



PROYECTO:

REDISEÑO Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE DE LAS COMUNAS DE CALAMA, HUASCO Y CORONEL

Informe Final

- ❖ **Elaborar una propuesta de rediseño conceptual para red de monitoreo de calidad del aire y parámetros meteorológicos en cada zona, junto a recomendaciones técnicas para su perfeccionamiento y modernización.**

Fecha de Entrega: 22 de diciembre 2021

Abreviaciones | Definiciones

CMP	Compañía Minera del Pacífico
FMI	Finnish Meteorological Institute (Instituto Metrológico de Finlandia)
LoD	Limit of Detection (Límite de Detección)
MMA	Ministerio del Medio Ambiente
MP	Material Particulado
NRL	Laboratorio Nacional de Referencia
OMS	Organización Mundial de la Salud
PDA	Planes de Descontaminación Atmosférica
PNT	Procedimiento normalizado de trabajo
GC/CC	Garantías de calidad y control de calidad
UE	Unión Europea

Contenido

1.	ANTECEDENTES GENERALES	5
2.	RESULTADOS DE LA ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE REDISEÑO CONCEPTUAL PARA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE Y PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EN CADA ZONA, JUNTO A RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA SU PERFECCIONAMIENTO Y MODERNIZACIÓN.....	6
2.1.	Antecedentes del Informe	6
2.2	Recomendaciones Técnicas y propuesta conceptual de la Red de estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la comuna de Calama	7
2.2.1	Red de vigilancia actual y clasificación de las estaciones	7
2.2.2	Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del Informe nº 1 (Anexo 1)	10
2.2.3	Comentarios y observaciones de las visitas a las estaciones 17.11.2021.....	11
2.2.4	Propuesta conceptual de la red de monitoreo de la calidad del aire	18
2.3	Recomendaciones Técnicas y propuesta conceptual de la Red de estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la comuna del área de Huasco	21
2.3.1	Red de monitoreo actual y clasificación de las estaciones.....	22
2.3.2	Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del informe Nº 1 (Anexo 1)	25
2.3.3	Observaciones de las visitas a las estaciones 19.11.2021	27
2.3.4	Propuesta conceptual de la red de monitoreo de la calidad del aire.....	32
2.4	Recomendaciones Técnicas y propuesta conceptual de la Red de estaciones de monitoreo del área de Coronel.....	34
2.4.1	Red de Monitoreo Actual y Clasificación de las Estaciones	34
2.4.2	Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del Informe Nº 1 (Anexo 1)	35
2.4.3	Observaciones de las visitas a las estaciones 22.11.2021	37
2.4.4	Propuesta conceptual de la red de monitoreo de la calidad del aire	41
3.	BIBLIOGRAFIA	44
4.	ANEXOS	46
Anexo 1: Resultados de la evaluación de calidad, representatividad y tendencia estadística de la información de calidad del aire y parámetros meteorológicos entregada por cada red (Informe 1)46		
1.	DESCRIPCIÓN DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO	46
1.1	Huasco	46
1.2	Calama	50
1.3	Coronel	53
2.	EVALUACIÓN DE LOS DATOS Y DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	56

2.1	Normas de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)	56
2.1.1.	Área de Coronel.....	57
2.1.2.	Zona de Huasco	87
2.1.3.	Zona de Calama	109
2.2.	Conclusiones parciales	131
Anexo 2: Resultados de la evaluación de los procedimientos y protocolos de operación ejecutados en cada red de monitoreo y dar recomendaciones técnicas sobre la calidad y sus oportunidades de mejoramiento (Informe 2).....		
		133
1.	ANTECEDENTES DEL INFORME.....	133
1.1	REGULACIONES EN TEMAS DE MEDIDAS DE CALIDAD DEL AIRE	133
1.1.1	Requisitos de las Directrices de la UE.....	133
1.1.2	Requisitos de las Normas de la metodología de referencia EN.....	135
1.1.3	Requisitos de la normativa chilena, Decreto N.º 61.....	138
1.2	SITIOS EVALUADOS	139
1.3	Resultados de la evaluación	141
1.3.1	Algoritmos	144
1.3.2	Bureau Veritas	153
1.3.3	Inerco Enel.....	159
1.3.4	Serpram-Suez	165
1.3.5	SGS.....	168
1.4	Conclusiones parciales	180
1.5	Recomendaciones parciales	181
Anexo 3: Agenda y registro de actividades de la visita de Katja Loven y Mika Vestenius, expertos en calidad del aire del FMI a las redes de monitoreo de Calama, Huasco y Coronel.....		
		184
Anexo 4: Presentaciones realizadas por el FMI durante su visita a Calama, Huasco y Coronel..		
		195

1. Antecedentes Generales

La Subsecretaría del Medio Ambiente (MMA), del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) del Gobierno de Chile, ha contratado a Fundación Eurochile para la ejecución de la consultoría denominada “REDISEÑO Y MODERNIZACIÓN DE LAS REDES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE EN LAS COMUNAS DE CALAMA, HUASCO Y CORONEL”.

El MMA, como organismo a cargo de la Estrategia Nacional para los Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), se encuentra trabajando en la recuperación de áreas latentes y saturadas por contaminantes atmosféricos, entre las que se incluyen la elaboración de estudios de rediseño y mejoramiento de las actuales redes de monitoreo de calidad del aire que se encuentran instaladas en distintas zonas que han sido declaradas bajo esta condición.

Para Calama, comuna declarada saturada para MP_{10} (D.S. N°57/2009), se ha elaborado un PDA (D.S. N° 5/2021) que establece que, dentro de 12 meses de la entrada en vigencia del Plan se realizarán estudios orientados al rediseño y modernización de la red de monitoreo de calidad del aire de la zona cubierta por el Plan. Así en su Artículo 63 se señala que *el objetivo del rediseño de la red debe contemplar el monitoreo de los contaminantes normados; la composición química del material particulado, considerando elementos tales como silicio, arsénico, azufre, calcio, cadmio, cloro, cromo, cobre, hierro, magnesio, mercurio, molibdeno, potasio, selenio, sodio, níquel, plomo, y vanadio; y, la medición meteorológica, lo que se especificará en el estudio señalado*. Esta zona cuenta a la fecha con 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire que deben ser revisadas y evaluadas respecto de su representatividad y estándar de operación en función de los objetivos del Plan propuesto.

En el caso de Huasco y su área circundante, declarada latente para MP_{10} en su concentración anual (D.S. N°40/2011), mantiene vigente un PDA (D.S. N°38/2016) cuya implementación a 10 años compromete *la elaboración de un estudio orientado a optimizar la operación, gestión y configuración de toda la red de monitoreo de calidad de aire y meteorología, y a efectuar propuestas concretas de optimización*, (Art. N° 20). Esta zona, a la fecha, cuenta con 14 estaciones que deben ser revisadas y evaluadas respecto de su representatividad y estándar de operación en función de los objetivos del plan vigente.

En el caso de Coronel, el área es parte de la provincia de Concepción que ha sido declarada saturada para MP_{10} (Res. Ex. 476/2007) y Material Particulado Fino ($MP_{2.5}$) en su concentración diaria (D.S. N°15/2015), en donde se mantiene vigente un PDA que señala que el Ministerio determinará *las acciones necesarias para mejorar y rediseñar el monitoreo de la calidad del aire y meteorología, en base a los resultados de los estudios disponibles* (Art. 97, D.S. N° 6/2019). En esta comuna y su zona aledaña se han identificado 15 estaciones de monitoreo que deben ser revisadas y evaluadas respecto de su representatividad y estándar de operación en función de los objetivos del plan vigente.

En base a lo antes planteado, el presente estudio tiene por objeto entregar una propuesta de rediseño y perfeccionamiento técnico para las actuales redes de estaciones de monitoreo de calidad del aire y meteorología instaladas en Calama, Huasco y Coronel, con el propósito de ser implementadas en el contexto de los compromisos establecidos en los respectivos Planes de Descontaminación Atmosférica. Para la generación de recomendaciones, la Fundación Empresarial Comunidad Europea Chile (Eurochile) ha convenido un trabajo colaborativo junto con el Instituto de Meteorología de Finlandia, también conocido como FMI (Finnish Meteorological Institute).

Para efecto de lo anterior, se compromete el cumplimiento de los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la calidad, representatividad y tendencia estadística de la información de calidad del aire y parámetros meteorológicos entregada por cada red.
2. Evaluar los procedimientos y protocolos de operación ejecutados en cada red de monitoreo y dar recomendaciones técnicas sobre la calidad y sus oportunidades de mejoramiento.
3. Elaborar una propuesta de rediseño conceptual para red de monitoreo de calidad del aire y parámetros meteorológicos en cada zona, junto a recomendaciones técnicas para su perfeccionamiento y modernización.

El Informe Final presentado en este documento consolida lo reportado en los informes de avance 1 y 2 e informa el trabajo desarrollado para dar cumplimiento al objetivo 3 de la consultoría.

2. Resultados de la elaboración de una propuesta de rediseño conceptual para red de monitoreo de calidad del aire y parámetros meteorológicos en cada zona, junto a recomendaciones técnicas para su perfeccionamiento y modernización.

2.1. Antecedentes del Informe

La sección a continuación constituye la tercera fase del proyecto "Rediseño Y Modernización De Las Redes De Monitoreo De La Calidad Del Aire En Las Comunas De Calama, Huasco Y Coronel", el cual se basa en los resultados del informe N° 1 "Evaluación de las redes de monitoreo de la calidad del aire en las Comunas de Calama, Huasco y Coronel" y del informe N° 2 "Evaluación y recomendaciones técnicas para los procedimientos de GC/CC y documentación relacionada de las redes de monitoreo de la calidad del aire en las Comunas de Calama, Huasco y Coronel". El primer informe abarcó el análisis de los datos de medición horaria de la calidad del aire durante tres años (2017-2019) de las redes de calidad del aire en las Comunas de Calama, Huasco y Coronel. El segundo informe, la evaluación de los procedimientos de GC/CC y la documentación relacionada de los operadores que realizan las actividades de monitoreo en estas tres zonas, y las recomendaciones para la mejora de los procedimientos de GC/CC. Las visitas a las estaciones de monitoreo seleccionadas en cada red de control se organizaron entre el 15 y el 24 de noviembre de 2021, cuando los expertos en calidad del aire Katja Lovén y Mika Vestenius del Instituto Meteorológico de Finlandia viajaron a Chile.

A continuación se entrega una propuesta de rediseño para el mejoramiento y optimización de las redes de monitoreo de la calidad del aire en las comunas de Calama, Huasco y Coronel. Las recomendaciones y la propuesta de rediseño de las redes de monitoreo se hacen de acuerdo con los requisitos y prácticas de la UE, y se basan únicamente en el análisis de datos, las visitas a los sitios realizadas por los expertos del FMI y las reuniones celebradas con los representantes de los operadores de la red de monitoreo, los representantes de la industria y algunos de los ciudadanos que viven en la zona.

En la UE, el control de la calidad del aire está regulado en gran medida por las directivas de calidad del aire de la UE. Las directivas establecen los valores límite obligatorios y los valores objetivo. Las directivas también establecen los objetivos de calidad y los requisitos para el control de la calidad del aire en Europa. Las estaciones de monitoreo de la calidad del aire que cumplen los criterios de las directivas de calidad del aire para las estaciones de monitoreo fijas se denominan estaciones de control del cumplimiento. Además de vigilar los valores límite, la calidad del aire se controla ampliamente en las redes de medición por diversas necesidades

locales, que fueron el punto de partida de la mayoría de las mediciones de la calidad del aire. La calidad del aire se controla principalmente para garantizar una buena calidad del aire que no tenga efectos negativos para la salud de los residentes locales y el medio ambiente. La calidad del aire también se mide, por ejemplo, para evaluar el impacto de las fuentes de emisión individuales, debido a las quejas de los residentes, para cumplir los criterios de las condiciones de los permisos medioambientales y para evaluar la necesidad de un monitoreo continuo de la calidad del aire.

Las recomendaciones dadas en este informe se hacen para asegurar que hay suficiente cantidad de datos de buena calidad y representativos de la calidad del aire de la zona, con el fin de evaluar el impacto de los contaminantes del aire en la salud de los residentes locales y el medio ambiente. Sin embargo, dado que existen otros aspectos de la vigilancia, como las relaciones públicas, las quejas de los residentes y el cumplimiento de los criterios de las condiciones de los permisos medioambientales, esta recomendación puede no satisfacer las diferentes necesidades de vigilancia en esta zona, por lo que este aspecto debe considerarse cuidadosamente cuando se empieza a aplicar la optimización de la red actual.

2.2 Recomendaciones Técnicas y propuesta conceptual de la Red de estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la comuna de Calama

Calama es una ciudad situada en el interior del norte de Chile, a unos 1.200 kilómetros al norte de Santiago y rodeada por el desierto de Atacama. La población de la ciudad es de unos 180.000 habitantes. Calama se encuentra a más de 2.000 metros sobre el nivel del mar. Tiene un clima desértico, por lo que no llueve mucho durante el año. Está considerada como la capital minera de Chile por su proximidad a varios yacimientos y a Chiquicamata, que es una de las mayores minas de cobre a rajo abierto del mundo.

2.2.1 Red de vigilancia actual y clasificación de las estaciones

La red de monitoreo de la calidad del aire de la Comuna de Calama consta de 5 estaciones operativas de calidad del aire; 4 estaciones están ubicadas en el área del centro de la ciudad de Calama en un área de 5 x 5 kilómetros y 1 estación, Nueva Chiu Chiu, a 30 kilómetros al Noreste de la ciudad de Calama.

En la Figura 1 se presentan las ubicaciones de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama y en la Figura 2 las rosas de vientos de las estaciones de calidad del aire seleccionadas que muestran las direcciones de los vientos predominantes, la participación de las diferentes velocidades de los vientos en los diferentes sectores de vientos. La lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos medidos en la red de monitoreo de la calidad del aire de Coronel se presentan en la Tabla 1.

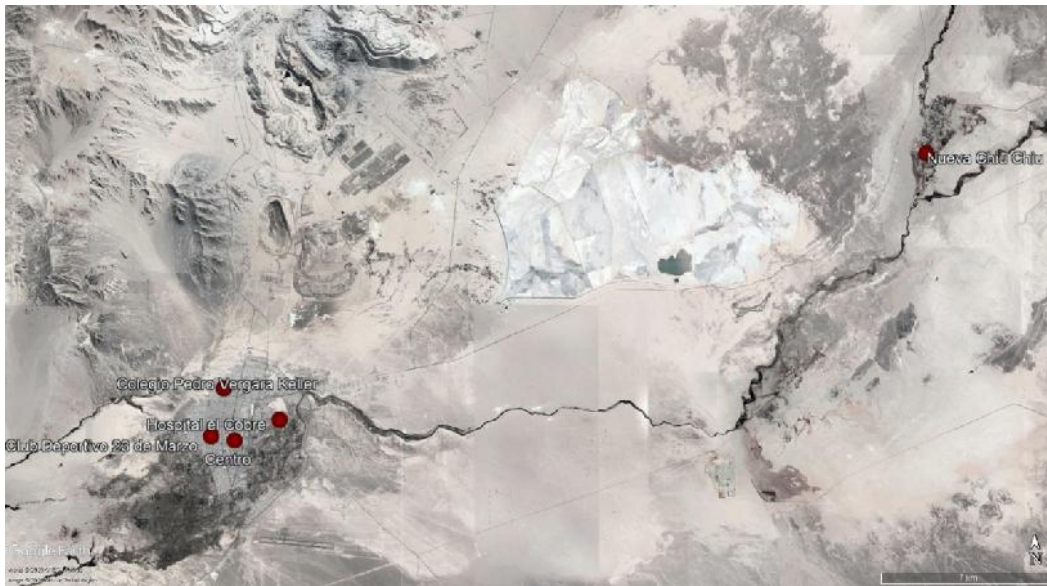


Figura 1. Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la zona de Calama



Figura 2. Rosas de viento de las estaciones de monitoreo de calidad de aire seleccionadas que representan los porcentajes de distribución de la dirección del viento entre los diferentes sectores. Los sectores de viento predominantes son el este y el oeste.

Tabla 1. La lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos que se supone que se miden en la red de monitoreo de la calidad del aire de Calama cuando se inició el análisis de los datos.

	SO ₂	NO-NO ₂ -NO _x	O ₃	CO	As and Pb	PM _{2,5}	PM ₁₀
Centro	X	X	X	X	X	X	X
Club Deportivo 23 de Marzo					X	X	X
Colegio Pedro Vergara Keller					X	X	X
Hospital del Cobre	X				X	X	X
Nueva Chiu Chiu	X					X	X

La cantidad de estaciones de monitoreo en la ciudad de Calama puede considerarse suficientes teniendo en cuenta la población (180.000 habitantes) de la zona y la geografía de la ciudad de Calama. Una estación de calidad del aire, Nueva Chiu Chiu, se encuentra a unos 30 kilómetros al noreste de la ciudad de Calama. Nueva Chiu Chiu es un pequeño pueblo con una población de pocos cientos de personas. El entorno es extremadamente seco y polvoriento, ya que está rodeado por el desierto de Atacama y las grandes actividades mineras cercanas a la ciudad de Calama. Durante los meses de enero a marzo puede haber entre un 2 y un 4% de precipitaciones diarias, mientras que en los demás meses la precipitación es nula, por lo que las condiciones meteorológicas para la formación de polvo son favorables, ya que hay viento y sequedad.

El objetivo principal del monitoreo es la material particulado (MP₁₀ y MP_{2,5}) que se controla en las cinco estaciones. También se realizan análisis químicos de elementos como el arsénico (As) y el plomo (Pb) en todas las demás estaciones, excepto en Nueva Chiu Chiu. El dióxido de azufre (SO₂) se mide en tres estaciones y los óxidos de nitrógeno (NO, NO₂, NO_x), el ozono (O₃) y el monóxido de carbono (CO) en una estación. Cada una de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de la zona puede considerarse como una estación de fondo urbano (NO, NO₂, NO_x, O₃, CO, MP_{2,5}/ MP₁₀)/industrial (SO₂, MP₁₀), ya que están situadas en medio de zonas de viviendas típicas y se ven afectadas principalmente por las fuentes de emisión locales, como la calefacción/quema doméstica y el tráfico, y por las emisiones industriales procedentes principalmente de las actividades mineras cercanas, en particular el SO₂ y las partículas (MP₁₀).

Actualmente, ninguna de las estaciones puede considerarse como estación de tráfico, ya que la estación más cercana al tráfico, Centro, se encuentra en la azotea del edificio, a unos 20-30 metros de la carretera más cercana en el centro de la ciudad de Calama. Según los criterios de la UE, la estación clasificada como estación de tráfico debe situarse a menos de 10 metros de la carretera.

Como todas las estaciones de calidad del aire representan el ambiente urbano de fondo en la ciudad de Calama o en el pueblo de Nueva Chiu Chiu, no hay información de las concentraciones background, lo que hace difícil estimar el impacto de las fuentes naturales como las tormentas de arena y polvo del desierto en la calidad del aire. La idea de la estación rural de background es medir la calidad del aire en la estación background limpia que no está impactada por ninguna fuente de emisión, pero representaría la calidad del aire en el background limpio. Las concentraciones de ozono tienden a ser mucho más altas en la estación de background rural en comparación con las estaciones industriales o urbanas.

También es importante evaluar la representatividad de cada una de las estaciones de calidad del aire actuales en la zona. Si las estaciones están representando realmente aquello para lo que fueron diseñadas originalmente.

Si las estaciones están situadas cerca unas de otras en entornos similares, es bueno considerar cuál es el valor adicional y la información de los datos de calidad del aire que proporciona cada estación.

2.2.2 Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del Informe nº 1 (Anexo 1)

Los siguientes hallazgos y conclusiones se realizaron en base al análisis de datos de las redes de monitoreo de calidad del aire en la Comuna de Calama (2017-2019):

- La zona de Calama presenta altas concentraciones de **material particulado (MP₁₀)** en las cinco estaciones de monitoreo, por lo que es uno de los **compuestos/contaminantes prioritarios** a monitorear en la zona.
- El entorno del desierto de Atacama y las condiciones meteorológicas locales (condiciones secas y ventosas) son favorables para la formación de polvo. Por lo tanto, **se recomienda analizar el impacto de las fuentes naturales** como las tormentas de arena y polvo (SDS) de la zona del desierto en comparación con las fuentes de emisión locales y regionales; el tráfico en las carreteras sin pavimentar dentro y alrededor de la ciudad de Calama y sus alrededores, y las actividades mineras a gran escala cerca del centro de la ciudad de Calama.
- El muestreo de filtros de material particulado (MP₁₀), y el **análisis químico de los elementos** en el MP₁₀ apoyan en el análisis del impacto de las diferentes fuentes de emisión (natural, doméstica, tráfico, industria minera) a las concentraciones de MP₁₀.
- Para evaluar el impacto de las emisiones de la industria minera a las concentraciones de MP₁₀ en la ciudad de Calama y sus áreas suburbanas, se recomienda **monitorear el material particulado (MP₁₀) también más cerca de la zona minera**, por lo que la **estación de monitoreo estaría ubicada entre la ciudad y la zona minera**. De esa manera se puede diferenciar el impacto de las concentraciones de MP₁₀ que se originan en dirección a la zona minera y las MP₁₀ que se originan en la ciudad de Calama (tráfico en caminos no pavimentados y otras posibles fuentes domésticas).
- Las concentraciones de arsénico medidas en las muestras de MP₁₀ superan el valor objetivo de la UE (0,006 µg/m³) en la mayoría de las estaciones de monitoreo. Por lo tanto, **se recomienda estudiar la fuente de arsénico** de forma más detallada mediante el análisis químico de los elementos en las partículas y **mediante el análisis de correlación de la Factorización de Matriz Positiva (PMF)** para llevar a cabo el análisis de reparto de fuentes en las diferentes fuentes que impactan en los niveles de concentración de arsénico.
- Los niveles de concentración de **partículas finas (MP_{2,5})** se encuentran en un nivel moderado, y existen claras diferencias entre los niveles de concentración medidos en las distintas estaciones de monitoreo de la calidad del aire, lo que **indica el fuerte impacto de las fuentes locales** (muy probablemente la calefacción doméstica y/o la combustión).
- El **dióxido de azufre (SO₂)** se mide en las tres estaciones y las **concentraciones anuales son bajas (2-5 µg/m³)**. Durante los últimos tres años, la tendencia de las concentraciones de SO₂ está disminuyendo en las tres estaciones, por lo que la **necesidad de controlar el SO₂ es menos importante** en el futuro, si no se producen cambios importantes (aumento) en las emisiones de SO₂ en la zona.
- El **monóxido de carbono (CO)**, el **ozono (O₃)** y los **óxidos de nitrógeno (NO_x)** **no son los contaminantes prioritarios** a medir, ya que sus niveles de concentración en todas las estaciones de control actuales eran bajos.

Basándose en la baja concentración medida durante los últimos 3 años, no sería necesario medir continuamente el CO en la zona. **Una sola estación de medición de O₃ y NO_x sería suficiente.** Sin embargo, las mediciones de ozono deberían situarse más lejos de las fuentes de emisión directas (industria, producción de energía y tráfico).

- Los datos de las mediciones de **monóxido de carbono (CO)** parecían tener claros **problemas de calidad de los datos**, posiblemente debido al límite de detección y al deslizamiento del analizador.

- Sería beneficioso **mejorar los procesos de validación de los datos** de monitoreo de la calidad del aire. En caso de que el nivel cero del analizador se desvíe (por ejemplo, en el caso del analizador de CO), se produce una mayor incertidumbre en los resultados del control. La validación de los datos basada en las calibraciones periódicas podría ser una solución para **controlar la desviación del nivel cero** y la calidad de los resultados del control.

2.2.3 [Comentarios y observaciones de las visitas a las estaciones 17.11.2021](#)

Los expertos en calidad del aire del Instituto Meteorológico Finlandés (FMI) Katja Lovén y Mika Vestenius visitaron las cinco estaciones de calidad del aire de la zona el 17.11.2021. A continuación se exponen algunos comentarios y observaciones de las visitas a las estaciones.

Como observaciones generales, las estaciones visitadas estaban en buenas condiciones, bien equipadas y mantenidas, las cabinas de medición eran suficientemente grandes y estaban limpias. Los operadores visitan la estación como mínimo una vez a la semana. Durante el muestreo de filtros, cada tres días. Las muestras del filtro se recogen durante 24 horas. El filtro está en el muestreador durante aproximadamente 72 horas. No hay refrigeración en los muestreadores, pero no es necesaria para las muestras de metales. Los filtros se almacenan en el laboratorio en condiciones secas en la nevera. Las muestras de alto volumen se envuelven en papel de aluminio. Todas las estaciones visitadas fueron operadas por SGS. Los procedimientos y guías de calibración y mantenimiento estaban disponibles en la estación. Todo parecía estar en buen estado. El personal entrevistado tenía experiencia profesional.

