos promediados a partir de mediciones de 1 segundo. El panel de la izquierda muestra el evento del 11 de enero y el panel de la derecha muestra el evento del 18-19 de enero.

TALLERES PARTICIPATIVOS

Los talleres participativos (octubre de 2022) reunieron a más de 60 asistentes entre especialistas, representantes de instituciones públicas, representantes del sector privado, representantes de la sociedad civil, estudiantes y docentes. Durante estos talleres, a los participantes se les invitó a describir las reacciones y emociones asociadas con habitar la bahía. Para ello se empleó una metodología basada en la acción participativa³ y cuerpo-territorio⁴, con la finalidad de responder a las siguientes preguntas:

- Cuando las personas se sienten afectadas por contaminantes ¿Hacia dónde se dirigen? ¿Hacia dónde se dirigen los contaminantes?
- ¿Cuáles son las zonas seguras e inseguras de las comunas respecto a contaminantes atmosféricos?, ¿Cuáles son las fuentes de contaminación?
- Cuando las personas se sienten afectadas producto de contaminantes en la bahía ¿Qué síntomas físicos se presentan?, ¿Qué sentimientos les genera?, y ¿Dónde se ubican corporalmente estos síntomas físicos y emocionales?



Talleres participativos con la comunidad de Quintero, octubre de 2022.

³ La investigación acción participativa (IAP), corresponde a procesos investigativos que incorporan métodos en donde la comunidad pueda participar y analizar su realidad a través de la identificación de problemas, necesidades, recursos, capacidades, entre otras.

⁴ En la metodología cuerpo-territorio, se utilizan mapas y dibujos corporales como herramienta autorreflexiva que permite ubicar las subjetividades en espacios territoriales y corporales. Generalmente se utiliza esta metodología en conflictos territoriales y ambientales para dimensionar daños comunitarios.

Los resultados mostraron que en la medida que aumenta el conocimiento, la percepción de la comunidad se ajusta y establece una lista de condiciones que definen la imagen de un territorio contaminado. De esta manera, elementos como las chimeneas, el humo y otras formas visibles de emisión de sustancias en el ambiente, se convierten en señales de contaminación y peligro.

“Miro la chimenea y pienso pucha, ojalá no haya un caso hoy”

“Es lamentable cuando nos llegan reportes sobre calidad del aire y nuestros alumnos no pueden siquiera hacer educación física y deben estar encerrados”.

Por otra parte, entre las formas no visibles de contaminación, destaca la presencia de olores similares a huevo podrido y a gas (gas licuado), así como también, la identificación de sabores amargos y metálicos *“como si se masticara una pila”*. En este sentido, la comunidad indicó que la presencia de olores y sabores molestos generalmente está acompañada de viento desde el norte durante días nublados, siendo más generalizado cuando no hay viento (calma), y es en estos casos cuando se alerta a las autoridades. En este sentido, la comunidad ha desarrollado mecanismos propios de protección de carácter visual con el fin de prevenir casos de intoxicación *“si despierto y no veo a ventanas y ventanas no ve a Quintero es porque habrá contaminación. Me voy a mi casa y cierro todas las ventanas”*

En relación con la descripción de algunos síntomas físicos cotidianos, destacan mareos, ardor de garganta, ojos, dolor de cabeza y dolor de estómago. Para el caso de episodios críticos, estos síntomas se transforman en desmayos, vómitos, sarpullido en la piel, temblor en las piernas y debilidad corporal. Estos síntomas generan repercusiones emocionales en las personas, producto de la incertidumbre de no conocer la causa directa, ni los problemas futuros que pueda ocasionar la presencia de contaminantes (Figura 5).

Es relevante señalar que estos síntomas no dependen directa y únicamente de la exposición a contaminantes atmosféricos, ya que en general corresponden a una sintomatología multicausal y no pueden relacionarse de forma directa con las fuentes emisoras.

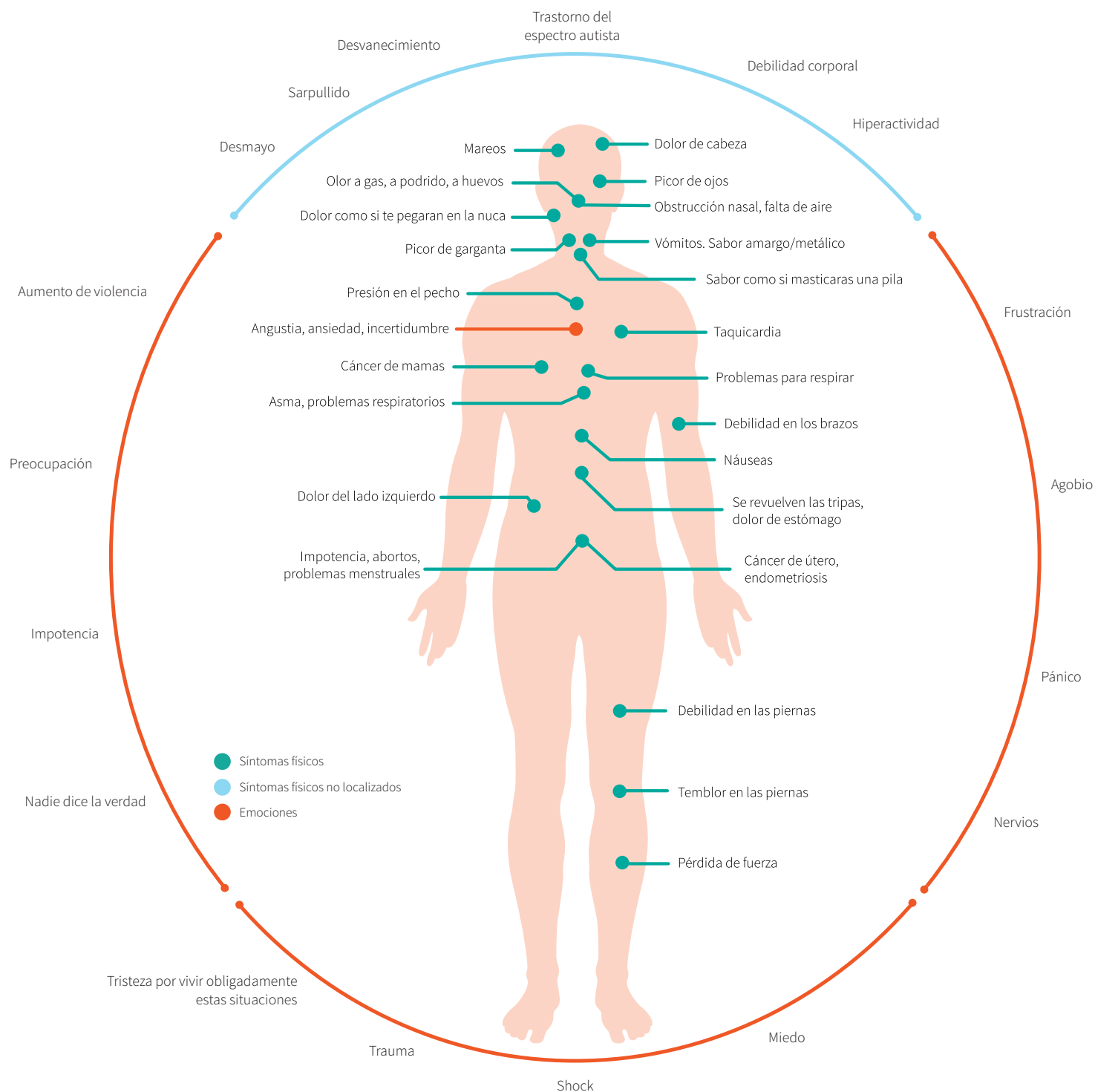


Figura 5. La figura muestra las respuestas proporcionadas por los participantes de la actividad e indica los síntomas físicos y emocionales que experimentan en relación con la contaminación. Los síntomas indicados en el marco de la figura no son ubicables en una parte específica del cuerpo.