Resumen sobre los métodos y procedimientos en las estaciones de SGS:

1. **SO₂** (Thermo 43i), calibración multipunto de 0 + 5 niveles 1 vez al año

Comprobación semanal de cero y de la escala, normalmente la desviación está dentro del 3 %.

Multipunto mediante calibrador, niveles calculados a partir del certificado de la botella de gas SO₂ de la EPA.

Nueva botella de gas de calibración cada 2 años aproximadamente.

No tienen oportunidad de comprobar la botella de gas ni los puntos de calibración en el laboratorio acreditado, por lo que confían en el certificado de la botella de gas y en el diluyente. Se utiliza la misma botella de gas para el multipunto y el span en cada estación donde se mide el SO₂.

El mantenimiento suele durar media jornada laboral.

Hay monitores de repuesto. Si el monitor se estropea o hay problemas de calidad o de diagnóstico, no lo reparan in situ, sino que cambian el instrumento y lo reparan en el laboratorio o lo envían al servicio técnico.

Libro de la estación. Se proporciona una copia impresa del documento de visita a la estación a los expertos en gestión de datos, que son personas distintas de los operadores que visitan la estación.

Captura de datos: límite del 90%, normalmente es del 96%.

No parece haber criterios de comprobación de la linealidad y ésta no se comprueba.

2. **MP₁₀ y MP_{2,5}**

TEOM 1405

Calibración una vez al año con filtro pesado, que es un método muy bueno.

El límite de la diferencia de calibración es del 2,5%.

Controles una vez al mes. Comprobación de los parámetros, comprobación del flujo (la diferencia máxima es del 10 %, regla de la legislación).

Limpieza del cabezal, comprobación de fugas 1 vez al mes.

El caudalímetro se calibra una vez al año.

TEOM 1405 FDMS

Fino + grueso, calibración con filtro pesado 1/año

Cuando la diferencia entre fino y grueso excede de 30ug entonces realiza cambio de filtro

BAM 1020

Comprobación de referencia automática 1/hora.

No hay calibraciones manuales de masa

Comprobaciones de flujo, fugas 1/mes

3. **NO_x Thermo 42i**

Calibración una vez cada 3 meses

Cal de 5 puntos, eficiencia del convertidor

Comprobación del cero una vez a la semana

Controles de estabilidad de cero y span

En calibración: 5 a 10 min de estabilización, luego 10 a 15 min por puntos de calibración

Cilindro + diluyente, puntos de calc del certificado.

4. **Ozono** Thermo 49i

Generador de ozono, se realiza una calibración multipunto de 5 puntos 1/año. Span + cero 1/semana

5. **CO** Thermo 48i

Cilindro de gas + dilutor 812,8 PPM, certificado 30.4.2019

5 niveles de calibración

Cero semanal + span

Nivel cero 0,08 ppm. Denudador de carbono activo.

El desplazamiento del nivel cero (deriva) es un problema

Flujo de datos:

Intervalo de recogida de datos de 1 minuto, registrador de datos a base de datos principal. No hay ordenadores en la estación.

Descripción de Estaciones visitadas

1. La estación de **Nueva Chiu Chiu** puede clasificarse como estación de monitoreo de la calidad del aire de **fondo urbano/industrial**. La estación está ubicada cerca de un par de casas pequeñas que tienen algunos animales (caballos). También hay un **camino sin pavimentar** con material de superficie muy polvoriento al lado de la estación. Parece que se está llevando a cabo un proyecto de construcción a pequeña escala cerca de la estación en el que se está construyendo una bodega. Esto probablemente ha provocado un aumento del tráfico en las inmediaciones de la estación. Algunos **picos de concentración horaria de MP_{2,5}** (hasta 500 µg/m³) indican que existe cierta **influencia de las fuentes de emisión cercanas**. Las carreteras sin asfaltar y el material polvoriento de la superficie de la carretera influyen sin duda en las concentraciones de MP₁₀ medidas en la estación. Sin embargo, en el pueblo de Nueva Chiu Chiu, casi todas las carreteras están sin asfaltar, por lo que, en cierto modo, se trata de una condición local realista.



2. La estación "**Hospital**" puede clasificarse como estación de calidad del aire de **fondo urbano/industrial** cerca del hospital. La estación describe bien la zona de fondo urbano con el hospital y varias casas privadas en las proximidades de la estación. A continuación se muestran las fotos de la estación y su entorno.



3. **Central** - La estación puede clasificarse como **fondo urbano / estación industrial**, La estación se encuentra en la azotea de un antiguo edificio escolar, actualmente vacío, y está rodeada de patios y edificios escolares vacíos. La **ubicación de la estación podría cambiar**, porque ya no hay actividades escolares y los edificios están vacíos, y por esta razón, el entorno podría dejar de ser seguro. En las inmediaciones de la estación, hay pocas y pequeñas casas.



4. **Club Deportivo 23 de Marzo** - La estación se puede clasificar como **fondo urbano / estación industrial**, la estación se encuentra al lado del campo de fútbol y hay una pequeña zona de estacionamiento junto a la estación. También hay una carretera de tamaño medio situada a unos 30-50 metros de la estación.



5. **Estación SML (solo MP)** - La estación no cuenta actualmente con representatividad poblacional. Se puede clasificar como **fondo urbano / estación industrial**. La estación es bastante vieja y hay un sitio bastante grande de construcción de nuevos edificios de apartamentos cerca. Hay planes para detener el monitoreo en esta estación, la estación estará rodeada de altos edificios de apartamentos.



2.2.4 Propuesta conceptual de la red de monitoreo de la calidad del aire

La población de la ciudad de Calama es de unos 180.000 habitantes. La ciudad está rodeada por el desierto de Atacama, que presenta **condiciones favorables para la formación de polvo**. Es probable que también haya algunas fuentes naturales de partículas (tormentas de arena y polvo). La mayor mina de cobre a rajo abierto del mundo, Chuquicamata, se encuentra muy cerca (sólo un par de kilómetros al norte-noreste) de la ciudad de Calama. Las actividades mineras tienen una larga historia en la zona y han modificado significativamente el

paisaje. Existen planes para establecer nuevas actividades mineras en la zona. Diferentes aspectos e impactos ambientales de la industria minera están preocupando a algunos de los ciudadanos locales de Calama.

Considerando el tamaño de la ciudad de Calama, la cantidad actual **de 4 (cuatro) estaciones de calidad del aire** en la ciudad de **Calama** y **1 estación** en **Nueva Chiu Chiu** puede considerarse como una **buena cantidad de estaciones de monitoreo** en la ciudad. Todas las estaciones de monitoreo incluyen el monitoreo de partículas, lo cual es bueno ya que especialmente las partículas (MP_{10}) son el contaminante prioritario a medir debido a sus impactos en la salud y a las altas concentraciones medidas.

Todas las estaciones actuales de monitoreo de la calidad del aire **pueden ser clasificadas como "estaciones de background urbano"**. Se **recomienda tener una estación como "estación de tráfico"** que se situaría cerca de los hot spots del entorno del tráfico, midiendo allí los NO_x , NO , NO_2 , CO , $MP_{2,5}$ y MP_{10} . Las concentraciones de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono son bajas, por lo que bastaría con monitorearlas en una sola estación. En caso de que sólo haya una estación que monitoree los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono, la ubicación prioritaria sería cerca del entorno de tráfico intenso, porque es el entorno típico en el que los óxidos de nitrógeno y los monóxidos de carbono son más altos. En caso de que se monitoree en dos estaciones, podría haber una estación de tráfico y una estación de background urbano. Las mediciones de ozono no deberían realizarse en la estación de tráfico, ya que el ozono se consume en el proceso de oxidación química del monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno. Por lo tanto, el ozono debe medirse en la estación de background urbano.

La vigilancia de las partículas es necesaria porque las concentraciones de MP son elevadas. El entorno polvoriento y las grandes actividades mineras cercanas son probablemente las principales razones de las altas concentraciones de MP. Además de la vigilancia continua de las partículas (MP_{10} y $MP_{2,5}$), **se recomienda el muestreo periódico de los filtros de partículas y el análisis químico de los elementos** (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe, Zn y V) de las MP_{10} y $MP_{2,5}$ en los filtros. Es importante que el **Límite de Detección (LOD)** del análisis de metales sea lo **suficientemente bajo** como para que el análisis dé como resultado valores reales de concentración, y no sólo la información, si la concentración supera o no el LOD. Las tendencias de las concentraciones de metales también son importantes. Esto ayudaría a la asignación de fuentes (estudiar el impacto de las diferentes fuentes de emisión en las concentraciones de partículas medidas) y a comprender los riesgos para la salud de las partículas.

Las concentraciones de **dióxido de azufre** (SO_2) son bajas y parecen tener una clara tendencia a la baja, por lo que la **cantidad de monitoreo de SO_2 puede reducirse a una o dos estaciones**, si no se producen cambios importantes en las emisiones de dióxido de azufre.

Las concentraciones de plomo (Pb) son bajas y están disminuyendo, por lo que el **monitoreo del Pb en una estación de monitoreo sería suficiente**. Las **concentraciones de arsénico (As) son elevadas**, por lo que sería bueno hacer un **seguimiento**, por ejemplo, **en un par de estaciones diferentes** de forma regular, y también tratar de analizar la fuente principal de la misma.

Para estudiar el impacto de las actividades mineras en la ciudad de Calama, sería bueno **ubicar una estación de monitoreo entre el área minera y la ciudad de Calama**, posiblemente más cerca de las actividades mineras que las actuales estaciones de monitoreo. La ubicación de la estación debe hacerse con cuidado y teniendo en cuenta también otras posibles fuentes de partículas (MP_{10}), por ejemplo, las carreteras que pueden causar polvo e impacto en las concentraciones de partículas. Utilizando tanto los datos meteorológicos como los datos de monitoreo de la calidad del aire, se puede evaluar el impacto de las diferentes fuentes de emisión en las

concentraciones de partículas, si las estaciones de calidad del aire están ubicadas de manera que las principales fuentes de emisión se encuentren en diferentes direcciones de la estación de monitoreo.

Se recomiendan los siguientes cambios para optimizar y desarrollar la actual red de vigilancia:

1. Optimizar la red de monitoreo de la calidad del aire.

- o La cantidad actual (4) de estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Calama es suficiente.
- o El contaminante prioritario a monitorear es el material particulado inhalable (MP₁₀) el cual se recomienda monitorear en todas las estaciones de monitoreo de calidad del aire como se hace actualmente.
- o Todas las estaciones actuales están clasificadas como background urbano/industrial. Está previsto que dos de las estaciones actuales se trasladen de su ubicación actual debido a los cambios de su entorno, por lo que habrá algunos traslados de las estaciones.
- o Se recomienda que una de las estaciones que se trasladen (Centro) se sitúe muy cerca del entorno del tráfico para medir los óxidos de nitrógeno (NO, NO₂ y NO_x), el monóxido de carbono (CO) y las partículas (MP₁₀ y MP_{2.5}).
- o Una estación podría situarse en la parte norte de la ciudad, más cerca de la zona minera. Allí se podrían monitorizar las MP₁₀ y el SO₂ y el muestreo de filtros de MP₁₀.
- o Se recomienda controlar el ozono en una estación background urbano diferente. Por ejemplo, el Hospital sería una buena estación para controlar el ozono.
- o El dióxido de azufre se controla actualmente en tres estaciones, cuyas concentraciones son bajas y tienen una tendencia a la baja, por lo que el número de estaciones puede reducirse en el futuro a una o dos, en caso de que las concentraciones sigan siendo bajas.
- o Es importante evaluar la red de monitoreo de la calidad del aire de forma periódica (es decir, cada 5 años) para ver si la red de monitoreo sigue cumpliendo los requisitos de las necesidades de control de la calidad del aire en la zona. ¿Cómo es la situación de la calidad del aire y la evolución de los niveles de contaminantes en el aire? ¿Han tenido las acciones de prevención de la contaminación un impacto en los niveles de concentración? ¿Acciones previstas/acordadas para mejorar la calidad del aire? ¿Siguen siendo necesarias todas las mediciones y estaciones de calidad del aire? ¿Existen nuevas necesidades de medición?

2. Mejorar el proceso de validación de datos. Preparar instrucciones (procedimiento operativo estándar) para la validación de datos (deslizamiento del nivel cero, qué hacer con los valores erróneos y sospechosos). La validación de los datos debe realizarse con expertos que conozcan los datos y los niveles de concentración y las variaciones de la zona. Se necesitan calibraciones de múltiples puntos para corregir los datos en base a ellos.

3. Complementar la actual red de vigilancia de la calidad del aire con nuevos tipos de estaciones y de vigilancia

- o Es bueno considerar el establecimiento de una estación rural de fondo (contaminantes a medir, MP_{2.5}, NO_x, O₃, posiblemente también algunos aniones y cationes), a unos 50 km de las principales fuentes de la zona que presenta la calidad del aire de fondo regional.

o Seguir el desarrollo de la tecnología de sensores probando activamente cómo se aplican los sensores como mediciones complementarias de bajo coste además de las estaciones de monitoreo de referencia de alta calidad.

4. Apoyar las evaluaciones de la calidad del aire mediante otras herramientas de control de la calidad del aire

o Considerar la posibilidad de llevar a cabo un estudio de reparto de fuentes (modelización de PMF) para evaluar las fuentes prioritarias de partículas en la zona.

o Familiarizarse con el uso de herramientas de modelización de la dispersión; modelos de dispersión a escala local (es decir, modelos gaussianos) y modelos regionales (es decir, SILAM) que pueden utilizarse para prever la calidad del aire y las emisiones transportadas a larga distancia (es decir, incendios forestales y tormentas de arena).

o Los datos satelitales también podrían utilizarse para apoyar las evaluaciones de la calidad del aire, por ejemplo para estudiar más de cerca los fenómenos de tormentas de arena y polvo en la zona.

2.3 Recomendaciones Técnicas y propuesta conceptual de la Red de estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la comuna del área de Huasco

Huasco es una pequeña ciudad situada en la costa del Océano Pacífico Sur, en el centro-norte de Chile, a unos 550 kilómetros al norte de Santiago. La población de la ciudad es de unos 10.000 habitantes. La ciudad está rodeada por los cerros de hasta 300-600 metros de altura y en medio se encuentra el valle del río Huasco entre las elevaciones de tierra más altas.

En Huasco la actividad industrial comenzó en 1978 con el funcionamiento de la Planta de Pellets de la Compañía Minera del Pacífico - CMP. En la Planta de Pellets se procesa preconcentrado de hierro (Fe) proveniente de la Mina Los Colorados, a 40 km al noreste de Huasco. Se utiliza el ferrocarril para el mineral. También hay una gran central termoeléctrica de carbón (760 MW), Guacolda, propiedad de Guacolda Energía (filial de AES-Gener) en Huasco (Figura 3).



Figura 3. La central termoeléctrica de carbón Guacolda (760 MW) se encuentra en Huasco.

Huasco cuenta además con tres puertos industriales: Puerto Guacolda I (Guacolda Energía), Puertos Guacolda II y Las Losas, ambos pertenecientes a CMP.

En el puerto industrial se despacha mineral desde la Planta de Pellets y se recibe carbón para el funcionamiento de los hornos industriales (Guacolda y Planta de Pellets). La actividad industrial es percibida como la principal responsable del deterioro de la calidad del aire. Entre los principales problemas, se ha señalado la emisión fugitiva de polvo en suspensión desde los campos de almacenamiento y vagones de tren, además del material particulado originado por los procesos de combustión en las chimeneas industriales.

Se considera que Huasco tiene un clima desértico. En Huasco no hay muchas precipitaciones durante el año.

2.3.1 Red de monitoreo actual y clasificación de las estaciones

La red de monitoreo de la calidad del aire de la comuna de Huasco consta de 14 estaciones operativas de calidad del aire y 1 estación adicional de observación meteorológica EME-ME; 6 estaciones a lo largo y en las cercanías de la zona costera dentro de un área de 5x5 kilómetros y 8 estaciones para el monitoreo de dióxido de azufre (SO₂) a lo largo del valle del río Huasco dentro de un área de 10 kilómetros.

En la Figura 4 se presentan las ubicaciones de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la zona del Huasco y en la Figura 5 las rosas de vientos de las estaciones de calidad del aire seleccionadas que muestran las direcciones de los vientos predominantes, la proporción de las diferentes velocidades del viento en los diferentes sectores de viento. La lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos medidos en la red de monitoreo de la calidad del aire del Huasco se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2 La lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, contaminantes y parámetros meteorológicos que fueron medidos en la red de monitoreo de la calidad del aire de Huasco.

	SO ₂	NO- NO ₂ - NO _x	O ₃	CO	PM _{2.5}	PM ₁₀
EME-F	X	X	X	X	X	X
EME-M	X	X			X	X
21 de Mayo					X	X
Huasco Sívica					X	X
Las Losas						X
Huasco II	X	X	X			X
SM-1	X					
SM-2	X					
SM-3	X					
SM-4	X					
SM-5	X					
SM-6	X					
SM-7	X					
SM-8	X					
MPS-1 a MPS-6*						X



Figura 4. Ubicación de las estaciones de control de la calidad del aire en la zona de Huasco

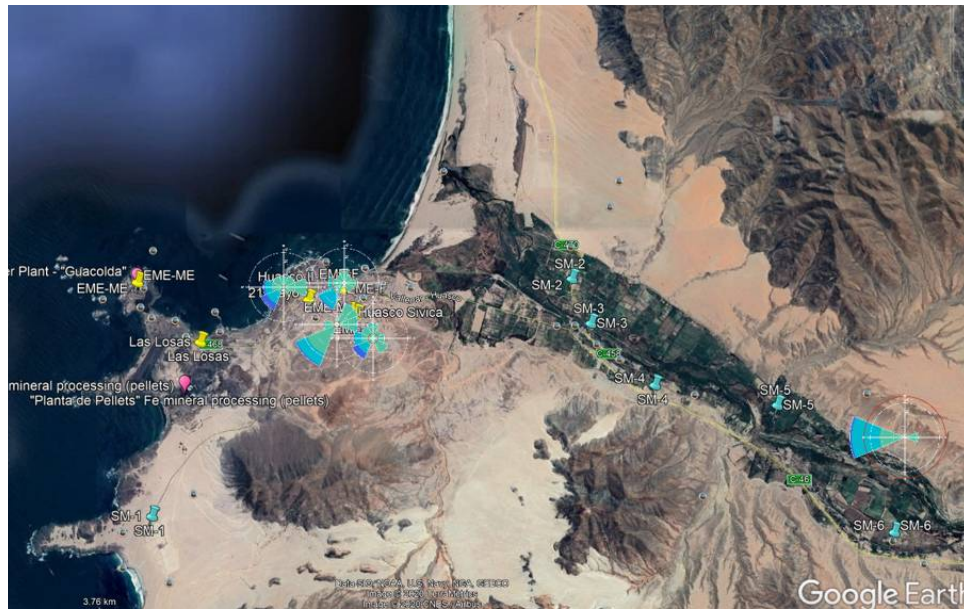


Figura 5. Rosas de viento de las estaciones de monitoreo de calidad del aire seleccionadas que representan los porcentajes de distribución de la dirección del viento entre los diferentes sectores. Los sectores de viento predominantes son el suroeste y el oeste.

La cantidad de estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Huasco es muy alta considerando la población (10 000 habitantes) de la zona y la geografía de la ciudad de Huasco ubicada en el valle del río Huasco, junto al Océano Pacífico Sur donde el océano se encuentra con el desierto de Atacama. La zona está rodeada de terreno elevado, zona montañosa.

Debido a la industria de los pellets y a la gran central eléctrica de cola, el foco principal del monitoreo de la calidad del aire está en el dióxido de azufre (SO_2) que se monitorea en once (11) estaciones y el material particulado inhalable (MP_{10}), que se monitorea en siete (7) estaciones. Las partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$) se controlan en cuatro (4) estaciones. Los análisis químicos de los elementos presentes en las partículas, como el vanadio (V), el níquel (Ni) y el cromo (Cr), se controlan como promedios mensuales a partir de muestras de filtros de MP. Los óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 , NO_x) y el ozono (O_3) se controlan en dos (2) estaciones y el monóxido de carbono (CO) en tres (3) estaciones.

Las estaciones de monitoreo de la calidad del aire se pueden dividir en dos grupos diferentes; las cinco estaciones de monitoreo; **EME-F, EME-M, 21 de Mayo, Huasco II y Huasco Sivica** ubicadas en la ciudad de Huasco se pueden clasificar como estación de **background urbano**. Están situadas en medio de zonas típicas de viviendas y se ven afectadas sobre todo por las fuentes de emisión locales, como la calefacción/quema doméstica y el tráfico rodado, de barcos y de trenes, y por las emisiones industriales originadas principalmente por la central eléctrica de carbón y la fábrica de pellets de hierro cercanas.

El resto de las estaciones de control de la calidad del aire; **Las Losas** y las **SM-1 - SM-8** están situadas en entornos más remotos y pueden clasificarse como **estaciones industriales**. Las estaciones SM-1 - SM-8 están situadas a lo

largo del valle del río Huasco para atender las necesidades de los ciudadanos que practican actividades agrícolas o ganaderas.

Como todas las estaciones de calidad del aire representan el entorno urbano/suburbano/industrial de la ciudad de Huasco o del valle del río Huasco, **no hay información de las concentraciones background**, lo que hace difícil estimar el **impacto de las fuentes naturales** como las tormentas de arena y polvo del desierto en la calidad del aire. La idea de la estación rural de background es medir la calidad del aire en la estación de background limpio que no está impactada por ninguna fuente de emisión, pero representaría la calidad del aire en el background limpio. Las concentraciones de ozono tienden a ser mucho más altas en la estación de background rural en comparación con las estaciones industriales o urbanas.

También es importante evaluar la representatividad de cada una de las estaciones de calidad del aire actuales en la zona. ¿Si las estaciones están representando realmente aquello para lo que fueron diseñadas originalmente? Si las estaciones están situadas cerca unas de otras en entornos similares, es bueno considerar cuál es el valor adicional y la información de los datos de calidad del aire que proporciona cada estación. Es muy poco probable que se necesiten las 14 estaciones de calidad del aire para tener un buen conocimiento de la calidad del aire en Huasco. En el mejor de los casos, entre **3 y 5 estaciones serían suficientes para evaluar el impacto de las principales fuentes** de emisión en la calidad del aire de Huasco.

La zona tiene una topografía específica que influye en las condiciones meteorológicas locales, como la dirección y la velocidad del viento, ya que limita con el Océano Pacífico Sur por el oeste y con la Cordillera de los Andes por el este. Las condiciones locales se ven fuertemente afectadas por las interacciones tierra-mar y el entorno montañoso con altos cambios de altura del terreno.

2.3.2 Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del informe N° 1 (Anexo 1)

Los siguientes hallazgos y conclusiones se realizaron en base al análisis de datos de las redes de monitoreo de la calidad del aire en las Comunas del Huasco datos de monitoreo de la calidad del aire (2017-2019):

- La actual red de monitoreo de calidad del aire de 14 estaciones AQ que miden SO_2 , $\text{MP}_{2,5}$, MP_{10} , NO_x , O_3 , CO , es claramente demasiado grande para su propósito que es monitorear el impacto de las emisiones de la producción industrial y energética local a la calidad del aire en Huasco. Se recomienda encarecidamente **optimizar la red reduciendo el número de mediciones que no son prioritarias y desarrollar la calidad de las mediciones** para que los datos recibidos de la red de vigilancia sean lo suficientemente fiables como para ser utilizados para la toma de decisiones.

- El **dióxido de azufre** (SO_2) se mide en las 11 estaciones y las concentraciones anuales están en un nivel bajo (2-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sin embargo, existen graves **problemas de calidad en los datos de monitoreo** del SO_2 , lo que dificulta el análisis fiable de las tendencias de las concentraciones de SO_2 en la zona.

- Las concentraciones de SO_2 en todas las estaciones parecen tener problemas de calidad de los datos. Los niveles cero no están fijados y presentan una fuerte deriva, valores de concentración poco realistas y cambios bruscos de los niveles de concentración que pueden observarse en los datos de concentración horaria. La consecuencia de la mala calidad de los datos es que las tendencias de las concentraciones de SO_2 no pueden evaluarse de

forma fiable a pesar de que hay 11 estaciones de calidad del aire que miden el SO₂ en la zona. Si, por ejemplo, la industria realizara inversiones para reducir las emisiones de SO₂, no sería posible verlo a partir de los datos actuales de control de la calidad del aire. Un **número suficiente de puntos de control de SO₂ sería de 3 a 5 estaciones**.

- El **monóxido de carbono (CO), el ozono (O₃) y los óxidos de nitrógeno (NO_x) no son los contaminantes prioritarios** a medir, ya que sus niveles de concentración en todas las estaciones de control actuales eran bajos. Basándose en la baja concentración medida durante los últimos 3 años, no sería necesario medir continuamente el CO en la zona. **Una sola estación de medición de O₃ y NO_x/NO/NO₂ sería suficiente**. Sin embargo, las mediciones de ozono deberían situarse más lejos de las fuentes de emisión directas (industria, producción de energía y tráfico).

- Los datos de las mediciones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x, NO₂ y NO) y ozono (O₃) también parecían tener claros problemas de calidad de los datos, posiblemente debido al límite de detección y al deslizamiento del analizador de CO.

- Sería beneficioso **mejorar los procesos de validación de los datos** de control de la calidad del aire. Si el nivel cero del analizador se desplaza (por ejemplo, en el caso de los analizadores de CO y NO_x/NO/NO₂), aumenta la incertidumbre de los resultados del control. La validación de los datos basada en las calibraciones periódicas podría ser una solución para controlar la desviación del nivel cero y para controlar la calidad de los resultados del seguimiento.

- Las **concentraciones de MP_{2,5} en la zona son moderadas**, alrededor de 10-14 µg/m³. Los niveles de concentración entre las diferentes estaciones de calidad del aire son similares. Esto sugiere que se trata principalmente de una **concentración de fondo regional** y que no hay muchas fuentes de emisión locales que afecten a las concentraciones de MP_{2,5}. Por lo tanto, el número actual de estaciones de control de MP_{2,5} es ligeramente elevado, **2-3 estaciones serían suficientes**.

- Las MP₁₀ se controlan con un analizador continuo en un punto de control (21 de Mayo) y con promedios diarios gravimétricos cada tres días en 4 puntos de control (EME-F, EME-M, Huasco-II, Las Losas). Los **niveles de concentración de MP₁₀ son moderados**.

- **Se recomienda medir MP₁₀ de forma continua en dos estaciones**, una en la zona **suburbana** y otra cerca de las actividades **industriales** para tener un mejor conocimiento de las diferentes fuentes que impactan las concentraciones de MP₁₀. Los promedios diarios analizados gravimétricamente pueden utilizarse para validar las mediciones continuas de partículas, pero es difícil hacer un análisis detallado basado en muestras diarias.

- El entorno del desierto de Atacama y las condiciones meteorológicas locales (condiciones secas y ventosas) son favorables para la formación de polvo. Por lo tanto, **se recomienda analizar el impacto de las fuentes naturales**, como las tormentas de arena y polvo (SDS) de la zona del desierto, en comparación con las fuentes de emisión locales y regionales; el tráfico en los caminos sin pavimentar dentro y alrededor de la ciudad de Huasco y sus alrededores.

- Actualmente, el muestreo de filtros de material particulado (MP₁₀), y el **análisis químico de los elementos en el MP₁₀** se realiza para el Vanadio (V), el Níquel (Ni) y el Cromo (Cr), los cuales son **monitoreados como promedios mensuales** de las muestras de filtros de MP.

- La mayor parte de las muestras mensuales tienen como resultado que la concentración es inferior al LOD (límite de detección). Por lo tanto, si los resultados del análisis están por debajo del LOD, no hay valores de concentración reales que ayuden a estudiar las tendencias de las concentraciones.

2.3.3 Observaciones de las visitas a las estaciones 19.11.2021

Los expertos en calidad del aire del Instituto Meteorológico Finlandés (FMI) Katja Lovén y Mika Vestenius visitaron tres (3) estaciones de calidad del aire (la estación EME-M operada por Bureau Veritas, y las estaciones Huasco Sílica operadas por Algoritmos y finalmente Huasco II) el 19.11.2019. A continuación algunas observaciones y comentarios de las visitas a las estaciones.

Observaciones generales:

Métodos y procedimientos comunes de Bureau Veritas:

- MP_{2,5}: FH62

Comprobación una vez por semana, flujo, comprobación de sensores.

Calibración span + cero 2 veces al año.

Tubo de zond de 3 m, limpieza de cortador 1 vez al mes.

Movimiento de los puntos de la cinta una vez al día.

Mantenimiento de la bomba cuando sea necesario.

Certificación del caudalímetro una vez al año.

- Muestreador TISCH Hi-vol

Comprobación del caudal dos veces al año

- Analizador de CO Horiba APSA 370

Cambio de filtro una vez al mes

Comprobación semanal de cero+span, manualmente

Calibración multipunto 2 veces al año

Criterio de ajuste de la calibración 10% kuva

- API SO₂

Comprobaciones semanales de cero+span, manualmente

Calibración multipunto dos veces al año

Cambio del filtro de partículas una vez al mes

Limpieza del colector de acero 2 veces al año

Los tubos de teflón se cambian cuando es necesario, no está programado.

Mantenimiento + calibración en la estación.

Certificados de gas ok

El dilutor se envía a comprobar al fabricante anualmente. Comprobación ok.

Programa Airviro, en la estación hay datalogger.

El control de los datos lo hacen otros, no los técnicos que llevan las estaciones.

Procedimientos comunes, Algoritmos

El técnico visita la estación una vez a la semana

Calibración de gas cero+ span, sensores, mantenimiento regular

Cambio de filtros de gas una vez al mes

Calibraciones de gas multipunto dos veces al año

Cada estación tiene su propio libro de registro y hay instrucciones y formularios para cada procedimiento, como los procedimientos de calibración y mantenimiento

Manuales (instrumento + manuales de mantenimiento) en la estación

Libro de registro en la estación

Colector de gas de aproximadamente 4 m de longitud, líneas de teflón a los instrumentos. Las líneas de teflón se sustituyen cuando es necesario.

Cada persona tiene sus propios kits de gas de calibración.

Se recomienda cambiar los kits de calibración de vez en cuando, para la intercomparación.

Instrumentos:

- $MP_{10,2,5}$: BAM 1020

Muestreo de 45 minutos, calcinación de 15 minutos con la bomba apagada.

Calibración de flujo una vez cada 3 meses, límite +- 2%.

Calibración de la película una vez cada tres meses, límite 4%, y procedimiento de autocalibración

Datalogger

Calibración del caudalímetro una vez al año

Manual + sop en la estación

Mantenimiento mensual del cabezal PM

Descripción de las estaciones visitadas:

1. **EME-M** - estación se puede clasificar como **fondo urbano y estación de la industria** que se encuentra en el medio de la zona suburbana de Huasco en el patio de la escuela. Operador actual Bureau Veritas.





2. **Huasco Sívica** - estación puede ser clasificada como **fondo urbano y estación industrial**, se ubica muy cerca (200-300 metros de la estación EME-M). Operador actual Algoritmos.





3. La estación **Huasco II** se puede clasificar como **fondo urbano y estación industrial**, se encuentra al oeste de la ciudad de Huasco, a unos 2 kilómetros de distancia de la central eléctrica de carbón de Guacolda. También está cerca (200 metros) del borde del agua (océano).





2.3.4 Propuesta conceptual de la red de monitoreo de la calidad del aire

Se recomienda encarecidamente la **optimización de la red de monitoreo** de la calidad del aire en la comuna de Huasco. Actualmente, existen 14 estaciones de monitoreo continuo de la calidad del aire operadas por diferentes operadores y pagadas por las diferentes industrias que operan en la zona.

La ubicación de cada estación de monitoreo se ha hecho en cooperación con las autoridades locales y la industria. Como resultado de este enfoque, actualmente existe una densa red de vigilancia de la calidad del aire que puede considerarse sobredimensionada con el fin de proporcionar información detallada sobre la calidad del aire en la zona. Además, sobre la base del análisis de datos realizado para los resultados de la monitorización (datos de 2017-2019) de la red, parece que la optimización de la red de monitorización sería beneficiosa.

Se recomiendan los siguientes cambios para optimizar y desarrollar la red de monitorización actual:

1. **Centrarse en la calidad del seguimiento en lugar de la cantidad.** Es importante establecer criterios y objetivos de calidad claros para el seguimiento de la calidad del aire a fin de mantener la alta calidad del seguimiento y de los datos. Es importante comprender la incertidumbre de los resultados del seguimiento, las principales causas de las incertidumbres y cómo gestionar/minimizar la incertidumbre del seguimiento. Es mejor tener menos estaciones de monitoreo y centrarse en la calidad de los resultados del monitoreo para que los datos sean lo suficientemente fiables como para ser utilizados en la toma de decisiones y para informar a los ciudadanos.
2. **Mejorar el proceso de validación de los datos.** Preparar instrucciones (procedimiento operativo estándar) para la validación de datos (deslizamiento del nivel cero, qué hacer con los valores erróneos y sospechosos). La validación de los datos debe realizarse con expertos que conozcan los datos y los niveles de

concentración y las variaciones de la zona. Se necesitan calibraciones de múltiples puntos para corregir los datos en base a ellos.

3. **Priorizar y optimizar las actividades de seguimiento**, centrarse en las mediciones prioritarias (niveles de concentración de contaminantes en comparación con los valores límite y los umbrales basados en la salud) y **reducir la cantidad de mediciones no prioritarias**, ya que de esta manera se pueden optimizar los recursos para el seguimiento

4. **El número de estaciones actuales y algunas de las mediciones actuales pueden reducirse**. La decisión final de reducir el número de estaciones y de qué estaciones cerrar/micrositing de las estaciones corresponde a los expertos locales/autoridades/propietarios de la red de medición. Sobre la base de los niveles de concentración medidos en la zona en los últimos años, la cobertura de la red de vigilancia de la calidad del aire y las densidades de población de la zona, se formulan las siguientes recomendaciones

- Aproximadamente 3-5 estaciones fijas de calidad del aire (como Huasco II, EME-M, EME-F, y una de las estaciones SM-n en el valle del río Huasco) serían suficientes en la zona, la estación de background regional también sería bueno tener para entender los niveles de concentración de background regional.
- No hay necesidad de medir el CO en el Huasco debido a las bajas concentraciones. Además, la calidad de los datos de monitoreo de CO es pobre, por lo que los datos no son fiables y realistas para ser utilizados en cualquier evaluación o base de la toma de decisiones.
- Es suficiente monitorear el O₃ y NO_x/NO/NO₂ en una o dos estaciones. Por ejemplo en Huasco II y EME-F.
- Se pueden medir los niveles de concentración de MP_{2,5} y SO₂ en dos o tres estaciones, es decir, que estén en el mismo nivel en todas las estaciones existentes, es decir, en Huasco II y EME-F y en una de las estaciones SM-n del Valle del Río Huasco.
- Realizar campañas de medición de un año en 1-2 estaciones para muestras de filtro diarias (24 horas) recogidas cada tercer día, de material particulado (MP₁₀) y analizar metales (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe, Zn y V). Es importante que el LOD del análisis sea lo suficientemente bajo como para obtener valores de concentración reales, y no sólo el resultado por debajo del LOD. Los valores de concentración, aunque sean bajos, son necesarios para analizar la variación puntual de las concentraciones y posteriormente las tendencias de las concentraciones en periodos de tiempo más largos.
- Es bueno evaluar la representatividad de cada una de las estaciones de calidad del aire para apoyar las revisiones de la red de calidad del aire.

5. **Complementar la actual red de vigilancia de la calidad del aire con nuevos tipos de estaciones y de vigilancia**

- Seguir el desarrollo de la tecnología de sensores probando activamente cómo se aplican los sensores como mediciones complementarias de bajo coste además de las estaciones de monitoreo de referencia de alta calidad.

6. Apoyar las **evaluaciones de la calidad del aire mediante otras herramientas** de control de la calidad del aire

- Considerar la posibilidad de llevar a cabo un estudio de reparto de fuentes (modelización PMF) para evaluar las fuentes de partículas en la zona (proporción de suelo, emisiones industriales, quema de madera, sal marina, etc.)
- Sería importante contar también con la red de monitoreo de la calidad del aire de background rural en Chile, que ofrecería información sobre la calidad del aire en las zonas más limpias de Chile.

2.4 Recomendaciones Técnicas y propuesta conceptual de la Red de estaciones de monitoreo del área de Coronel

Coronel es una ciudad situada en la costa del Océano Pacífico Sur, en el centro de Chile, cerca de la zona en la que el río Biobío (que es el segundo río más largo de Chile con una longitud de 380 kilómetros) desemboca en el mar, a unos 450 kilómetros al sur de Santiago. La población de la ciudad es de unos 110.000 habitantes. La zona que rodea a Coronel está llena de bosques y es montañosa, con diferencias de altura de hasta 400-500 metros entre la zona de la costa y el río Biobío, que discurre entre 10 y 20 kilómetros al este de la zona costera y cae al mar a unos 5 kilómetros al norte de la estación de Mapal.

2.4.1 Red de Monitoreo Actual y Clasificación de las Estaciones

La red de monitoreo de calidad del aire de la Comuna de Coronel consta de 13 estaciones de calidad del aire operativas y 1 estación de observación meteorológica adicional Meteorología-Bocamina; 11 estaciones a lo largo y en las cercanías de la zona costera dentro de los 26 kilómetros de distancia entre la estación más al norte (Mapal) y la estación más al sur (Lota Rural). Dos de las estaciones de calidad del aire se ubican un poco más lejos de la línea de costa; Punteras, aproximadamente a 10 kilómetros de la línea de costa hacia el este, junto a la ribera del río Biobío y Hualqui ubicada aproximadamente a 20 kilómetros de la zona costera hacia el este también cerca del río Biobío. En la Figura 6 se presenta la ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Coronel.

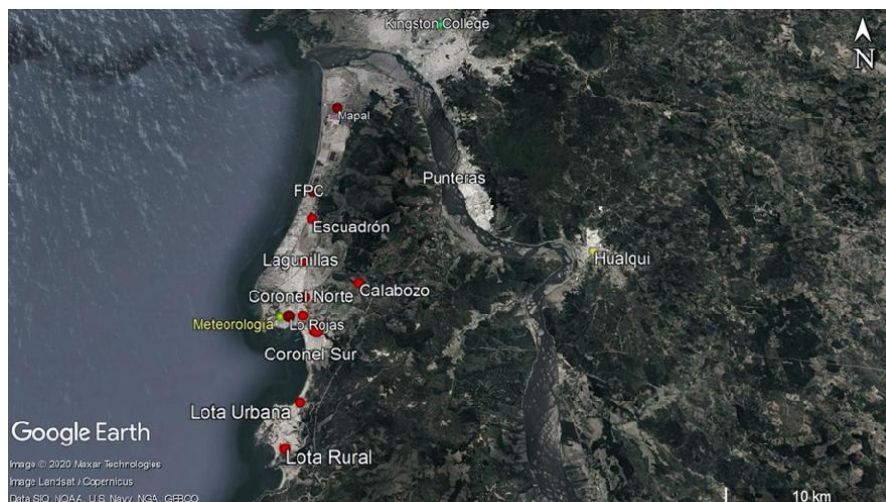


Figura 6. La ubicación de las estaciones presentadas en el mapa.

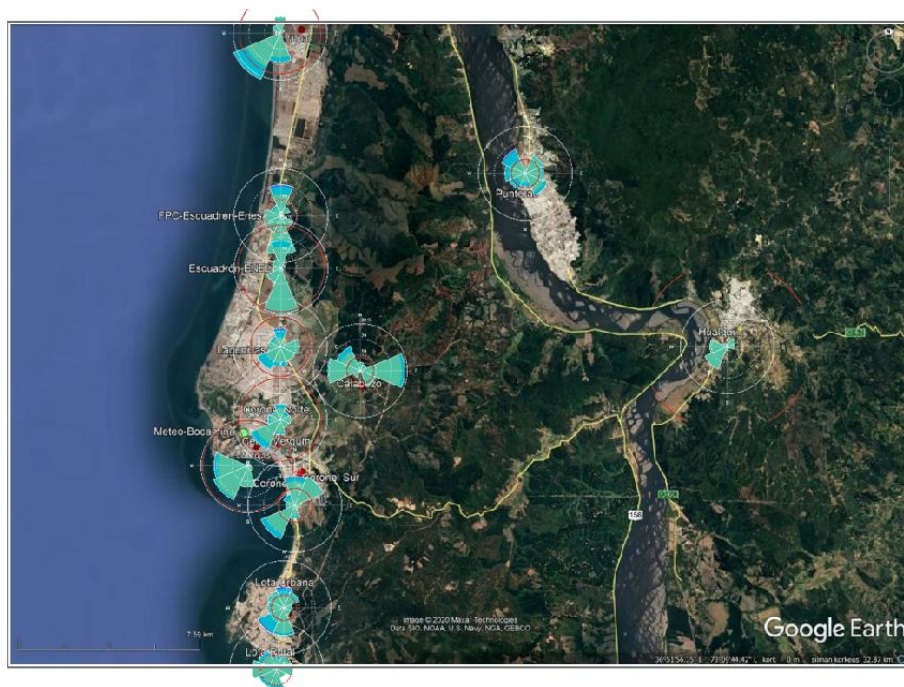


Figura 7. Rosas de viento de las estaciones seleccionadas que representan los porcentajes de distribución de la dirección del viento entre los diferentes sectores. Los sectores de viento predominantes son Sur-Oeste, Sur-T y Oeste.

La cantidad de estaciones de control en la zona es considerablemente alta en comparación con la cantidad de población de la zona, que es de aproximadamente 110 000 habitantes.

2.4.2 Principales recomendaciones basadas en el análisis de datos del Informe N° 1 (Anexo 1)

Los siguientes hallazgos y conclusiones se basaron en el análisis de los datos de monitoreo de la calidad del aire de Coronel (2017-2019):

-La actual red de monitoreo de calidad del aire de 13 estaciones que miden SO_2 , $MP_{2,5}$, MP_{10} , NO_x , O_3 , CO , e Hidrocarburos no Metánicos (NMVOC) y Metano (CH_4) es muy grande para su propósito que es monitorear el impacto de las emisiones de la producción industrial y energética local en la calidad del aire en Coronel. Se recomienda encarecidamente optimizar la red reduciendo el número de mediciones que no son prioritarias y desarrollar la calidad de las mediciones para que los datos recibidos de la red de monitoreo sean lo suficientemente confiables para ser utilizados en la toma de decisiones.

- Las concentraciones de dióxido de azufre varían entre las estaciones. Algunas de las estaciones como Coronel Norte, Coronel Sur, Lo Rojas, Lota Rural, Lota Urbana y Mapal, han tenido concentraciones de SO_2 muy altas, sin embargo, los niveles de concentración tienen tendencia a la baja en todas las estaciones excepto en Lo Rojas que tiene las mayores concentraciones de SO_2 en la zona de Coronel.

- Las 11 estaciones de calidad del aire que actualmente operan no son necesarias para tener suficiente información de los niveles de concentración de SO_2 y su variación en la zona. Por lo tanto, en la planificación a largo plazo de la red de monitoreo, menos puntos de monitoreo de SO_2 serían suficientes para la zona aunque las concentraciones sean altas. Sin embargo, en caso de que se reduzca el número de mediciones de SO_2 , habría que considerar cuidadosamente la ubicación, la representatividad y la calidad de las estaciones restantes. También habría que considerar bien los cambios previstos en las actividades industriales de la zona.
- Los datos de Calabozo parecen tener claros problemas de calidad de datos. A partir de finales del año 2017 los niveles de concentración caen bruscamente hasta un nivel muy bajo que se mantiene durante el año 2018.
- Las medias anuales de NO_2 son bastante bajas ($5\text{-}25 \mu\text{g}/\text{m}^3$), por lo que la actual red de monitoreo de NO_2 (10 estaciones de control) en la zona está sobredimensionada y podría hacerse con muchas menos estaciones de control.
- El monóxido de carbono (CO) y el ozono (O_3) se controlan en ocho (8) estaciones de monitoreo y las concentraciones son bajas. Teniendo en cuenta la baja concentración medida durante los últimos 3 años, bastaría con 1 ó 3 estaciones de medición de cada contaminante: CO , O_3 y NOx/NO/NO_2 . Las mediciones de ozono deberían situarse más lejos de las fuentes de emisión directas (industria, producción de energía y tráfico).
- Los datos de las mediciones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx , NO_2 y NO) y ozono (O_3) también parecían tener claros problemas de calidad de datos.
- Sería beneficioso mejorar los procesos de validación de los datos de control de la calidad del aire. En caso de que el nivel cero del analizador se desvíe (es decir, en el caso del analizador de CO y NOx/NO/NO_2), se produce una mayor incertidumbre en los resultados del control. La validación de los datos basada en las calibraciones periódicas podría ser una solución para controlar la desviación del nivel cero y para controlar la calidad de los resultados del seguimiento.
- Los niveles de concentración de $\text{MP}_{2,5}$ son muy altos en la zona de Coronel, la directriz diaria de la OMS de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y la directriz anual de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se superan en todas las estaciones. También la norma nacional para el valor medio diario de $\text{MP}_{2,5}$ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se supera en todas las estaciones.
- Hay diferencias considerables en los niveles de concentración de $\text{MP}_{2,5}$ entre las estaciones de calidad del aire dentro de la misma zona. Según las rosas de concentración, las mayores concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$ se producen durante las situaciones de calma. Esto indica claramente que las fuentes de emisión locales afectan a la calidad del aire y a las mediciones. Las concentraciones tienen una fuerte variación estacional, las concentraciones son claramente más altas en el período de invierno y durante los meses de verano los niveles de concentración son bajos. Esto podría deberse a las emisiones relacionadas con la calefacción en invierno y también al impacto de las condiciones meteorológicas en invierno (es posible que las condiciones de mezcla atmosférica en invierno no sean tan buenas como en verano).
- Los niveles de concentración de MP_{10} son elevados en la zona de Coronel, las directrices anuales y diarias de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se superan en todas las estaciones.
- Las MP_{10} y las $\text{MP}_{2,5}$ están fuertemente correlacionadas. Parece que la concentración de $\text{MP}_{2,5}$ es aproximadamente el 80% de las concentraciones de MP_{10} . Por lo tanto, las MP_{10} están fuertemente influenciadas por las $\text{MP}_{2,5}$. Así pues, la mayor parte de las partículas están formadas por partículas finas.

- El NH₄ (metano) no se considera un contaminante del aire ambiental en la Unión Europea y no tiene valor límite. Por lo tanto, no se evalúa con más detalle en este informe. El CH₄ es un gas de efecto invernadero y puede haber otras razones, además de la calidad del aire, para controlarlo (por ejemplo, riesgo de fugas de gas, etc.).

- Los niveles de concentración de NMHC están cerca del límite de detección del analizador. Parece que hay problemas en el cambio del nivel cero. Así, los datos de medición de HC (hidrocarburos) y HCT (hidrocarburos totales) no parecen realistas.

2.4.3 Observaciones de las visitas a las estaciones 22.11.2021

Los expertos en calidad del aire del Instituto Meteorológico Finlandés (FMI), Katja Lovén y Mika Vestenius, visitaron cuatro (4) estaciones de calidad del aire: la estación de Coronel Norte, la estación de Calabozo Sur, la estación de Coronel Sur y la estación de Cerromerquín, todas ellas operadas por Algoritmos, el 22.11.2021. A continuación se presentan algunas observaciones y comentarios de las visitas a las estaciones.

Observaciones generales:

Como observaciones generales de las visitas a las estaciones, las estaciones de monitoreo de calidad del aire que se visitaron estaban todas en buen estado. Las estaciones disponían de manuales de instrumentos y de mantenimiento, así como de libros de registro. Los expertos técnicos que operan las estaciones tienen sus propios kits de gas de calibración. Esto es bueno y también reduce los errores sistemáticos debidos a posibles gases de calibración defectuosos, etc., ya que hay más de un kit de calibración en uso. Sería bueno cambiar los kits de calibración entre estaciones, para la intercomparación. Cada estación tiene un colector de gas de aproximadamente cuatro metros de largo y las líneas de muestreo de teflón conducen a los instrumentos desde el colector. Las líneas de teflón se sustituyen cuando es necesario. Para evitar la contaminación de las líneas y la posible absorción en las superficies, estas líneas deben cambiarse regularmente, por ejemplo, una vez al año.

Los datos finales no siempre son buenos. Hay problemas de desviación, por ejemplo, en los monitores de CO. Éstos se corrigen mediante el mantenimiento y las calibraciones periódicas de los instrumentos, pero parece que los propios datos no se validan de manera consecuente. Por lo tanto, en muchos casos, la calidad actual de los datos es bastante baja, no en un nivel aceptable para ser utilizado en la toma de decisiones.