Durante la realización del taller, los habitantes indicaron, de acuerdo con su percepción, los periodos del año que presentan mayor probabilidad de ocurrencia de episodios de contaminación. Además, señalaron los lugares menos seguros de la comuna respecto de episodios de calidad de aire. Dicha información se muestra en la Figura 6.

Para los habitantes de Quintero el viento norte es reconocido como un factor relevante capaz de transportar masas de aire contaminado desde el polo industrial a los sectores de menor altitud de la ciudad que bajo esas condiciones se perciben más inseguros (Figura 6). Un ejemplo de este patrón de viento norte asociado a una baja costera fue observado en el evento del 11 de enero de 2022.

La comunidad también reconoce las horas de la mañana (8:00-10:00) como horarios potencialmente complejos, lo cual, es coincidente con las observaciones experimentales que muestran baja velocidad del viento y cambios en la dirección que alertan de una compleja circulación y en algunos casos recirculación del aire en la bahía en horas de la mañana.

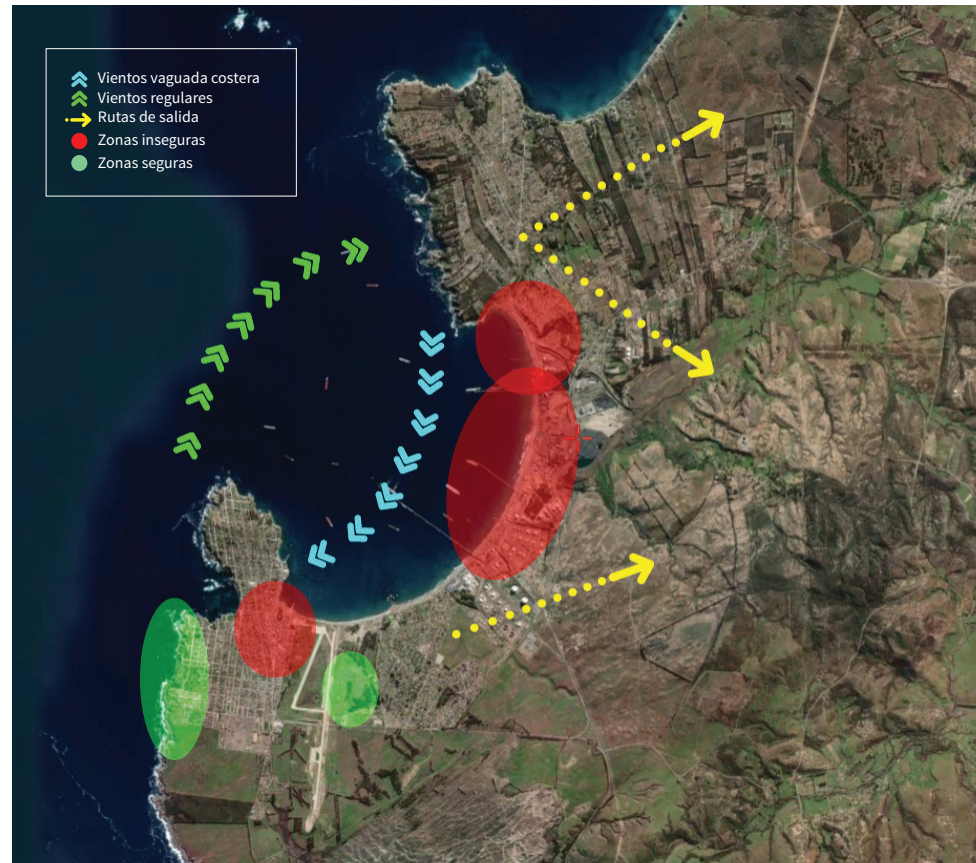


Figura 6. Mapeo territorial comunitario. El mapa muestra las salidas hacia lugares altos considerados más seguros por la comunidad.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ▶ La presente investigación permitió **identificar compuestos orgánicos volátiles (COVs) específicos** emitidos por procesos industriales de petróleo y gas en la bahía de Quintero-Puchuncaví que pueden asociarse con quejas y síntomas experimentados por residentes de la ciudad de Quintero.
- ▶ El patrón de circulación del viento, un elemento relevante en la narrativa de los habitantes de Quintero es coincidente con las mediciones experimentales que muestran que, en algunos casos, **los COVs son transportados desde la bahía** desencadenando eventos de contaminación ambiental.
- ▶ Dada la multiplicidad de fuentes de COVs en la bahía, **no fue posible distinguir los procesos industriales exactos responsables** de los eventos descritos en esta investigación. Sin embargo, esta nueva evidencia indica que las fuentes cercanas, ubicadas en la bahía, no son las únicas fuentes potenciales responsables de los episodios de contaminación que afectan Quintero y sus alrededores. En este sentido **fuentes industriales ubicadas al sur de Quintero** también pueden transportar masas de aire contaminado con viento predominante desde el sur.