Los datos deberían validarse mediante calibraciones realizadas en las estaciones. Utilizando los datos de las calibraciones, se podrían solucionar problemas como la desviación de los datos y se podría mejorar enormemente la calidad de los mismos. En este sentido, se aconseja capacitación para la validación de los datos.

Descripción de las estaciones visitadas:

1. Estación **Coronel Norte** - la estación se puede clasificar como **fondo urbano** (MP₁₀ y MP_{2.5}, O₃) y **estación industrial** (para NO_x, SO₂ y CO) que se ubica en medio del área suburbana de Coronel. La estación se encuentra a unos 20 metros de la casa más cercana. Existe la preocupación de que la quema de leña local (emisiones relacionadas con la calefacción residencial) en las casas privadas cercanas a la estación están influyendo fuertemente en las concentraciones de MP_{2.5} medidas en esta estación, particularmente en invierno. El operador actual es Algoritmos.



2. **Estación Calabozo Sur** - es la **estación de fondo regional** que se encuentra más alejada del centro de la ciudad de Coronel y de las zonas suburbanas densamente construidas en un entorno más rural. Hay casas particulares cerca de la estación. Esta estación está relativamente alejada de las fuentes industriales o urbanas. Actualmente sólo mide el SO₂ del operador actual Algoritmos.



3. **Estación Coronel sur** - La estación puede clasificarse como estación de **fondo urbano** para MP₁₀, NO_x, CO, O₃ y estación industrial para SO₂ y HCs. La estación se encuentra entre los patios de las casas privadas en una zona residencial suburbana.



4. **Cerro merquin** - La estación se puede clasificar como **fondo urbano**, se ubica en el patio de la escuela, en la cima de la colina. Hay muchas casas unifamiliares en la zona. En la estación sólo se mide el material particulado ($MP_{2,5}$ y MP_{10}).



2.4.4 Propuesta conceptual de la red de monitoreo de la calidad del aire

La población de la ciudad de Coronel es de unos 100.000 habitantes. La ciudad de Coronel está ubicada en una zona que va desde la desembocadura del río Biobío hasta la bahía del Golfo de Arauco en el Océano Pacífico, una zona llena de bosques y altas montañas, típica de la región. Coronel está rodeada por otras comunas de la Provincia de Concepción: San Pedro de la Paz al norte, Hualqui al norte y al este, y Lota y Santa Juana al sur. La ciudad de Concepción se encuentra a unos 20 kilómetros al norte.

Actualmente, 13 estaciones de monitoreo de la calidad del aire son más que suficientes considerando la población y las concentraciones de contaminación medidas en la zona de Coronel. Los contaminantes prioritarios son las partículas ($MP_{2,5}$ y MP_{10}) ya que las concentraciones de MP son muy elevadas (superando la Norma Nacional para el valor medio diario de $MP_{2,5}$ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en todas las estaciones. Las partículas son también el

contaminante más perjudicial para la salud. Las MP_{10} y las $MP_{2,5}$ están fuertemente correlacionadas. La concentración de $MP_{2,5}$ es aproximadamente el 80% de las concentraciones de MP_{10} . Los niveles de concentración también difieren mucho entre las estaciones, lo que indica que las fuentes de emisión locales afectan a los resultados del control. Las concentraciones de partículas también tienen una fuerte variación estacional; las concentraciones son claramente más altas en el período de invierno y durante los meses de verano los niveles de concentración son bajos. Además, las concentraciones son más altas en situaciones de calma o de baja velocidad del viento, lo que también indica claramente que las fuentes de emisión locales tienen un fuerte impacto en las concentraciones de partículas. Esto indica que las fuentes de $MP_{2,5}$ están relacionadas con la calefacción residencial, posiblemente la quema de madera.

Se han medido concentraciones de SO_2 bastante elevadas en algunas de las estaciones, pero se necesitan menos estaciones para monitorear el SO_2 . Las concentraciones de NO_2 son bajas, se necesitan menos estaciones para controlar el NO_2 . El NO_2 está estrechamente relacionado con las emisiones del tráfico. Además, el número de estaciones de monitoreo de CO y O_3 podría reducirse, 1-3 estaciones serían suficientes.

Todas las estaciones actuales de monitoreo de la calidad del aire pueden clasificarse como "**estaciones de fondo urbano**". La red de vigilancia se ha establecido para monitorear principalmente el impacto de la industria y la producción de energía en la zona sobre la calidad del aire. Sin embargo, en base al análisis de los datos de monitoreo de la calidad del aire, las actividades residenciales; la calefacción y la cocción mediante la quema de leña parecen ser la fuente prioritaria que impacta fuertemente en la calidad del aire, particularmente en las concentraciones de partículas finas en la ciudad de Coronel y sus áreas suburbanas. Por lo tanto, esto debe ser considerado cuando se optimice y desarrolle la red de calidad del aire en el futuro. Asimismo, la industria, la producción de energía, el tráfico rodado y naval son también fuentes de emisión, además de las actividades de combustión residencial.

Se recomienda tener una estación como "**estación de tráfico**" que se situaría cerca de los bordes de las carreteras con mucho tráfico, punto caliente del entorno del tráfico, y que mediría NO_x , NO, NO_2 , CO, $MP_{2,5}$ y MP_{10} . Las concentraciones de óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono son bajas, por lo que bastaría con controlarlas en una o tres estaciones. En caso de que sólo haya una estación que controle los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono, la ubicación prioritaria sería cerca del entorno de tráfico intenso/carretera, porque es el entorno típico en el que los óxidos de nitrógeno y los monóxidos de carbono son más elevados. El monóxido de carbono también puede medirse en la zona suburbana, que está fuertemente afectada por la quema de madera residencial, ya que el CO es un buen marcador también de la quema residencial. En el caso de que se controlen en dos estaciones, podría haber una estación de tráfico y otra de fondo urbano. Las mediciones de ozono no deberían realizarse en la estación de tráfico, ya que el ozono se consume en el proceso de oxidación química del monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno. Por lo tanto, el ozono debe medirse en las estaciones de fondo urbano y regional.

Es importante llevar a cabo un control de las partículas en la zona también en el futuro, ya que las concentraciones de partículas ($MP_{2,5}$ y MP_{10}) son muy elevadas. Además de la vigilancia continua de las partículas (MP_{10} y $MP_{2,5}$), sería recomendable realizar campañas de muestreo de filtros de MP que abarquen, por ejemplo, un año en dos estaciones de calidad del aire diferentes (una estación industrial y otra suburbana) para conocer con más detalle la composición química y la toxicidad de las partículas, lo que también contribuiría a la distribución de las fuentes y a la identificación del impacto de las distintas fuentes de emisión en las concentraciones de partículas. Por ejemplo, los hidrocarburos poliaromáticos (HAP), especialmente el bento(a)pireno, y los oligoelementos (Al, As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Mn, Ni, Fe, Zn y V) podrían analizarse en las

muestras de los filtros. Además, el levoglucosano es un oligoelemento muy bueno para trazar la quema de madera.

Las concentraciones de dióxido de azufre (SO_2) han sido elevadas especialmente en algunas de las estaciones, por lo que es importante seguir midiendo el SO_2 en la zona. Sin embargo, 11 estaciones para las mediciones de SO_2 son más que suficientes y se recomienda su optimización por razones de rentabilidad. No es probable que todas las mediciones actuales de SO_2 sean necesarias y aporten un valor adicional para las evaluaciones de la calidad del aire. El SO_2 parece tener una tendencia a la baja en los últimos tres años, por lo que la cantidad de mediciones de SO_2 puede reducirse, por ejemplo, a 4 ó 5 estaciones si no se prevén cambios importantes en las emisiones de dióxido de azufre.

Se recomiendan los siguientes cambios para optimizar y desarrollar la red de control actual:

1. Optimizar la red de vigilancia de la calidad del aire.

o La cantidad actual (13) de estaciones de monitoreo de la calidad del aire en la ciudad de Coronel es más que suficiente, por lo que se recomienda fuertemente su optimización.

o El contaminante prioritario a monitorear son las partículas finas ($\text{MP}_{2,5}$) que se recomienda monitorear en varias, 5-6 estaciones de monitoreo de la calidad del aire también en el futuro después de la optimización de la red de monitoreo.

o Las actividades residenciales parecen ser la principal fuente de medición de las concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$, por lo que sería importante encontrar estaciones de control de $\text{MP}_{2,5}$ representativas en las zonas suburbanas y centrar el control de $\text{MP}_{2,5}$ en esos lugares. Sin embargo, se recomienda controlar las $\text{MP}_{2,5}$ también en las estaciones de tráfico, las estaciones industriales y las estaciones de fondo regionales.

o Todas las estaciones actuales están clasificadas como fondo urbano/industrial y fondo regional. Por lo tanto, se recomienda establecer una estación de tráfico.

o No es necesario medir los mismos componentes de contaminación en todas las estaciones. Las estaciones podrían clasificarse en función de la fuente o fuentes principales de contaminación que causen problemas de calidad del aire en la zona de la estación.

o Se recomienda que una estación se traslade/ubique muy cerca del entorno de las carreteras con mucho tráfico para medir los óxidos de nitrógeno (NO , NO_2 y NO_x), el monóxido de carbono (CO) y las partículas (MP_{10} y $\text{MP}_{2,5}$). El monóxido de carbono (CO) también puede medirse en la estación suburbana, donde las emisiones de las calefacciones residenciales tienen un fuerte impacto en la calidad del aire.

o Se recomienda controlar el ozono en una estación urbana y otra regional de fondo. Y si hay alguna industria petrolera o química en la zona, el ozono podría controlarse también en la estación de calidad del aire industrial cercana a la industria petrolera o química.

o El dióxido de azufre se controla actualmente en 11 estaciones y las concentraciones han sido elevadas en algunas de ellas en los últimos años. Las concentraciones de SO_2 parecen tener una tendencia a la baja, pero

sigue siendo conveniente controlar el SO₂ en varias (4 o 5) estaciones en diferentes entornos. Las fuentes típicas de SO₂ son la industria, la quema de combustibles fósiles (petróleo y carbón) y el tráfico marítimo.

o Es importante evaluar la red de control de la calidad del aire de forma regular (es decir, cada 5 años) para ver si la red de control sigue cumpliendo los requisitos de las necesidades de control de la calidad del aire en la zona. ¿Cómo es la situación de la calidad del aire y la evolución de los niveles de contaminantes en el aire? ¿Han tenido las acciones de prevención de la contaminación un impacto en los niveles de concentración? ¿Acciones previstas/acordadas para mejorar la calidad del aire? ¿Siguen siendo necesarias todas las mediciones y estaciones de calidad del aire? ¿Existen nuevas necesidades de medición?

2. Mejorar el proceso de validación de datos. Preparar instrucciones (procedimiento operativo estándar) para la validación de datos (deslizamiento del nivel cero, qué hacer con los valores erróneos y sospechosos). La validación de los datos debe realizarse con expertos que estén familiarizados con los datos y los niveles de concentración y las variaciones en la zona. Se necesitan calibraciones de múltiples puntos para corregir los datos en base a ellos.

3. Apoyar las evaluaciones de la calidad del aire con otras herramientas de control de la calidad del aire

o Considerar la posibilidad de llevar a cabo un estudio de reparto de fuentes (modelización PMF) para evaluar las fuentes prioritarias de partículas en la zona.

3. BIBLIOGRAFIA

Centro Mario Molina. 2017. *Evaluación y Rediseño de las Redes de Monitoreo de Calidad del Aire.* Santiago : s.n., 2017.

World Health Organisation. 2006. *WHO Air Quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and Sulphur dioxide. Global update 2005. Summary of risk assessment.* 2006.

Ozone levels associated to the photochemical smog in Santiago of Chile. The elusive role of hydrocarbons. **Rubio, Maria, Sanchez, Karen y Lissi, E. 2010.** 2010, Journal of the Chilean Chemical Society, págs. 709-711.

NILU. 2019. *Fingerprint of Volatile Organic Compounds in the Quintero-Puchuncavi area. Results from Screening Campaign.* 2019.

European Parliament, Council of the European Union. 2008. *Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council on ambient air quality and cleaner air for Europe.* European Union : s.n., 2008.

Waldén, J. y Vestenius, M. 2018. *Verification of MP analyzers for PM10 and PM2.5 with the MP Reference Method.* s.l. : Finnish Meteorological Institute, 2018.

Waldén, J., y otros. 2017. *Demonstration of the equivalence of PM2,5 and PM10 Measurement Methods in Kuopio 2014–2015.* s.l. : Finnish Meteorological Institute, 2017.

Waldén, J., y otros. 2010. *Demonstration of the equivalence of PM2,5 and PM10 Measurement Methods in Helsinki 2007–2008.* s.l. : Finnish Meteorological Institute, 2010.

Air Quality Division, MMA. 2019. *Inventory of Atmospheric Emissions. Atmospheric Prevention and Decontamination Plan (PPDA) for the communes of Concón, Quintero and Puchuncaví.* Chile : Ministry of Environment, Chile, 2019.

World Health Organisation. 2017. *WHO Evolution of WHO air quality guidelines: past, present and future.* 2017.

Universidad y Tecnología, Fundación para la Transferencia Tecnológica. 2012. *Diagnóstico Plan de Gestión Atmosférica – Región de Valparaíso Implementación de un Modelo Atmosférico.* 2012.

Sensitivity analysis of the meteorological preprocessor MPP-FMI 3.0 using algorithmic differentiation. **Backman, J., y otros. 2017.** 2017, Geosci. Model Dev. 10, págs. 3793 - 3803.

Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications. **Van Ulden, A.P. y Holtslag, A.A.M. 1985.** 1985, J. Clim. Appl. Meteorol. 24, págs. 1196-1207.

Finnish Meteorological Institute. 2018. Meteorological research. *Finnish Meteorological Institute.* [En línea] 2018. <https://en.ilmatietaenlaitos.fi/meteorological-research>.

Decreto N.º 61 de 2008. Reglamento de estaciones de medición de contaminantes atmosféricos

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. <http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/oj> (SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃, CO, PM₁₀, PM_{2,5}, benceno, plomo en PM₁₀, COV, composición química de PM_{2,5})

Directiva 2015/1480/UE, de 28 de agosto de 2015, por la que se modifican varios anexos de las Directivas 2004/107/CE y 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo por las que se establecen las normas relativas a los métodos de referencia, la validación de datos y la ubicación de los puntos de muestreo para la evaluación de la calidad del aire ambiente <http://data.europa.eu/eli/dir/2015/1480/oj> D

Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de diciembre de 2004, relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/107/oj>

EN 14211:2012 Aire ambiente. Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno por quimioluminiscencia.

EN 14212:2012 Aire ambiente. Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de azufre por fluorescencia de ultravioleta.

EN 14625:2012 Aire ambiente. Método normalizado de medida de la concentración de ozono por fotometría ultravioleta.

EN 14626:2012 Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medición de la concentración de monóxido de carbono por espectroscopía infrarroja no dispersiva.

EN 12341:2014 Calidad del aire. Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica PM₁₀ o PM_{2,5} de la materia particulada en suspensión.

EN 16450:2017 Aire ambiente. Sistemas automáticos de medida para la medición de la concentración de materia particulada (PM₁₀; PM_{2,5}).

(EN 12341:1998 Calidad del aire. Determinación de la fracción MP 10 de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida al de referencia. ANULADA

(EN 14907:2005 Calidad del aire ambiente. Método gravimétrico de medida para la determinación de la fracción másica MP 2,5 de la materia particulada en suspensión.) ANULADA

4. Anexos

Anexo 1: Resultados de la evaluación de calidad, representatividad y tendencia estadística de la información de calidad del aire y parámetros meteorológicos entregada por cada red (Informe 1)

A continuación, se entrega una descripción del área de estudio y luego se presentan los resultados obtenidos a raíz del desarrollo de las actividades incluidas en el objetivo 1.

1. Descripción de las áreas de estudio

1.1 Huasco

Huasco es una pequeña ciudad situada en la costa del Océano Pacífico Sur en la zona central norte de Chile, aproximadamente a 550 kilómetros al norte de Santiago. La población de la ciudad es de unos 10.000 habitantes. La ciudad está rodeada por colinas de hasta 300–600 metros de altura y en medio, se encuentra el valle del río Huasco entre las elevaciones de las tierras más altas.

En Huasco, la actividad industrial comenzó en 1978 con el funcionamiento de la fábrica de pellets de la Compañía Minera del Pacífico - CMP. En la fábrica de pellets, se procesa el preconcentrado de hierro (Fe) proveniente de la Mina Los Colorados, 40 km al noreste de Huasco. El ferrocarril se utiliza para transportar el mineral. También hay una gran central termoeléctrica a carbón (760MW), Guacolda, propiedad de Guacolda Energía (una subsidiaria de AES-Gener) en Huasco (Foto 1).



Foto 1. La central termoeléctrica a carbón de Guacolda (760 MW) ubicada en Huasco.

Huasco cuenta también con tres puertos industriales: Puerto Guacolda I (Guacolda Energía), Puertos Guacolda II y Las Losas, ambos pertenecientes a CMP.

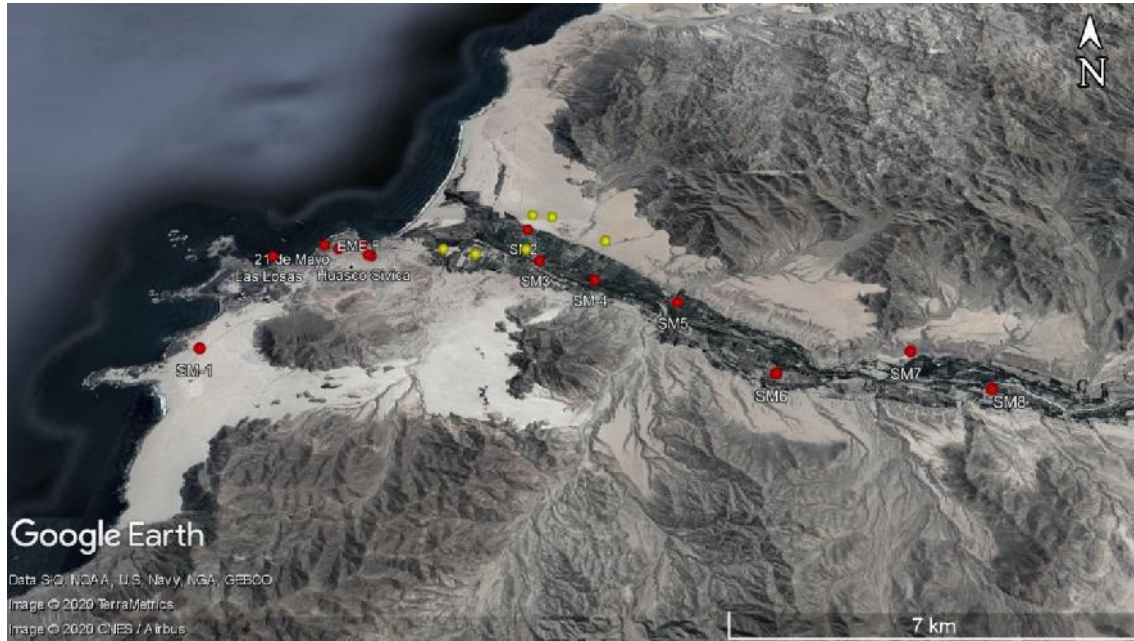
En el puerto industrial se despacha mineral desde la fábrica de pellets y se recibe carbón para el funcionamiento de los hornos industriales (Guacolda y fábrica de pellets). La actividad industrial se percibe como la principal responsable del deterioro de la calidad del aire. Entre los principales problemas, se ha señalado la emisión fugitiva de polvo en suspensión de los campos de almacenamiento y los vagones de tren, además del material particulado originado por los procesos de combustión en las chimeneas industriales.

Respecto del clima de la zona, se considera que Huasco tiene un clima desértico. En Huasco, no hay muchas precipitaciones durante el año.

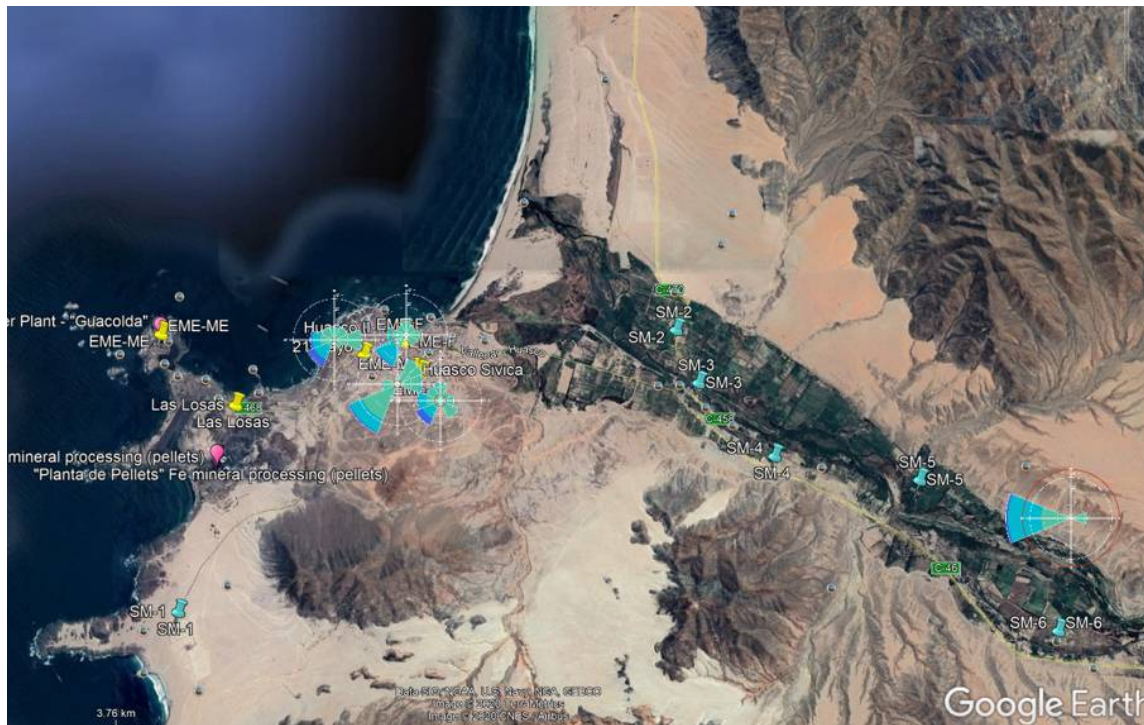
La red de monitoreo de la calidad del aire de la zona de Huasco consta de 14 estaciones operativas de calidad del aire y una estación adicional de observación meteorológica EME-ME; 6 estaciones a lo largo y cerca de la zona costera en un área de 5x5 kilómetros y 8 estaciones de monitoreo del dióxido de azufre (SO₂) a lo largo del valle del río Huasco, en un área de 10 kilómetros.

En la *Figura 1* se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la zona de Huasco con las rosas de viento de las estaciones de calidad del aire seleccionadas que muestran las direcciones de los vientos predominantes y la proporción de las diferentes velocidades del viento y las situaciones de calma en los diferentes sectores de viento.

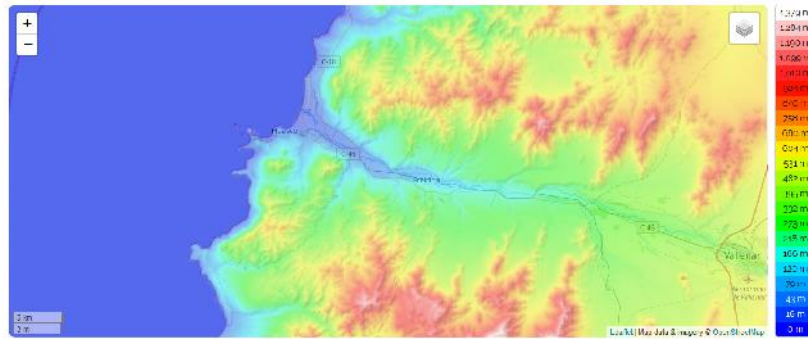
La *Figura 1* muestra además mapas topográficos de elevación del terreno. En la *Tabla 1* se muestra la lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos medidos en la red de monitoreo de la calidad del aire de Huasco.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. (a) y (b): Ubicación de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco y las rosas de viento de las estaciones de calidad del aire seleccionadas que representan los porcentajes de distribución del viento entre los diferentes sectores; los círculos rojos representan la proporción de situaciones de calma. (c): Mapa topográfico de la zona.

Tabla 1. Lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos medidos en la red de monitoreo de la calidad del aire de Huasco cuando se inició el análisis de los datos.

Nombre de la estación	Parámetros	Titular
SM-1	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-2	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-3	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-4	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-5	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-6	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-7	SO ₂	Central Guacolda – AES-Gener
SM-8	SO ₂ , WS/WD	Central Guacolda – AES-Gener
EME-F	SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , MP ₁₀ (d), MP _{2,5} (c), WS/WD	Central Guacolda – AES-Gener
EME-M	SO ₂ , CO, NO _x , MP ₁₀ (d), MP _{2,5} (c)	Central Guacolda – AES-Gener
EME-ME	WS/WD, T/RH, presión, radiación, precipitación	Central Guacolda – AES-Gener
21 de mayo	MP ₁₀ (c) y MP _{2,5} (c)	Central Guacolda – AES-Gener
Huasco Sivica	MP _{2,5} (c), WS/WD, T/HR, Rad	Ministerio del Medio Ambiente
Las Losas	MP ₁₀ (d)	Puerto Las Losas – CAP
Huasco II	MP ₁₀ (d), SO ₂ , NO, O ₃ , CO, WS/WD. T/RH	Compañía de Aceros del Pacífico
MPS-1 a MPS-6*	Material Particulado Sedimentable (MPS)*	Compañía de Aceros del Pacífico

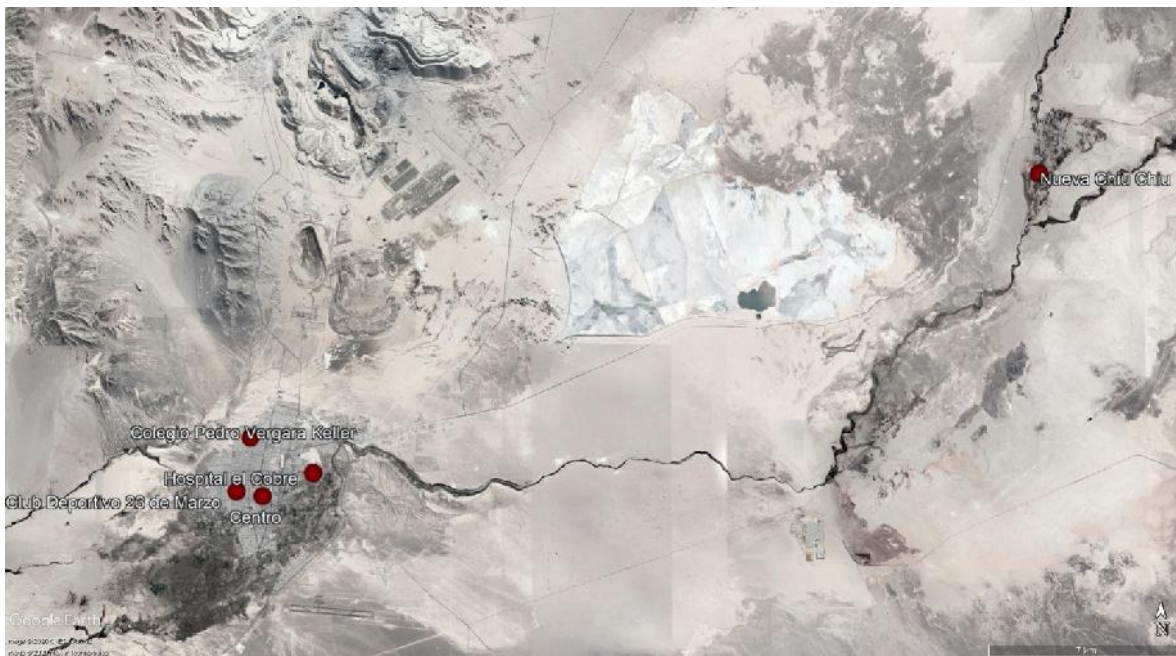
* 6 instalaciones de monitoreo de Material Particulado Sedimentable (MPS) con datos discretos, indicados en el mapa en amarillo.

1.2 Calama

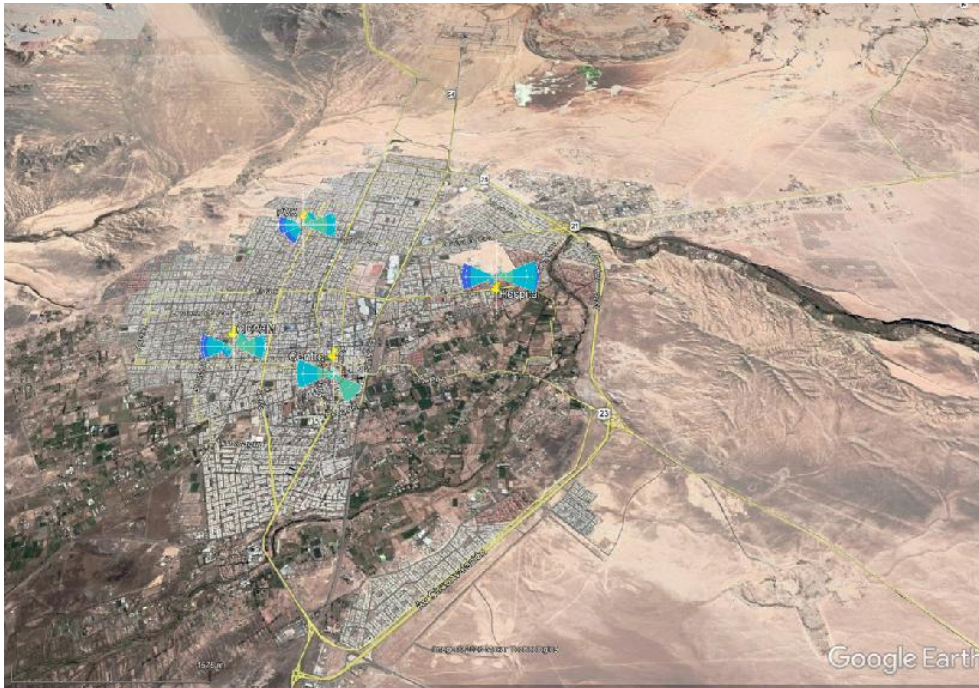
Calama es una ciudad situada en el interior del norte de Chile, aproximadamente a 1.200 kilómetros al norte de Santiago y está rodeada por el desierto de Atacama. La población de la ciudad es de unos 180.000 habitantes. Calama se encuentra a más de 2.000 m sobre el nivel del mar. Tiene un clima desértico, por lo que no se producen muchas precipitaciones durante el año. Es considerada como la capital minera de Chile debido a su cercanía a varios depósitos y a Chiquicamata, que se encuentra entre las minas de cobre a cielo abierto más grandes del mundo.

La red de monitoreo de la calidad del aire de la zona de Calama se compone de 5 estaciones de calidad del aire en funcionamiento: 4 estaciones están ubicadas en el área del centro de la ciudad de Calama, en un área de 5 x 5 kilómetros y 1 estación, Nueva Chiu Chiu, a 30 kilómetros al noreste de la ciudad de Calama.

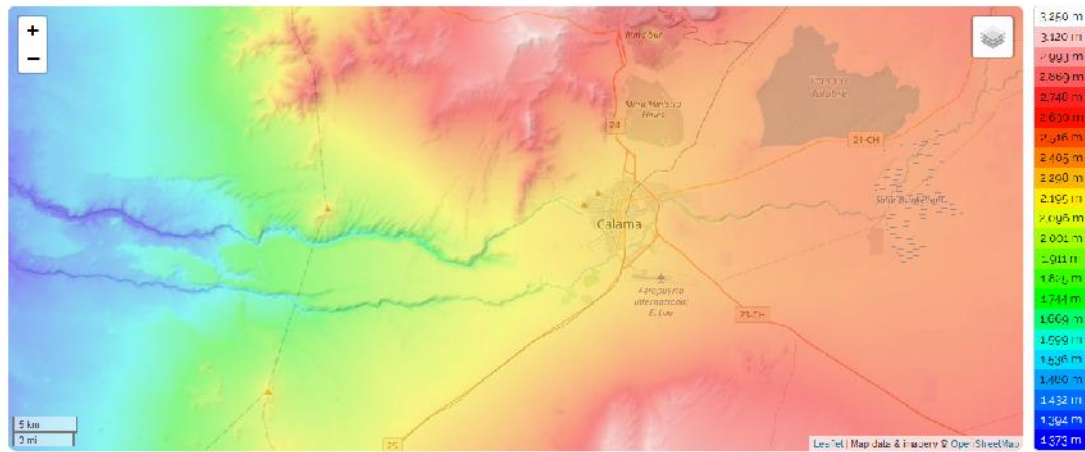
En la *Figura 2* se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la zona de Calama con las rosas de viento de las estaciones de calidad del aire seleccionadas que muestran las direcciones de los vientos predominantes y la proporción de las diferentes velocidades del viento y las situaciones de calma en los diferentes sectores de viento. La *Figura 2* también presenta un mapa topográfico de elevación del terreno. En la *Tabla 2* se muestra la lista de estaciones de monitoreo de calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos medidos en la red de monitoreo de calidad del aire de Calama.



(a)



(b)



(c)

Figura 2. (a) y (b): Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama y las rosas de viento de las estaciones de calidad del aire seleccionadas que representan los porcentajes de distribución del viento entre los diferentes sectores; los círculos rojos representan la proporción de situaciones de calma. (c): Mapa topográfico de la zona.

Tabla 2. La lista de estaciones de monitoreo de calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos que se miden en la red de monitoreo de calidad del aire de Calama cuando se inició el análisis de los datos.

Nombre de la estación	Parámetros		Titular
Centro	MP ₁₀ y MP _{2.5} (c y d), As, Pb, SO ₂ , O ₃ , CO, NO _x	WS, WD, T, HR	Codelco División Chuquicamata
Club Deportivo 23 de Marzo	MP ₁₀ (c y d), MP _{2.5} (c y d), As, Pb	WS, WD, T, HR	Codelco División Chuquicamata
Colegio Pedro Vergara Keller	MP ₁₀ (c y d), MP _{2.5} (c y d), As, Pb	WS, WD, T, HR	Codelco División Chuquicamata
Hospital del Cobre	MP ₁₀ (c), MP _{2.5} (d) y SO ₂ , As, Pb	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Codelco División Chuquicamata
Nueva Chiu Chiu	MP ₁₀ (d), MP _{2.5} (d) y SO ₂	WS, WD, T, HR, PA, Rad, Pluviometría	Codelco División Chuquicamata

1.3 Coronel

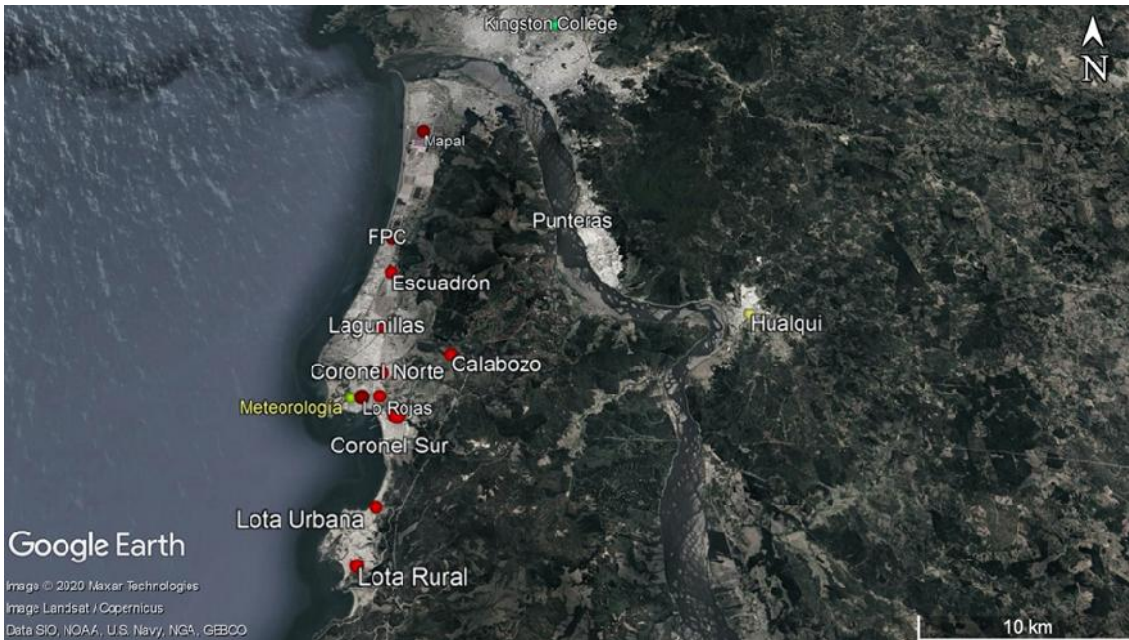
Coronel es una ciudad situada en la costa del Océano Pacífico Sur en la región central de Chile, cerca de la zona donde el río Biobío (que es el segundo río más largo de Chile, con una longitud de 380 kilómetros) desemboca en el mar, aproximadamente a 450 kilómetros al sur de Santiago. La población de la ciudad es de unos 120.000 habitantes. La zona alrededor de Coronel está llena de bosques y es montañosa con diferencias de altura de hasta 400–500 metros entre la zona costera y el río Biobío, que recorre de 10 a 20 kilómetros al este de la zona costera y desemboca en el mar aproximadamente 5 kilómetros al norte de la estatua de Mapal.

La red de monitoreo de calidad del aire de la Comuna de Coronel está compuesta por 13 estaciones operativas de calidad del aire y una estación adicional de observación meteorológica Meteorología-Bocamina; 11 estaciones a lo largo y cerca de la zona costera a una distancia de 26 kilómetros entre la estación más septentrional de Mapal y la estación más meridional de Lota Rural. Dos de las estaciones de calidad del aire se ubican un poco más lejos de la línea costera: Punteras, aproximadamente a 10 kilómetros de la línea de costa al este, junto a la ribera del río Biobío, y Hualqui situada aproximadamente a 20 kilómetros de la zona costera al este, también cerca del río Biobío. En la *Figura 3* se muestra la ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en la zona de Coronel.

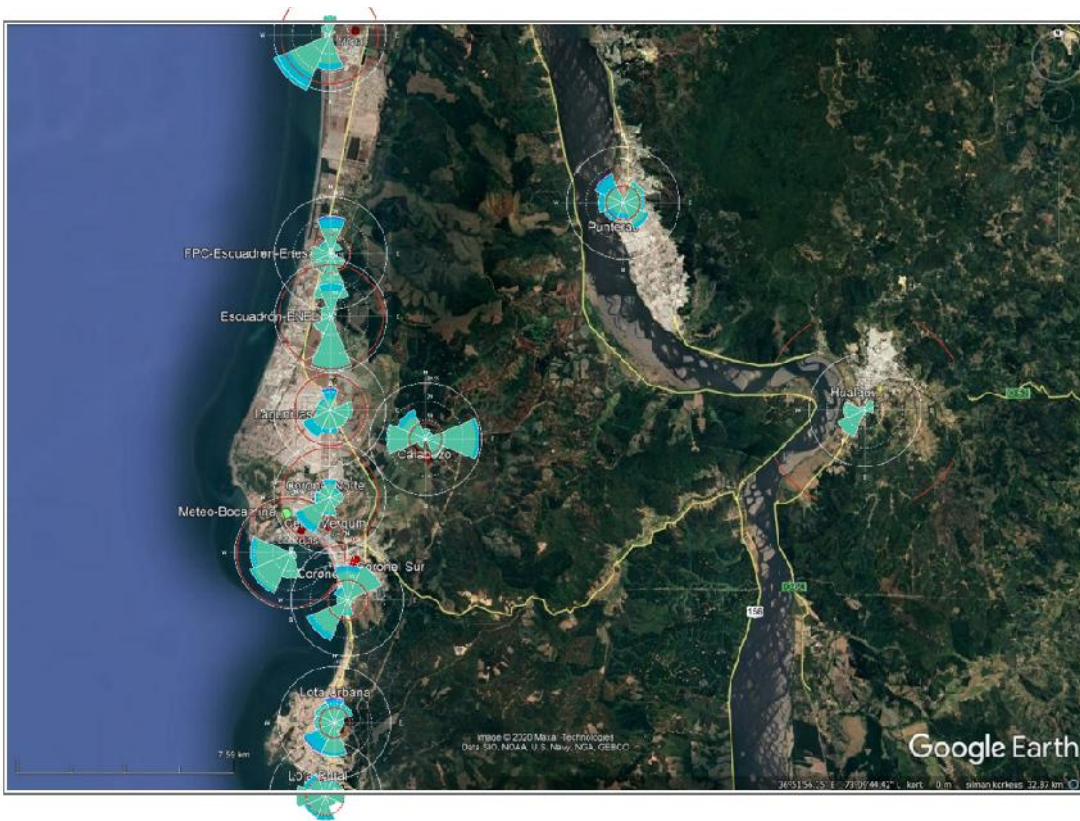
El clima de Coronel es mediterráneo templado, con variaciones moderadas de temperatura. El área de Coronel donde se encuentran la mayoría de las estaciones de monitoreo la calidad del aire está situado al oeste de la cordillera. Recibe generalmente vientos del sur, suroeste y norte. Punteras y Hualqui se encuentran detrás de la zona montañosa más cercana, junto al amplio río Biobío, por lo que las condiciones meteorológicas (direcciones de los vientos predominantes) difieren del resto de las estaciones de calidad del aire del área de Coronel. La proximidad al océano Pacífico influye en sus variaciones anuales de temperatura. Los meses más cálidos y secos son de noviembre a marzo (temperatura media de 18 a 20 grados) y los más frescos y lluviosos son de junio a septiembre (temperatura media de alrededor de 10 grados).

En la *Figura 3* se exponen las rosas de viento de algunas estaciones de calidad del aire seleccionadas, que muestran las direcciones predominantes del viento y la proporción de las diferentes velocidades del viento y las situaciones de calma (círculos rojos) en los diferentes sectores de viento en 2017-2019. Las velocidades del viento de 0,5-3 m/s están marcadas en verde y las velocidades del viento de más de 3 m/s están marcadas en azul. Las velocidades de los vientos inferiores a 0,5 m/s se consideran situaciones de calma (marcadas con un círculo rojo). Algunas de las estaciones tienen una cantidad considerable de situaciones de calma (30-50%): Escuadrón, Coronel Norte, Lo Rojas y Hualqui. También hay mapas topográficos de elevación del terreno que se muestran en la *Figura 3*. El área tiene una topografía específica que afecta a las condiciones meteorológicas locales, como las direcciones y velocidades de los vientos, ya que limita con el Océano Pacífico sur al oeste y la zona montañosa que se eleva hacia el este y separa el amplio río Biobío de la zona costera.

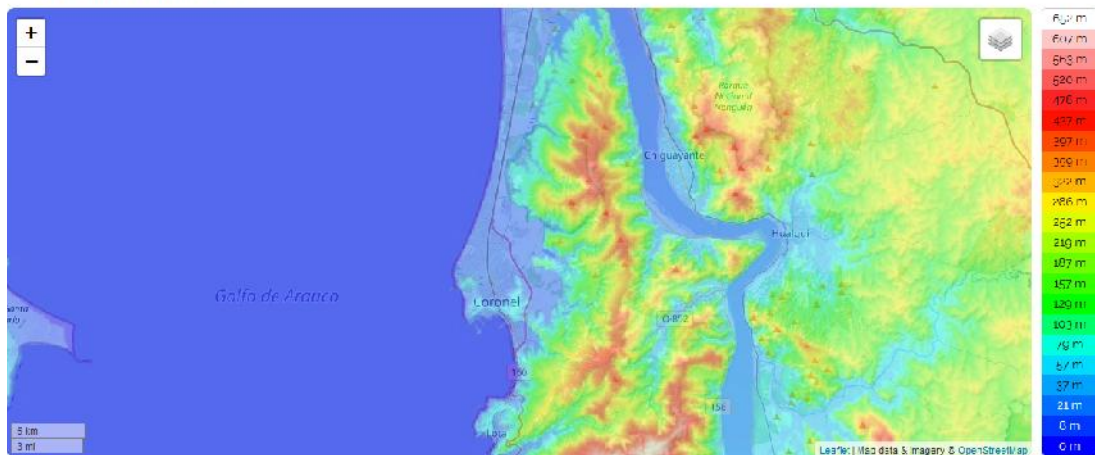
En la *Tabla 3* se muestra la lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos medidos en la red de monitoreo de la calidad del aire de Coronel.



(a)



(b)



(c)

Figura 3. (a): Ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019. (b): Las rosas de viento de las estaciones de calidad del aire seleccionadas representan los porcentajes de distribución del viento entre los diferentes sectores, los círculos rojos representan la proporción de situaciones de calma (que cubren los años 2017–2019). (c): Mapa topográfico de la zona.

Tabla 3. La lista de estaciones de monitoreo de la calidad del aire, los contaminantes y los parámetros meteorológicos que se suponía que se medían en la red de monitoreo de la calidad del aire de Coronel al comienzo del análisis de los datos.

Nombre de la estación	Parámetros		Propietario
Calabozo	SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , MP ₁₀ , MP _{2.5} (cont)	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Santa María Colbún
Coronel N	SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , CH ₄ /HCNM, MP ₁₀ , MP _{2.5} (c)	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Santa María Colbún
Coronel S	SO ₂ , NO _x , CO, O ₃ , CH ₄ /HCNM, MP ₁₀ , MP _{2.5} (c)	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Santa María Colbún
Cerro Merquín	MP ₁₀ y MP _{2.5} y MP _{1.0} (cont)	-	Ministerio del Medio Ambiente
Escuadrón	MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Bocamina ENEL
Lagunillas	MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Bocamina ENEL
Lota Urbana	MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Bocamina ENEL
Lota Rural	MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO ₂ , CO, O ₃ , NO _x	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Bocamina ENEL

Meteorología-Bocamina	-	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Central Bocamina ENEL
FPC	MP ₁₀	-	Forestal y Papelera Concepción
Lo Rojas	MP ₁₀ , SO ₂ , NO ₂ , CO	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Camanchaca-Orizon
Mapal	MP ₁₀ , SO ₂	WS, WD, T, HR, PA, RS, Pluviometría	Masisa
Hualqui	MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO ₂ , O ₃ , NO _x	WS, WD, T, HR, RS	Ministerio del Medio Ambiente
Punteras	MP ₁₀ , MP _{2.5} , SO ₂ , NO _x	WS, WD, T, HR, RS, Pluviometría	Ministerio del Medio Ambiente

2. EVALUACIÓN DE LOS DATOS Y DE LA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

2.1 Normas de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Las directrices de la OMS sobre la calidad del aire están indicadas para orientar a la hora de reducir los efectos de la contaminación atmosférica en la salud. En base a pruebas científicas, en la Tabla 4, se presentan los valores de referencia de la OMS (OMS, 2006) para los contaminantes atmosféricos más comunes. Estas directrices son aplicables en todas las regiones de la OMS.

Tabla 4. Directrices de la OMS sobre la calidad del aire ambiente

Contaminante	Período de promedio	Guía de la OMS sobre la calidad del aire ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Material particulado (MP ₁₀)	24 horas	50
	año	20
Material particulado (MP _{2,5})	24 horas	25
	1 año	10
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 hora	200

	1 año	40
Dióxido de azufre (SO ₂)	10 minutos	500
	24 horas	20

2.1.1. Área de Coronel

En el área de Coronel hay trece (13) instalaciones de monitoreo de calidad del aire y una estación de observación meteorológica adicional, Meteorología-Bocamina. 11 estaciones están situadas a lo largo y cerca de la zona costera en un radio de 26 kilómetros de distancia entre la estación más septentrional, Mapal, y la más meridional, Lota Rural. Dos de las estaciones de calidad del aire se ubican un poco más lejos de la línea costera: Punteras, aproximadamente a 10 kilómetros de la línea de costa al este, junto a la ribera del río Biobío, y Hualqui situada aproximadamente a 20 kilómetros de la zona costera al este, también cerca del río Biobío. Once (11) estaciones de monitoreo miden el dióxido de azufre (SO₂), ocho (8) los óxidos de nitrógeno (NOx) y el material particulado fino (MP_{2,5}), once (11) estaciones el material particulado (MP₁₀), seis (6) estaciones el ozono (O₃) y monóxido de carbono (CO) y dos (2) estaciones los hidrocarburos metánicos (HCNM) y metano (CH₄). Así, la red de monitoreo de calidad del aire y el número de parámetros supervisados en cada estación pueden considerarse muy densas y extensas, teniendo en cuenta la cantidad de población de la zona y los niveles de concentración de muchos contaminantes.

Las velocidades medias de los vientos medidos en la zona son bajas, el 60-80% están por debajo de 3 m/s.