- ▶ Por último, es relevante indicar que la actual configuración de la red de monitoreo de Concón, Quintero y Puchuncaví presenta una brecha significativa al norte de la refinería de Concón lo cual demuestra **la necesidad y urgencia de rediseñar la actual red de monitoreo** de calidad del aire e incorporar mediciones de otros trazadores orgánicos además de benceno.



REFERENCIAS

- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2007. Toxicological profile for benzene. Public Health Service, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Ga.
- Folchi, M. (2020). en Aliste Almuna, E., Palma Arriagada, F., Riveros Argel, P., Meriño Vergara, J., y Huayquiñir Echeverría, F. (2020). Los territorios que habita(re)mos: ¿Qué futuro existe para las zonas de sacrificio?. Position Paper N°1, Serie Desastres Socionaturales. Santiago, Chile: Universidad de Chile.
- Gayo, E. M., Muñoz, A. A., Maldonado, A., Lavergne, C., Francois, J. P., Rodríguez, D., et al., 2022. A cross-cutting approach for relating Anthropocene, environmental injustice and sacrifice zones. *Earth's Future*, 10, e2021EF002217.
<https://doi.org/10.1029/2021EF002217>
- Lara, C. (2020). El Chernobyl chileno: movilización anti extractivista en la zona de sacrificio de Quintero-Puchuncaví. *Revista Inclusiones*, 478-493.
- Ministerio del Medio Ambiente. (2021). Institucionalidad e Instrumentos para la Gestión Ambiental: Sexto Reporte del Estado del Medio Ambiente.
- Minsal (Ministerio de Salud) Decreto 83 (2018). Decreta alerta sanitaria por el periodo que se señala y otorga facultades extraordinarias que indica:
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1123413>
- MMA (Ministerio del Medio Ambiente) Decreto 15 (2023). Establece norma primaria de calidad del aire para el compuesto orgánico volátil benceno:
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1192010>
- Seguel R.J., Garreaud, R., Muñoz, R., Bozkurt, D., Gallardo, L., Opazo, C., Jorquera, H., Castillo, L., Menares, C. (2023). Volatile organic compounds measured by proton transfer reaction mass spectrometry over the complex terrain of Quintero Bay, Central Chile. *Environmental Pollution*, 330.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121759>

INFORME DE DEVOLUCIÓN

Estudio de contaminantes atmosféricos,
determinantes e impactos en la Bahía de
Quintero-Puchuncaví

(CR)² | Center for Climate
and Resilience Research
www.CR2.cl



fcfm

Geofísica
FACULTAD DE CIENCIAS
FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