Se sugiere incluir información sobre las fuentes de emisión locales, ubicación de las actividades industriales, información sobre la quema de madera a pequeña escala para calefacción, cualquier otra actividad local como la quema de biomasa, que pudiera tener un impacto en las tendencias de las emisiones.

1. Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ se monitorea en once (11) instalaciones de la red en el área de Coronel. Las series temporales horarias (*Figura 4*) muestran que la calidad de los datos es razonablemente buena:

- Las concentraciones de dióxido de azufre son muy altas en el área de Coronel, superando el nivel de referencia diario de la OMS (20 µg/m³) en 8 estaciones: Coronel Norte, Coronel Sur, Escuadrón (2018), Lagunillas, Lo Rojas, Lota Rural, Lota Urbana y Mapal (2018 y 2019).
- Las concentraciones más bajas (concentración anual menor a 5 µg/m³) se dieron en las estaciones de Hualqui y Punteras.
- Los niveles de concentración han tendido a disminuir en todas las estaciones excepto en Lo Rojas, que tiene las mayores concentraciones de SO₂ del área de Coronel.
- Los datos de Calabozo parecen tener serios problemas de calidad de datos. A partir de finales de 2017, los niveles de concentración caen bruscamente a un nivel muy bajo que se mantiene durante el año 2018. A principios de 2019 hay varios valores máximos consecutivos que parecen poco realistas. Por lo

tanto, los datos de Calabozo no se han analizado con más detalle debido a los problemas de calidad de los datos.

- La cobertura de los datos es buena para la mayor parte de estaciones (90-98%). Sin embargo, Lagunillas y Lo Rojas tienen algunas lagunas de datos ausentes en 2017. Hay muy pocos o ningún dato de SO₂ disponible para las estaciones de Mapal y Escuadrón a partir del año 2017.
- Punteras, Mapal y Hualqui tienen algún deslizamiento visible ocasional del nivel cero.
- Los conjuntos de datos de Hualqui y Punteras indican que los analizadores de SO₂ utilizados en la estación tienen un límite de detección de 1 ppb. Al convertir 1 ppb a las unidades µg/m³, el valor de la concentración más bajo es de 2,66 µg/m³ (gráficos diarios presentados en la *Figura 4*).
- Los datos parecen tener ciclos diurnos realistas. Parece haber un nivel máximo desde la mañana hasta el mediodía (posiblemente debido a las condiciones meteorológicas y las reacciones fotoquímicas) y sólo Lo Rojas parece tener otro *peak* por la tarde (alrededor de las 19-23).
- Los datos parecen tener un comportamiento típico para el SO₂ y en la mayoría de los casos parecen realistas.

Cabe destacar que los *peak* horarios más altos son muy altos. Durante el período de estudio de 2017-2019, se registraron con frecuencia valores horarios superiores a 350 µg/m³ (que es el valor límite horario de la UE para el SO₂) en Lo Rojas (18-169 veces al año), Coronel Norte (1-23 veces al año), Coronel Sur (8 veces en 2017), Lagunillas (1 vez en 2017), Lota Rural (1-25 veces al año) y Lota Urbana (4 veces en 2017). El ciclo diurno de los valores horarios parece ser similar para la mayoría de las estaciones. Hualqui y Punteras tienen una variación diurna diferente, ya que se ubican más lejos de las mayores fuentes de emisión de SO₂.

Los valores medios anuales y el ciclo diurno del SO₂ se presentan en las *Figuras 4 y 6*. Los valores horarios de SO₂ se presentan en la *Figura 5* y las medias diarias con la media mensual (media deslizante de 30 días) se presentan en la *Figura 7*. Las rosas de concentración de contaminación se presentan en la *Figura 8*.

Parece que la variación estacional de las concentraciones de SO₂ no es muy definida y clara. Sin embargo, algunas estaciones (es decir, Coronel Norte y Sur, Lota Rural y Urbana), indican mayores niveles/peaks de concentración de SO₂ alrededor de marzo-junio. Sin contar con la información disponible sobre las fuentes de emisión y su variación, es probable que las concentraciones más elevadas en la temporada de invierno se deban a las condiciones meteorológicas estacionales. Durante los meses de invierno, el SO₂ permanece más tiempo en la atmósfera como gas. Esto se debe a la menor transformación fotoquímica en sulfuros, que no se produce en invierno tan rápidamente como durante los meses de verano. Las situaciones de inversión también son más comunes en los meses de invierno que en los meses de verano. Durante la inversión, las condiciones de mezcla atmosférica son débiles y las concentraciones de contaminación tienden a aumentar.

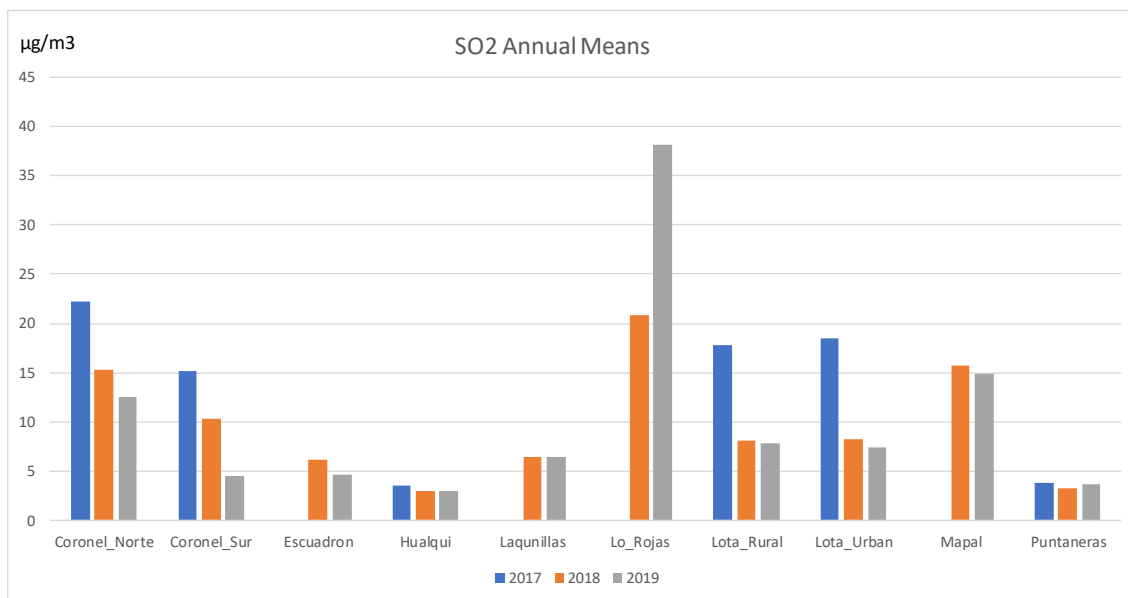


Figura 4. Valores medios anuales de SO₂ (µg/m³N) medidos en 10 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019. Los datos de la estación de Calabozo se han excluido de este gráfico debido a problemas con la calidad de los datos. También faltan datos del año 2017 de las estaciones de Escuadrón, Lagunillas, Lo Rojas y Mapal (ver la Figura 5 para datos horarios). Se sugiere incluir una descripción de cada estación que incluya fecha de instalación e historial de funcionamiento.

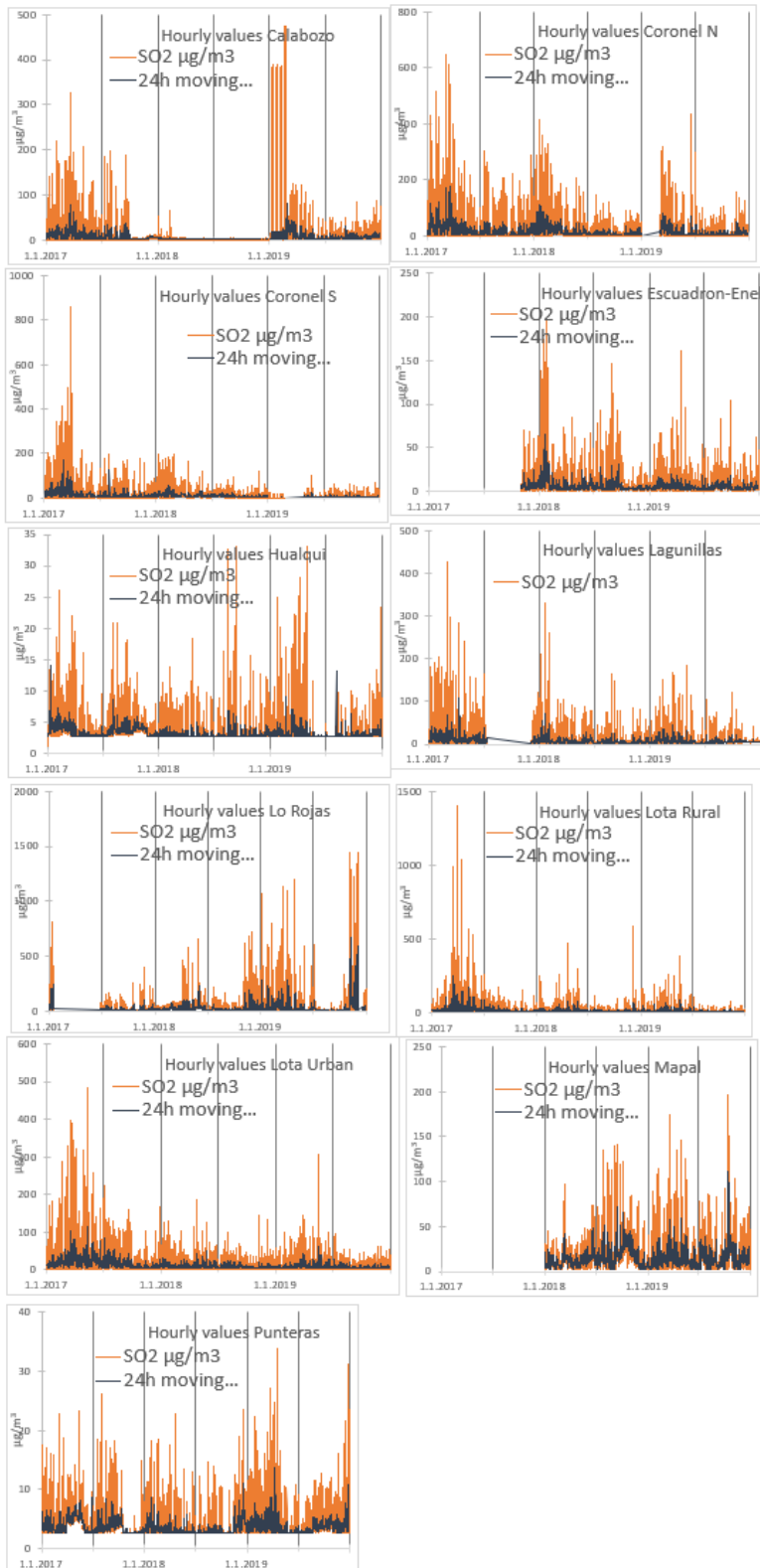


Figura 5. Valores medios por hora de SO₂ (µg/m³N) medidos en 11 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

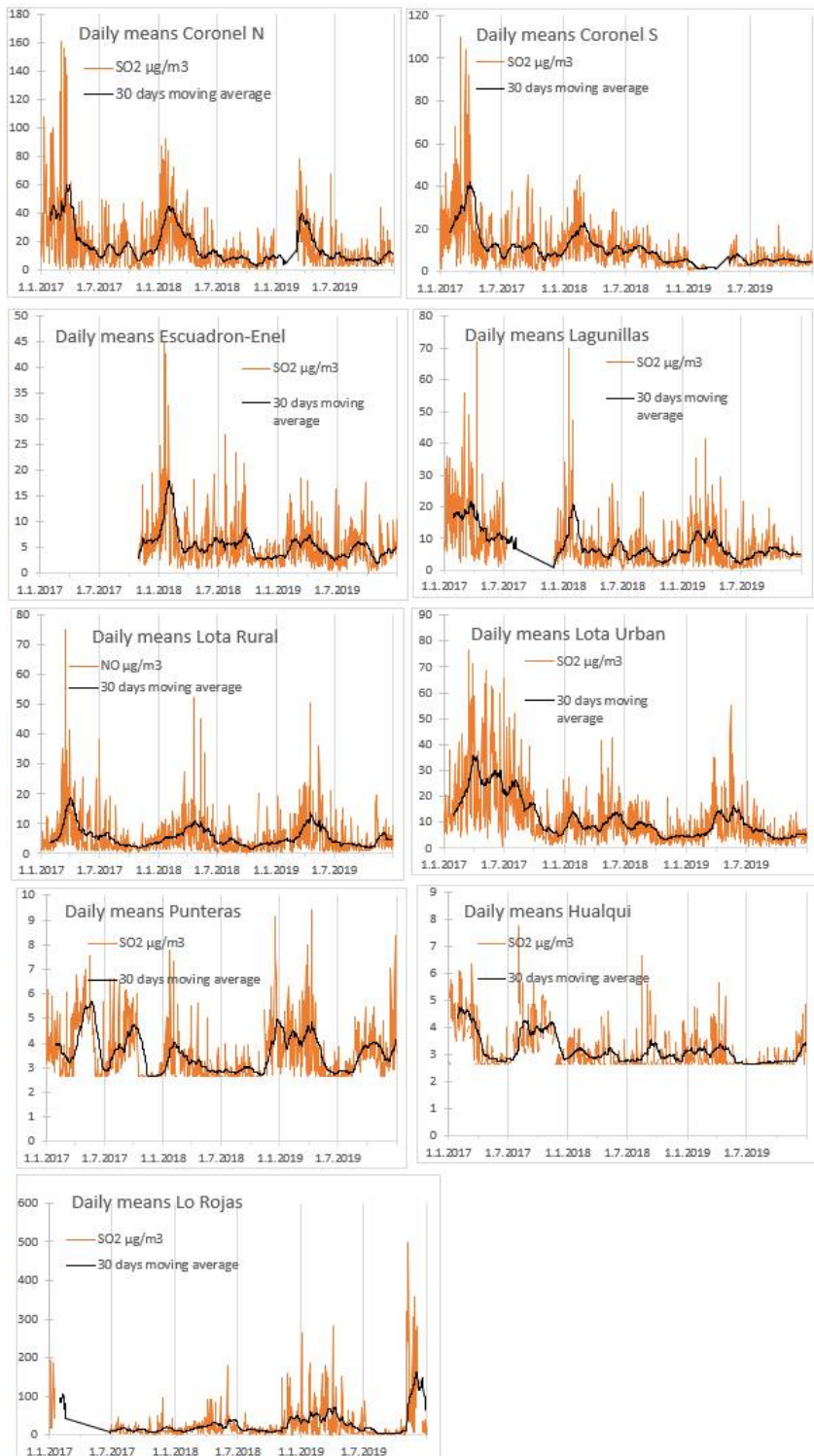


Figura 6. Valores medios anuales de SO₂ (µg/m³N) con línea de tendencia durante 30 días de media deslizando medidos en 9 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019. Los datos de las estaciones de Calabozo y Mapal han quedado fuera de estos gráficos debido a problemas de calidad y a la falta de datos.

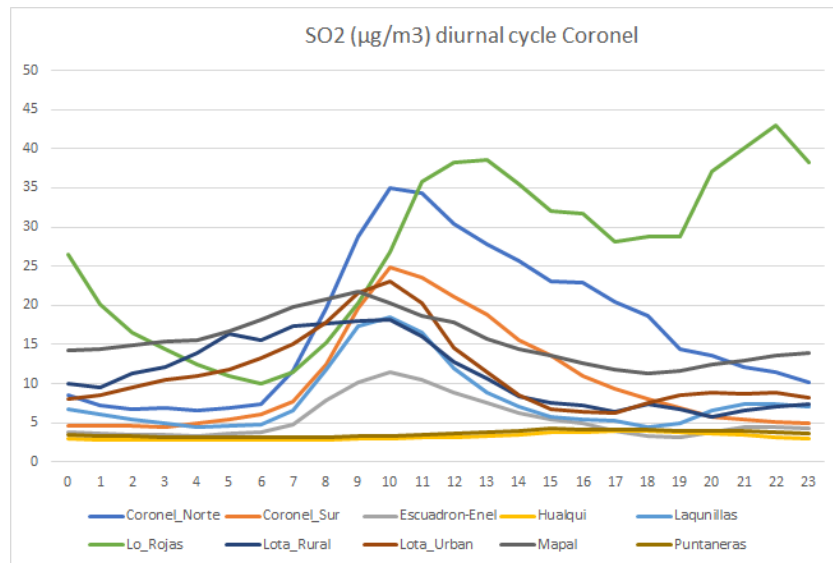


Figura 7. Ciclo diario de concentraciones de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$) de las mismas 10 estaciones de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019. Los datos de la estación de Calabozo se han excluido de esta Figura debido a las incertidumbres en la calidad de los datos.

Normalmente, las concentraciones de SO_2 de todas las estaciones son muy elevadas, excepto en las estaciones de Punteras y Hualqui que, desde marzo de 2018, tienen niveles de concentración de SO_2 excepcionalmente bajas en comparación con otras estaciones. Esto indica que no hay grandes fuentes de emisión cerca de estas estaciones. También hay más de 10 kilómetros de distancia entre estas y otras estaciones.

En la *Figura 8* se muestran las rosas de concentración de SO_2 en cada estación de calidad de aire. Las rosas de concentración pueden utilizarse para analizar las posibles fuentes de contaminación. Con las rosas de concentración es posible definir las direcciones del viento con las mayores concentraciones de SO_2 medidas en la estación de monitoreo. De acuerdo con las rosas de concentración (*Figura 8*), las principales fuentes de emisión de SO_2 se encuentran en las cercanías de las estaciones de Coronel Norte, Lo Rojas y Coronel Sur. Las mayores concentraciones en estas estaciones se miden durante los vientos del sur y del suroeste. Las principales fuentes de concentración de SO_2 son, muy probablemente, las fuentes industriales, el tráfico marítimo y las actividades portuarias.

Las 11 estaciones de calidad del aire actualmente operativas no son necesarias para disponer de suficiente información sobre los niveles de concentración de SO_2 y su variación en la zona. Por lo tanto, en la planificación a largo plazo de la red de monitoreo, serían suficientes menos puntos de monitoreo de SO_2 para la zona, aunque las concentraciones sean elevadas. Sin embargo, en caso de que se reduzca el número de mediciones de SO_2 , deben tenerse en cuenta minuciosamente la ubicación, representatividad y calidad de las estaciones restantes. También deberían considerarse debidamente los cambios previstos en las actividades industriales de la zona.

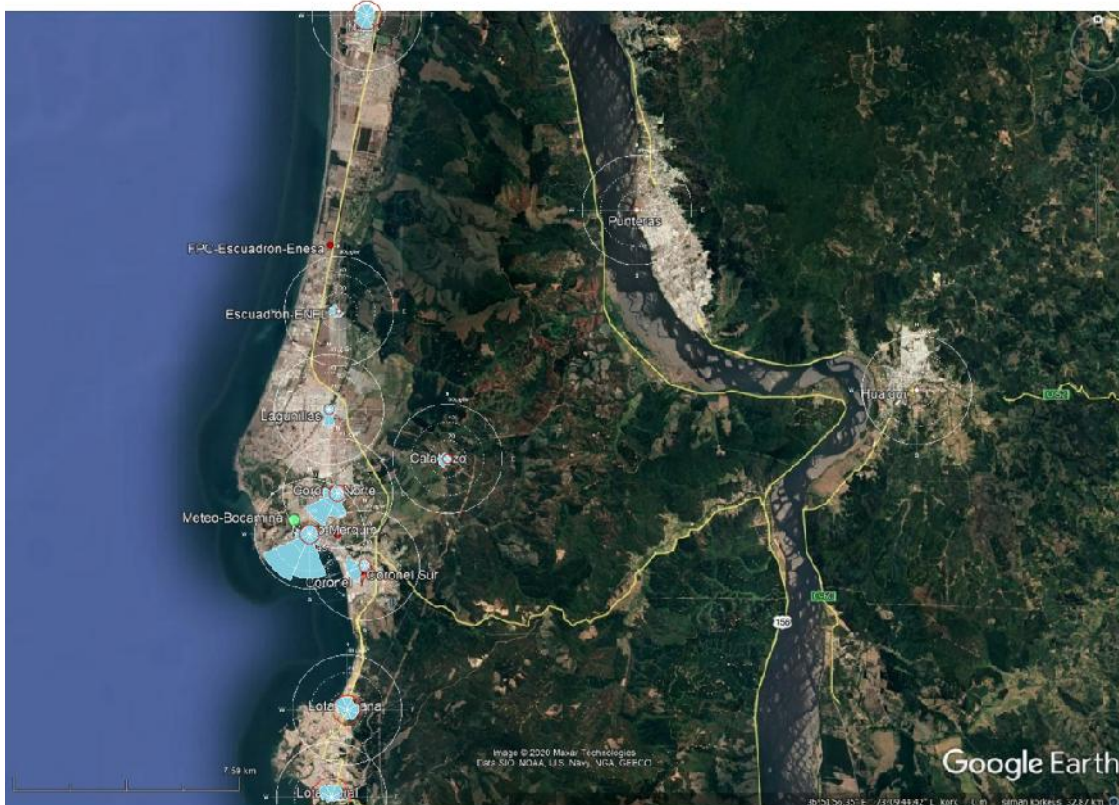


Figura 8. Figura superior de rosas de concentración de SO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de las estaciones de calidad del aire seleccionadas en el área de Coronel. La rosa de concentración indica de qué dirección provienen las mayores concentraciones. Las rosas de concentración representan la calidad del aire y los datos meteorológicos en 2017-2019

2. Material particulado ($\text{MP}_{2,5}$ y MP_{10})

$\text{MP}_{2,5}$

El $\text{MP}_{2,5}$ se monitorea con analizadores continuos en 8 instalaciones (Coronel Norte, Escuadrón, Hualqui, Lagunillas, Lota Rural, Lota Urban, Cerro Merquín, Puntera y Cerro Merquín) en el área de Coronel. De acuerdo con los promedios anuales (Figura 9), las series temporales horarias (Figura 10), y las variaciones diurnas (Figura 11), los datos de monitoreo parecen ser buenos en términos generales:

- Los niveles de concentración de $\text{MP}_{2,5}$ son muy altos en el área de Coronel, la referencia diaria de la OMS, $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y la referencia anual, $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, se superan en todas las estaciones. También se excede el parámetro nacional para el valor medio diario de $\text{MP}_{2,5}$ ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) en todas las estaciones.
- Hay diferencias considerables en los niveles de concentración entre las estaciones de calidad del aire dentro del mismo área. Esto indica el impacto de las fuentes de emisión locales cerca de las estaciones de monitoreo.

- Coronel Norte y Lota Urbana tienen los niveles de concentración más altos (niveles de concentración anual 35-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 30--35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y los más bajos se registran en Lota Rural y Cerro Merquín (aprox. 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Algunas de las estaciones (Lota Rural, Lota Urbana, Cerro Merquín y Puntanera) tienen una buena cobertura de datos (96-98 %). Sin embargo, hay considerables lagunas de datos ausentes en 4 estaciones: Coronel Norte, Escuadrón, Hualqui y Lagunillas.
- El nivel cero del monitoreo es bueno en términos generales, pues no se observan problemas importantes en los datos.
- Los datos parecen ser realistas y tener patrones lógicos.
- Según las rosas de concentración, las concentraciones más altas de $\text{MP}_{2,5}$ se producen durante las situaciones de calma.
- Las concentraciones tienen una fuerte variación estacional y son claramente más altas en el período de invierno; durante los meses de verano los niveles de concentración son bajos.
- La variación diurna es similar en todas las estaciones. Por la mañana se produce un pequeño *peak*, y los niveles más altos se dan por la tarde entre las 18 y las 23h. Basándose en la variación estacional y diurna, es probable que las altas concentraciones estén relacionadas con la calefacción de las casas en invierno

Los niveles de concentración de $\text{MP}_{2,5}$ son altos en toda la red de calidad del aire del área de Coronel. Sin embargo, hay diferencias significativas en los niveles de concentración de $\text{MP}_{2,5}$ entre las estaciones que indican el impacto de las fuentes de emisión locales. El valor de referencia diario de la OMS de $\text{MP}_{2,5}$ (25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) se supera con frecuencia en las ocho instalaciones de monitoreo, la mayoría de las veces durante el período invernal. El número de excedentes del valor guía diario de la OMS anualmente durante el período de estudio 2017-2019 es el de Coronel Norte 143–164; Escuadrón 78–93; Hualqui 106–118; Lagunillas 65–124; Lota Rural 28–62, Lota Urbana 151–178, Cerro Merquín 6–67 y Puntera 77–88, (*Figura 11*). Los valores por hora de $\text{MP}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019 se muestran en la *Figura 10*. La media anual de $\text{MP}_{2,5}$ supera el valor de referencia de la OMS (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en todas las instalaciones (*Figura 9*).

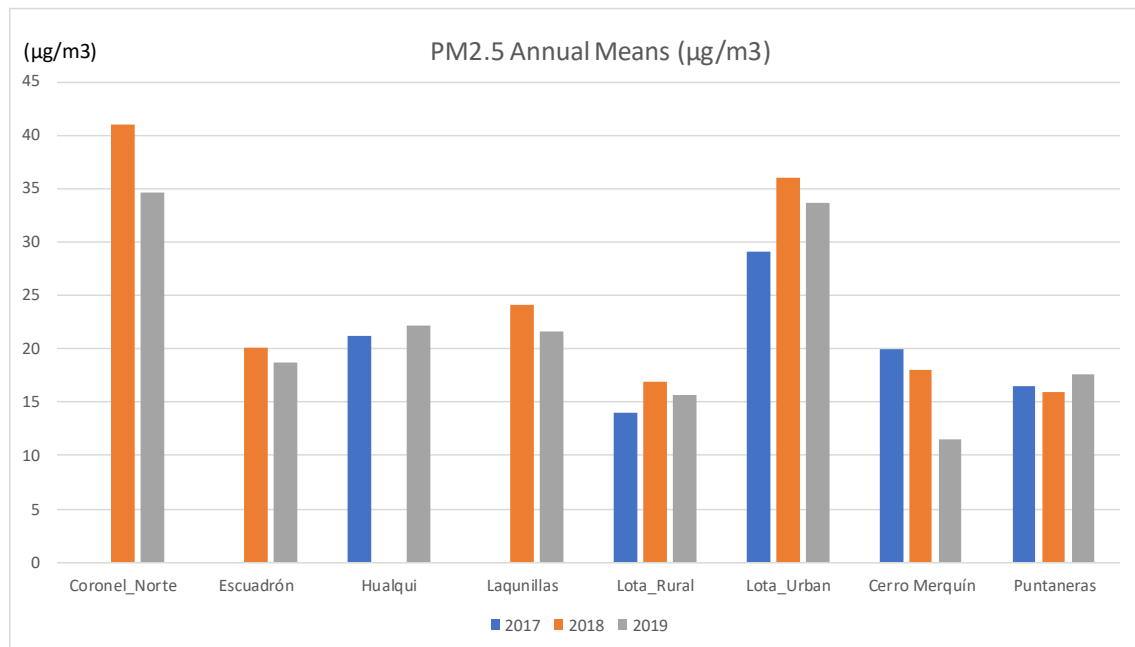


Figura 9. Valores medios anuales de $MP_{2.5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunos de los datos de concentración anual se han excluido debido a la falta de datos y a la escasa cobertura de los mismos.

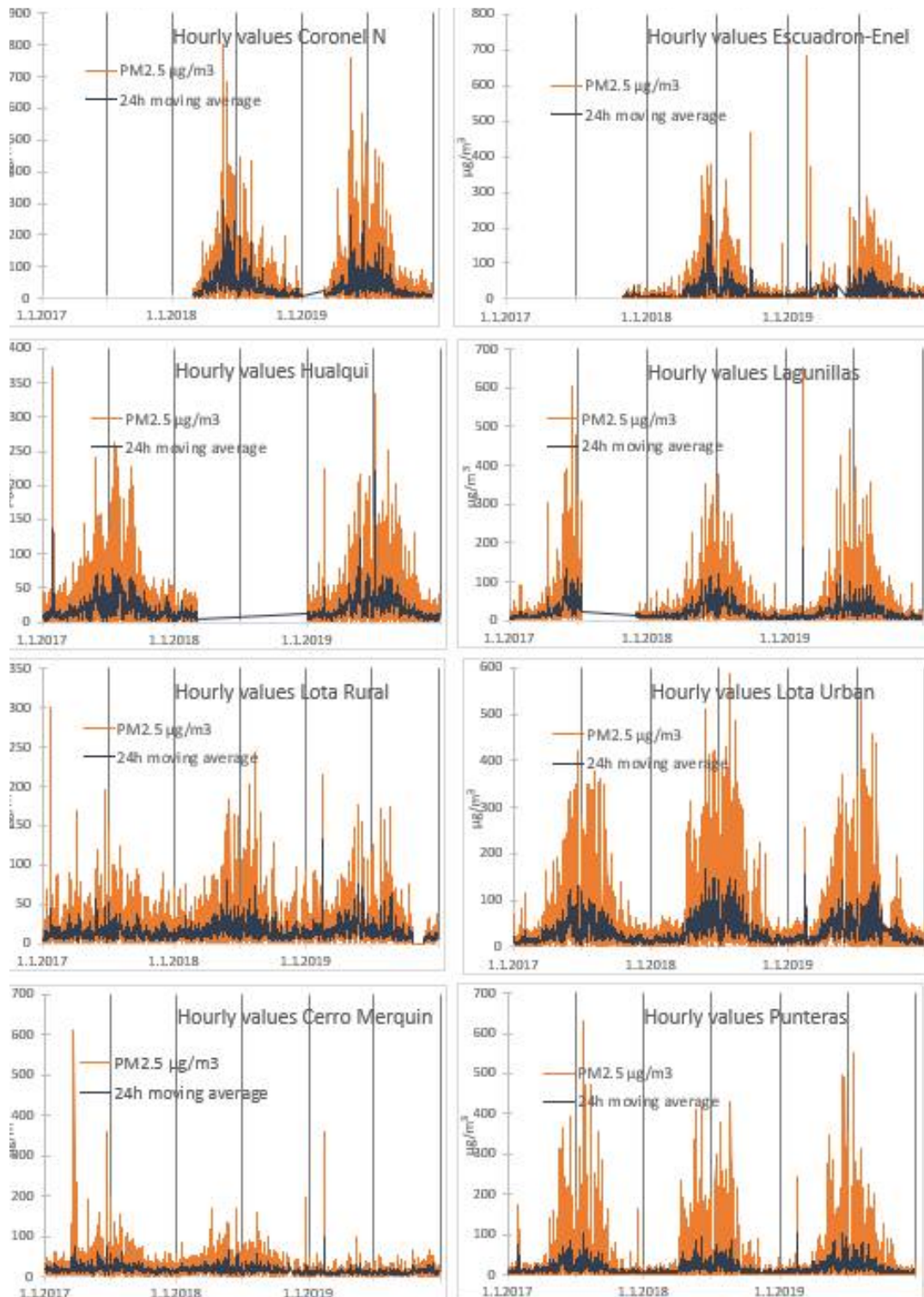


Figura 10.
Valores por hora
de $\text{PM}_{2.5}$
($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
medidos en 8
estaciones de
calidad del aire
en el área de
Coronel en
2017–2019.

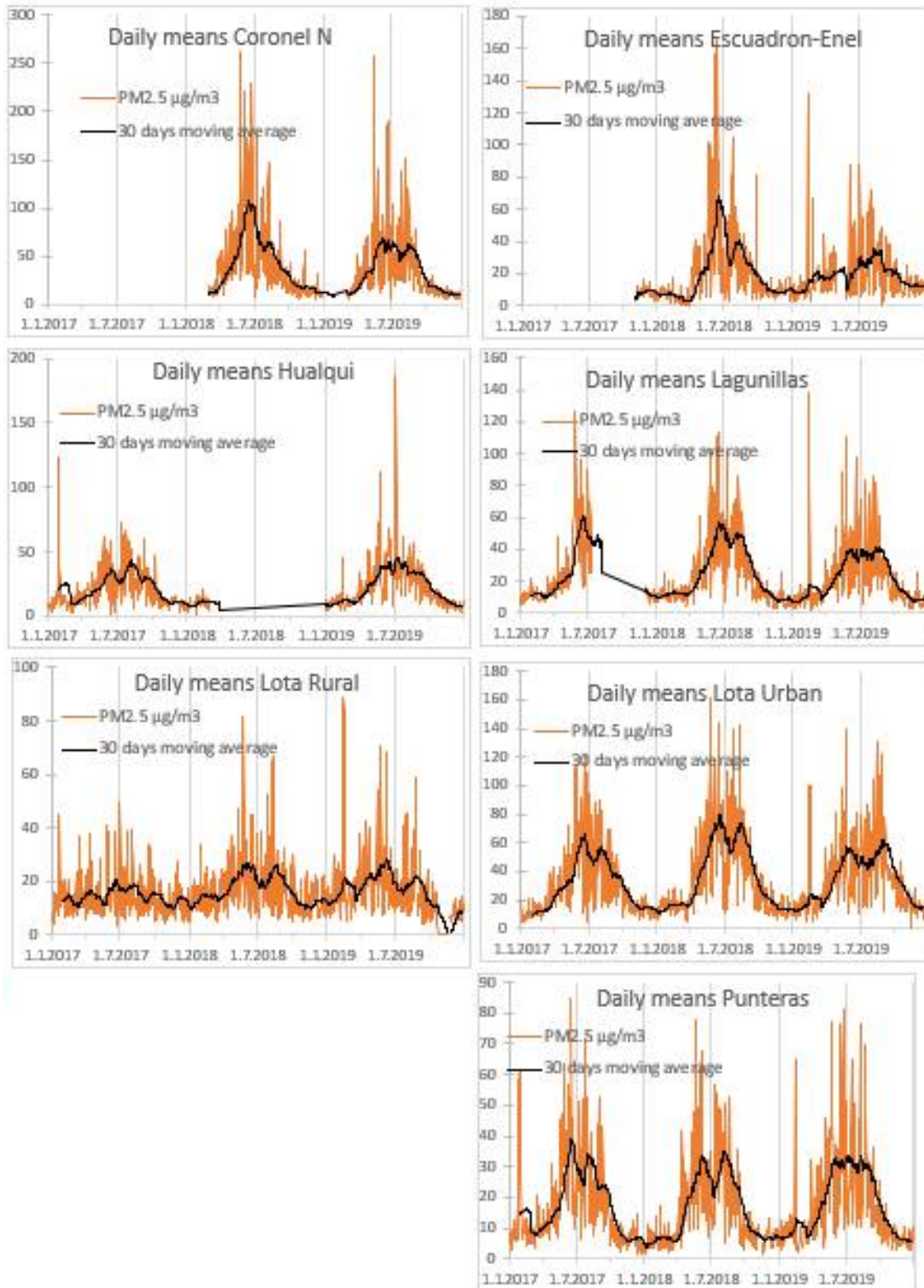


Figura 11. Valores diarios de $\text{MP}_{2.5}$ con una línea de tendencia (30 días de media deslizando, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

Las rosas de concentraciones de $MP_{2,5}$ se muestran en la *Figura 12*. Las rosas indican de qué dirección proviene las mayores concentraciones de contaminantes. Curiosamente, parece que las mayores concentraciones de $MP_{2,5}$ proceden de la dirección este y sudeste. Sin embargo, las concentraciones son más altas durante las condiciones de calma y baja velocidad del viento que también indican el impacto de las fuentes locales. Según la variación estacional, las concentraciones más elevadas se miden durante el invierno, lo que también indica que los niveles de concentración de $MP_{2,5}$ pueden deberse a actividades locales, es decir, a emisiones relacionadas con la calefacción. También es posible que el nivel de concentración de fondo y las partículas transportadas a larga distancia (LRT) desempeñen un papel importante en las concentraciones de $MP_{2,5}$.

Las rosas de concentración de SO_2 y $MP_{2,5}$ (*Figuras 8 y 12*) también indican que las fuentes de las emisiones de $MP_{2,5}$ y SO_2 son diferentes. Por lo tanto, se supone que no hay correlación entre las emisiones de SO_2 y de $MP_{2,5}$ y que probablemente tengan fuentes diferentes. La *Figura 13* muestra el Ciclo diario de los valores de concentración de $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

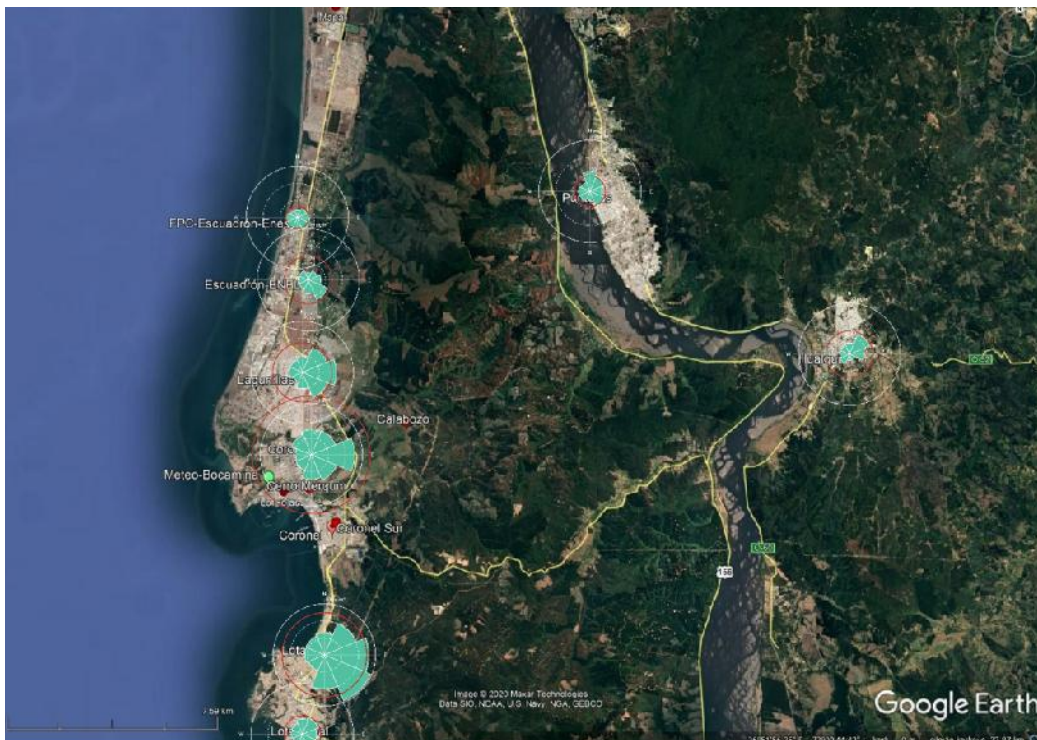


Figura 12. Rosas de contaminación por $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) basadas en mediciones en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019. La rosa de contaminación indica de qué sectores eólicos provienen las mayores concentraciones.

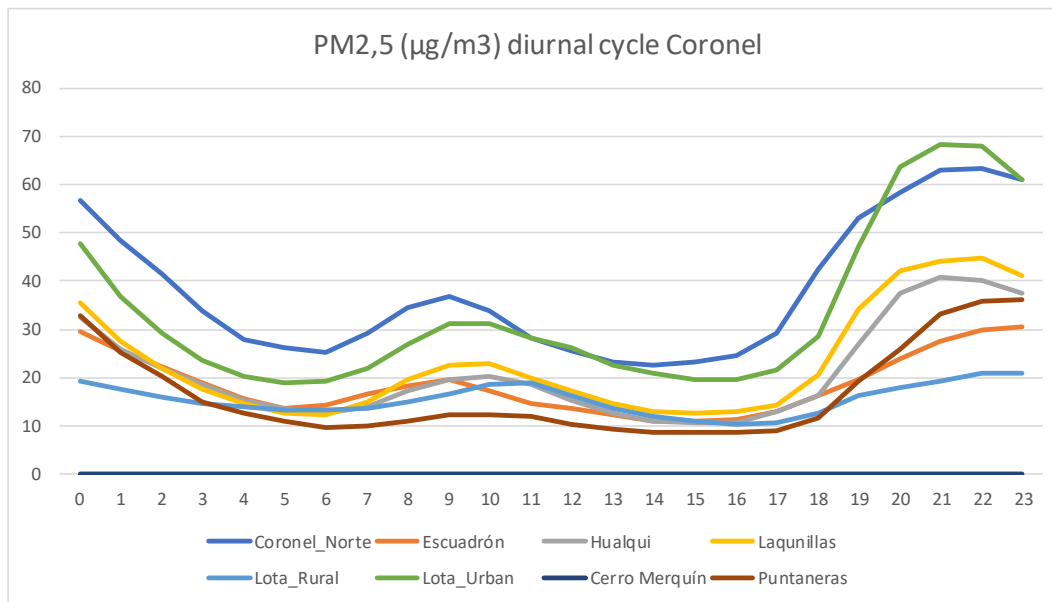


Figura 13. Ciclo diario de los valores de concentración de $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

En base a los actuales resultados disponibles del monitoreo de calidad del aire, y debido a la falta de información sobre las fuentes de emisión, en este momento no es posible evaluar o concluir de manera fiable el impacto de las diferentes fuentes de emisión en la concentración de $MP_{2,5}$ en la zona de estudio.

MP₁₀

El MP_{10} se monitorea con analizadores continuos en 11 instalaciones (Coronel Norte, Coronel Sur, Escuadrón, Lagunillas, Hualqui, Lota Rural, Lota Urbana, Lo Rojas, Cerro Merquín, Puntera, y FPC) en el área de Coronel en 2017–2019. Según las series horarias y diarias (Figuras 16 y 17), los promedios anuales (Figura 14) y las variaciones diurnas (Figura 18), los datos del monitoreo parecen ser en parte correctos y en parte parece haber problemas de cobertura y calidad de los datos;

- Los niveles de concentración son elevados en la zona de Coronel; la referencia anual y diaria de la OMS ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) se supera en todas las estaciones.
- Coronel Norte, Coronel Sur, Lo Rojas y Lota Urbana tienen las concentraciones más altas (niveles de concentración anual alrededor de $40\text{-}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y las más bajas se registran en Lagunillas, Lota Rural, Punteras y FPC (aproximadamente $25\text{-}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Muchas de las estaciones (Coronel Norte, Coronel Sur, Escuadrón, Lagunillas, Cerro Merquín y FPC) tienen problemas de cobertura, largos períodos de tiempo de datos que faltan.
- Cerro Merquín tuvo evidentes problemas de calidad de datos durante 2017 y 2018 (ver series temporales de datos horarios (Figura 16)).

- En general, los datos parecen realistas y siguen patrones lógicos, pero los datos que faltan interrumpen el análisis de las tendencias y los patrones.
- La variación estacional es visible en la mayoría de las estaciones, los niveles de concentración son más altos en el período de invierno y más bajos en el período de verano.
- FPC y Escuadrón no parecen tener una variación estacional similar en las concentraciones.
- La variación diaria es similar en todas las estaciones. Hay un pequeño *peak* por la mañana y *peaks* más altos por la tarde. En Lota Rural y FPC no se produce el *peak* de la tarde.
- Los niveles de concentración entre diferentes estaciones de calidad del aire dentro de la misma área son considerablemente diferentes. Esto indica el impacto de las fuentes de emisión locales cerca de las estaciones de monitoreo.
- MP_{10} y $MP_{2,5}$ están fuertemente correlacionados. Parece que la concentración de $MP_{2,5}$ es aproximadamente el 80% de las concentraciones de MP_{10} . Por lo tanto, el MP_{10} está fuertemente influenciado por el $MP_{2,5}$. De esta forma, la mayoría del material particulado está formado por partículas finas (Figura 15).

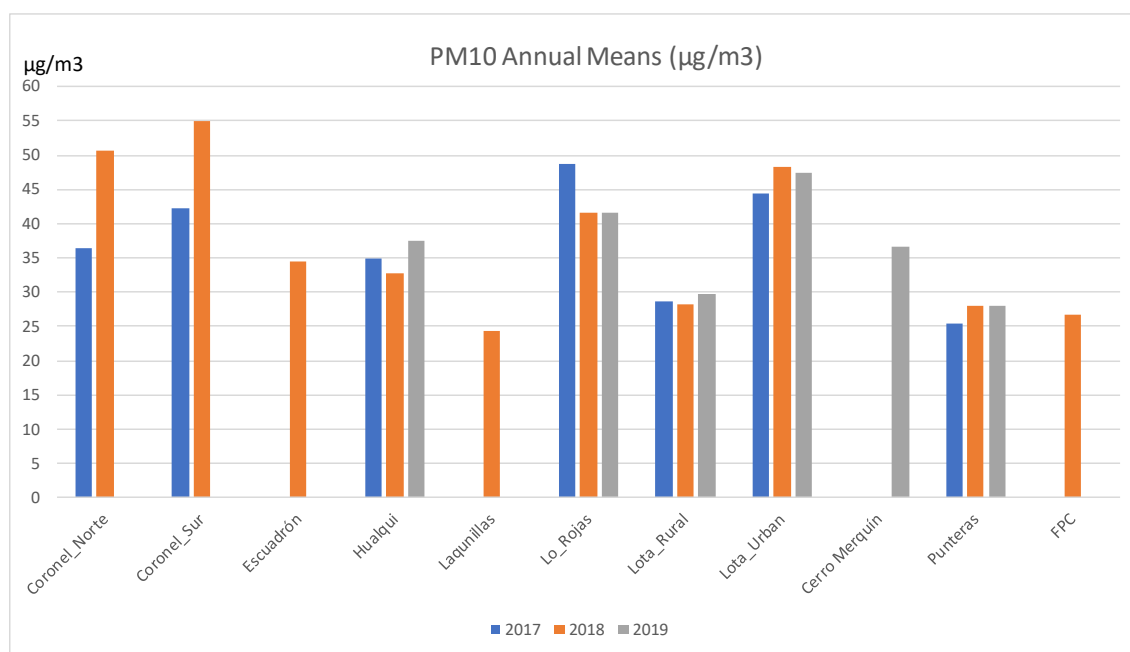


Figura 14. Valores medios anuales de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 10 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido debido a problemas de calidad de los datos, a la falta de cobertura de los datos o a la escasez de los mismos.

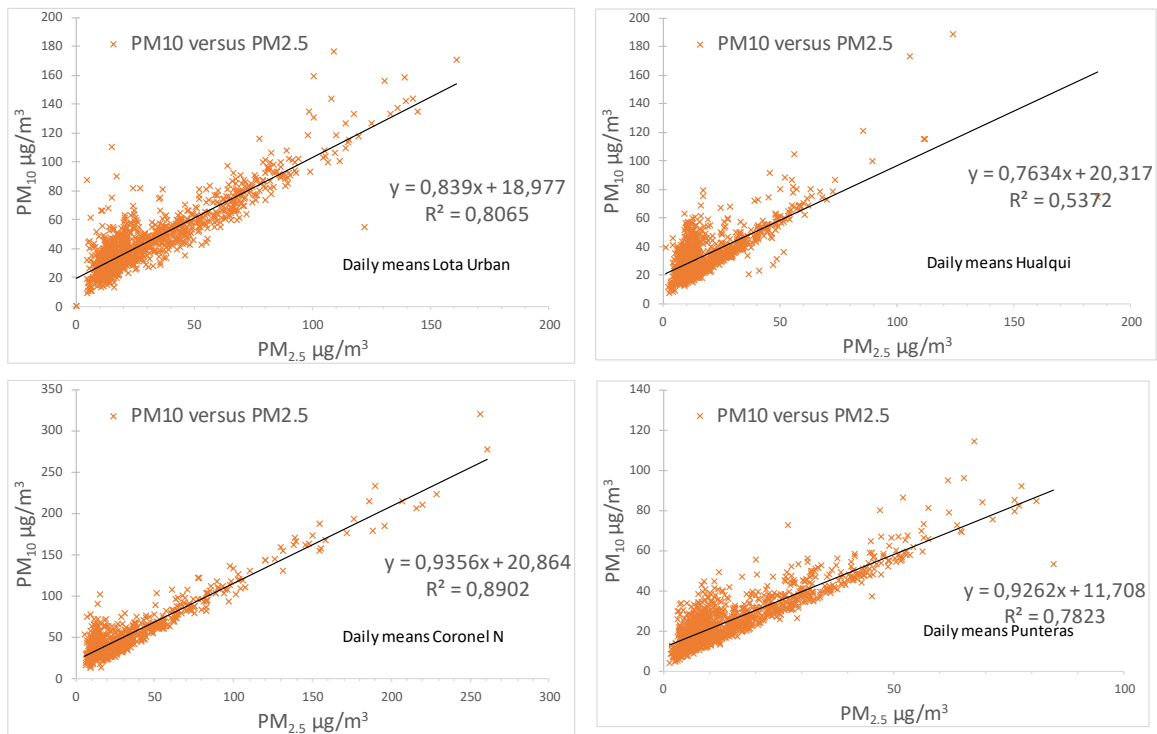


Figura 15. Correlación de las concentraciones de MP₁₀ y MP_{2,5} en cuatro estaciones: Lota Urbana, Hualqui, Coronel Norte y Punteras.

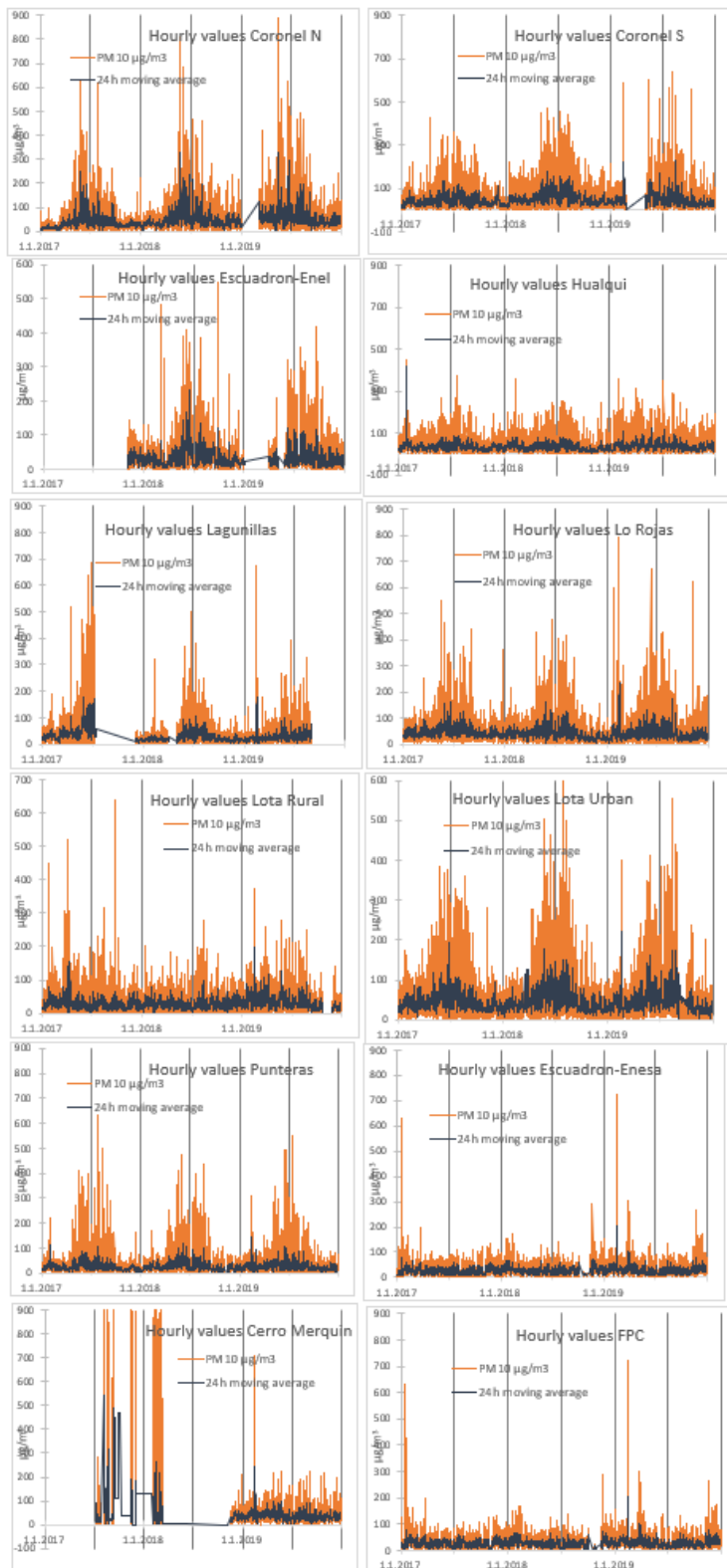


Figura 16. Valores por hora de MP₁₀ (µg/m³) medidos en 12 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

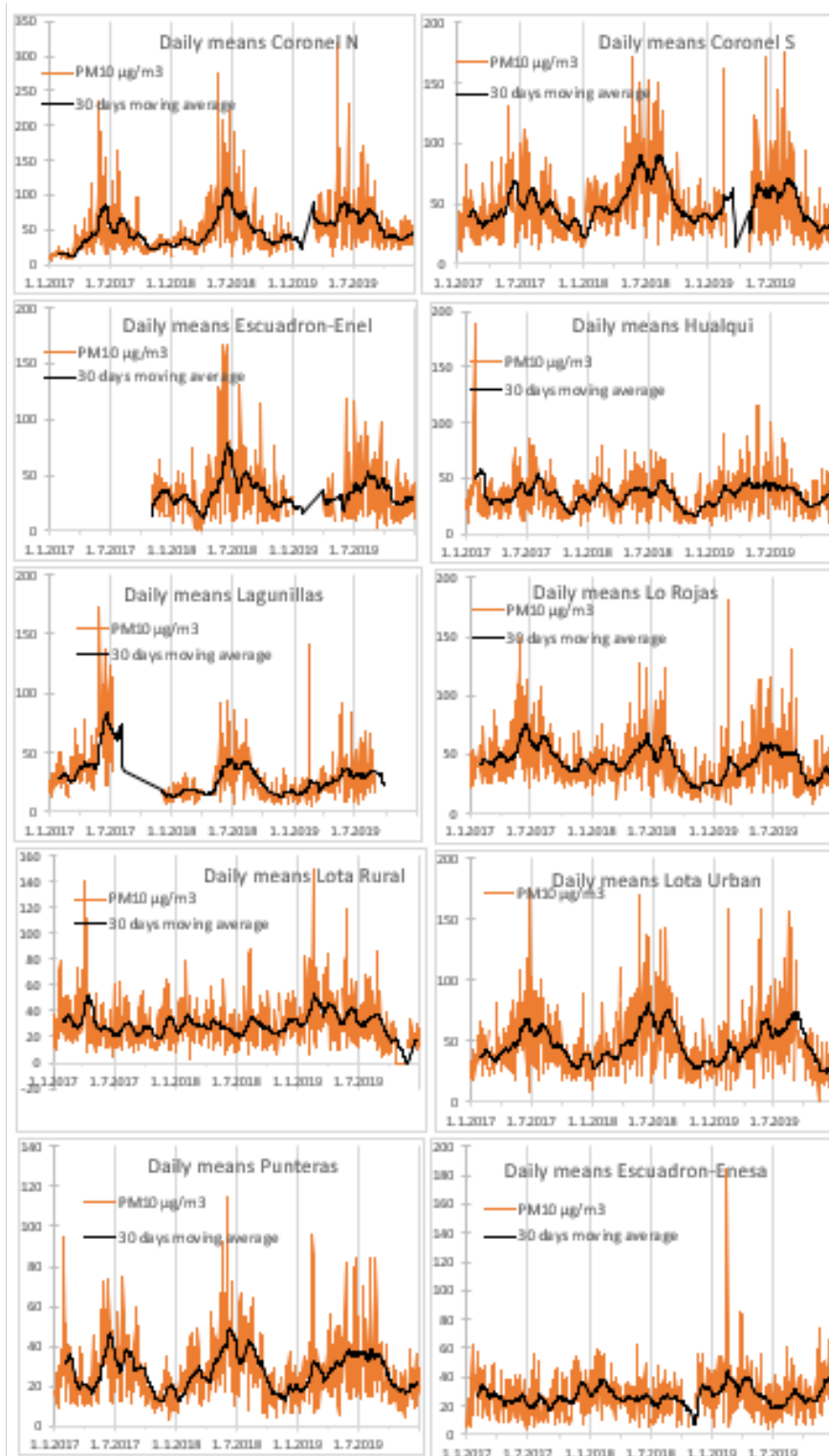


Figura 17. Valores diarios de MP_{10} con una línea de tendencia (30 días de media deslizando, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 10 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

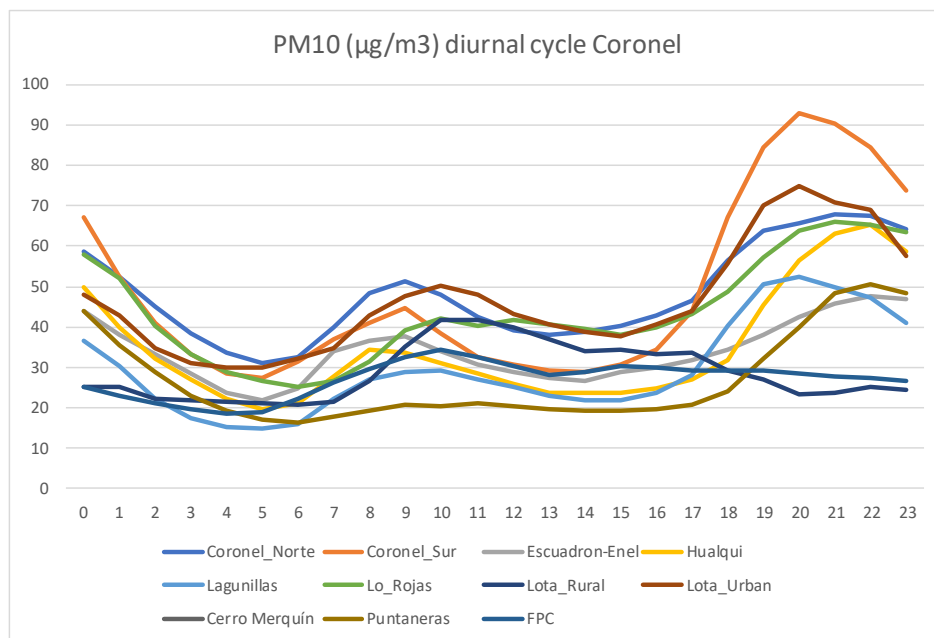


Figura 18. Ciclo diario de los valores de concentración de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 11 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

3. Óxidos de nitrógeno (NO_2 , NO y NO_x)

Los óxidos de nitrógeno (NO_2 , NO y NO_x) se monitorearon en ocho estaciones en 2017–2019. Las medias anuales son bastante bajas, muy por debajo del valor límite anual de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la OMS (Figuras 19, 20 y 21). Por lo tanto, la red de monitoreo de NO_2 en la zona es de gran tamaño y se puede realizar el monitoreo con muchas menos estaciones. Parece haber algunos problemas con la calidad de los datos. Según las series cronológicas anuales, horarias, diarias y diurnas (Figuras 19, 22, 23, 24) se pueden señalar los siguientes puntos:

- Varias estaciones tienen problemas de cobertura de datos con datos faltantes: Coronel Norte, Coronel Sur, Lagunillas, Lo Rojas y Lota Urbana.
- Se parecen a los «datos brutos», que no han sido validados y corregidos en base a las calibraciones (por ejemplo, Hualqui, Lo Rojas).
- No está claro lo que ocurre con el nivel cero, si los analizadores están deslizando, si hay algunas dificultades en el proceso de calibración o algo más.
- Hay un cambio sustancial (sospechoso) en los niveles de concentración en Lota Urbana a finales de 2019.
- Hay *peaks* máximos que son muy altos comparados con otros valores de conjuntos de datos, sean o no correctos (por ejemplo, Coronel Norte en 2017),
- Las variaciones diurnas (horas punta de tráfico por la mañana y por la tarde) parecen realistas.
- Las concentraciones de NO_2 son mayores en los meses de invierno, probablemente debido a las condiciones meteorológicas, ya que las emisiones son las mismas durante todo el año.

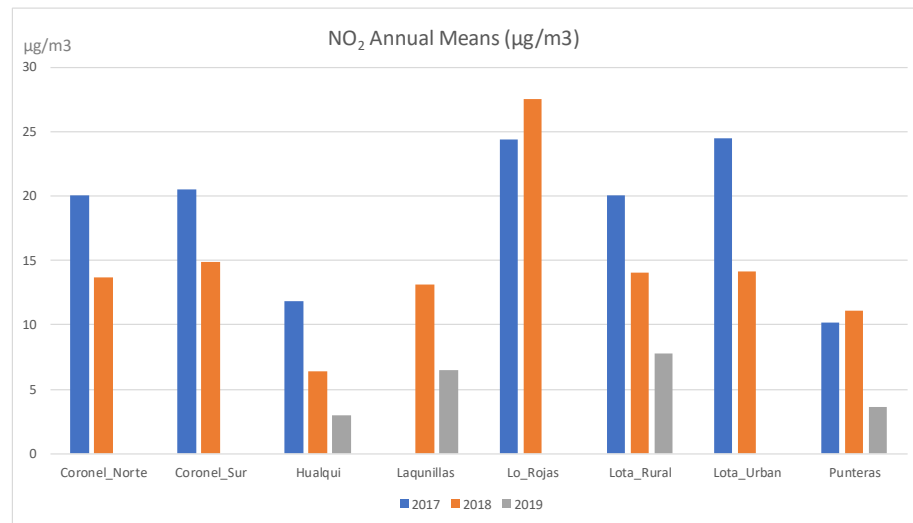


Figura 19. Valores medios anuales de NO₂ (µg/m³) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a problemas de calidad de los datos, a la falta de datos o a la escasa cobertura de los mismos.

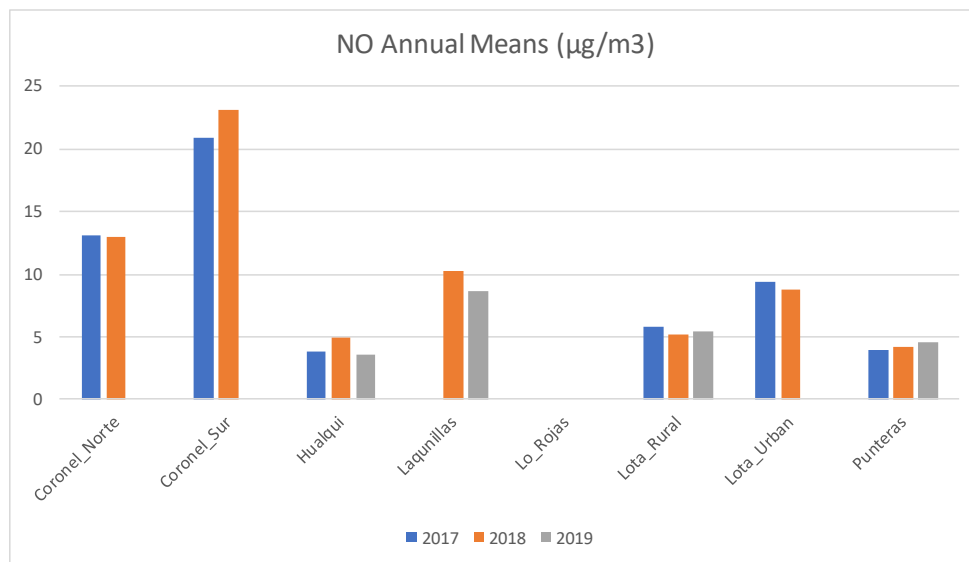


Figura 20. Valores medios anuales de NO (µg/m³) medidos en 7 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a problemas de calidad de los datos, a la falta de datos o a la escasa cobertura de los mismos.

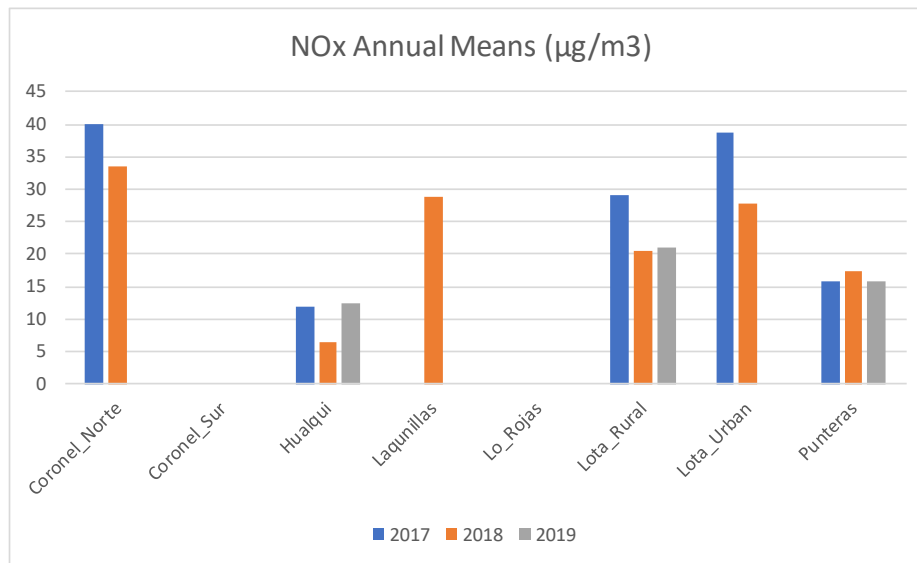


Figura 21. Valores medios anuales de NOx ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a problemas de calidad de los datos, a la falta de datos o a la escasa cobertura de los mismos.

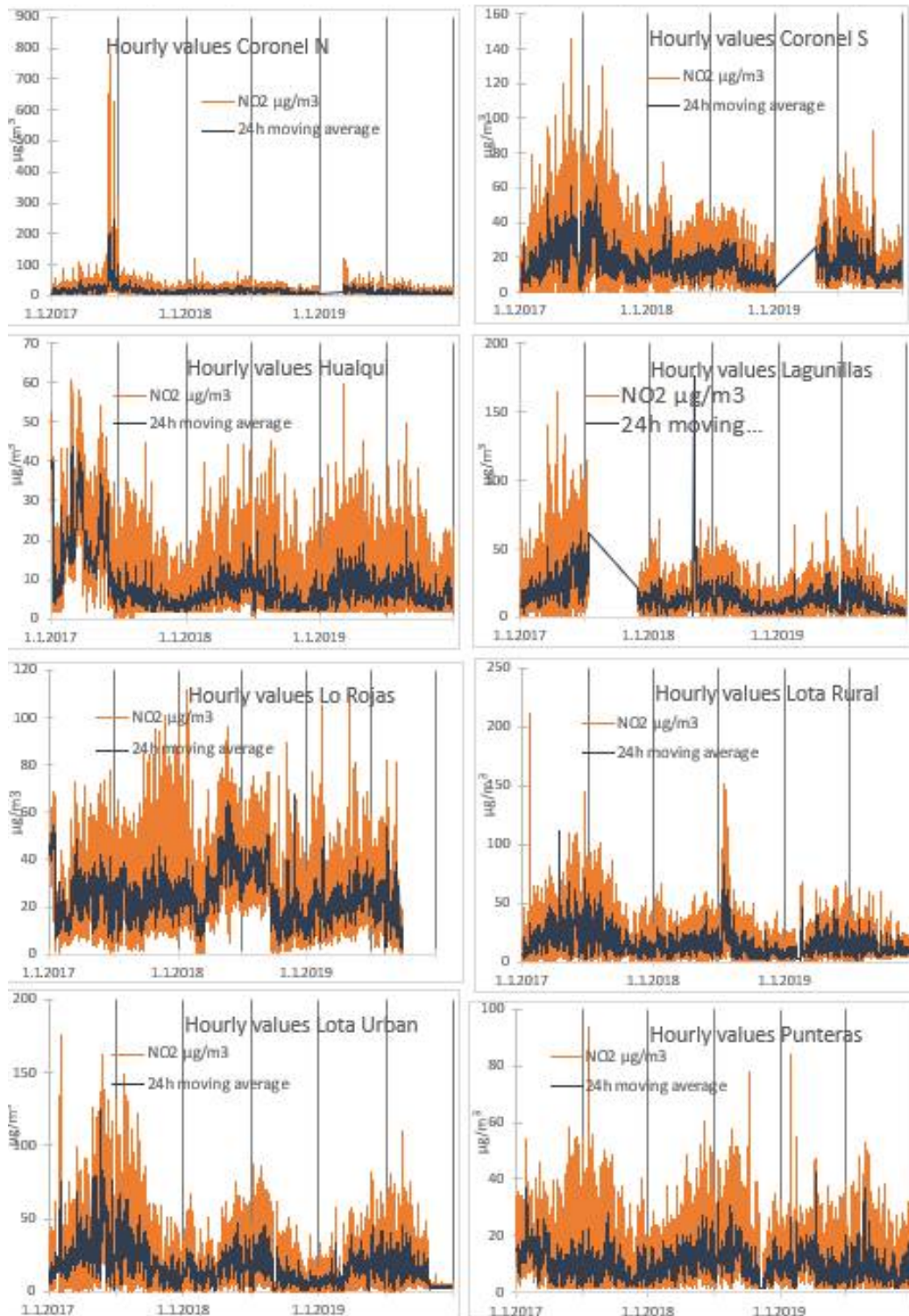


Figura 22. Valores por hora de NO₂ (µg/m³) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

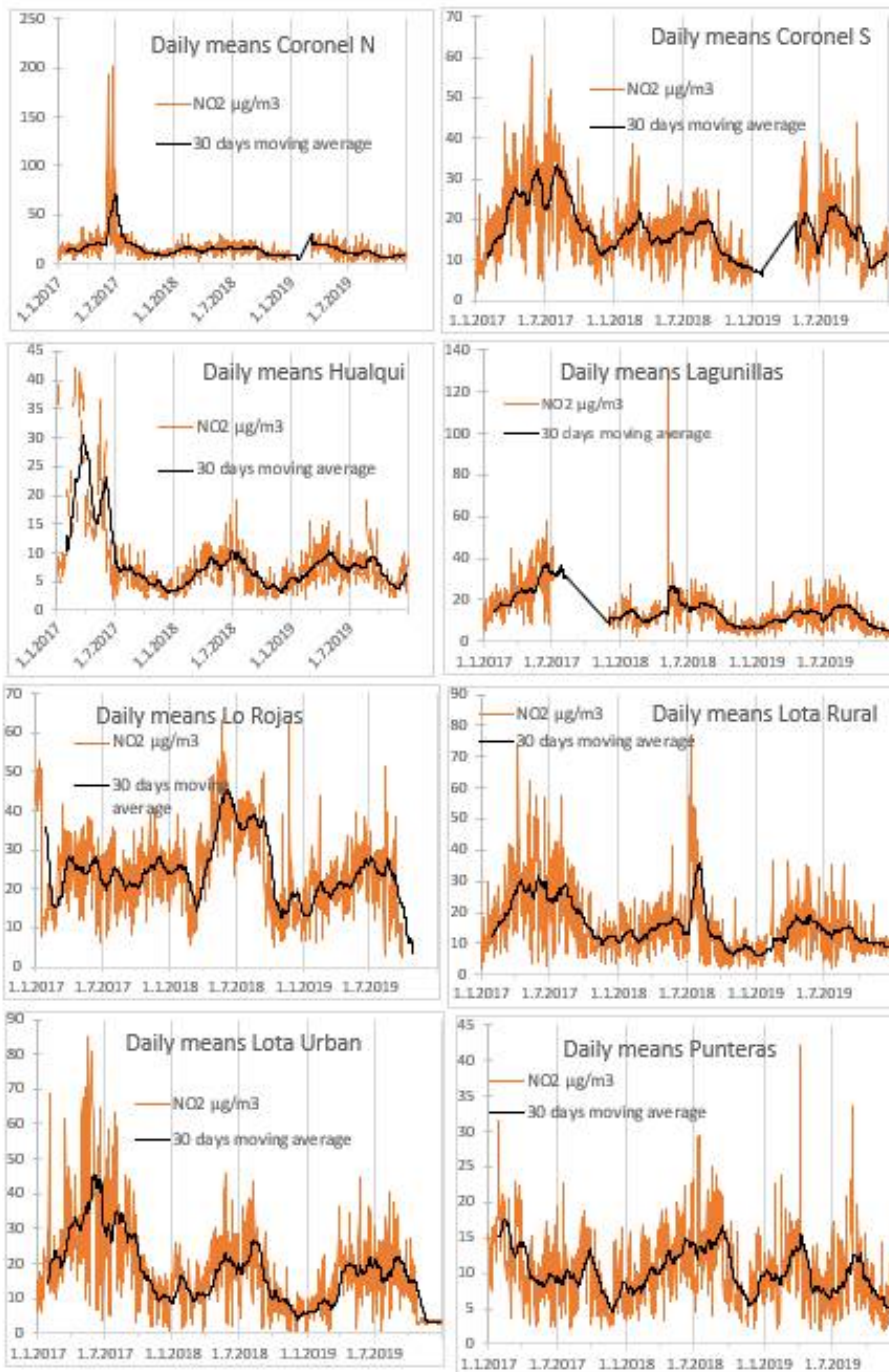


Figura 23. Valores diarios de NO₂ con una línea de tendencia (30 días de media deslizando, µg/m³) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

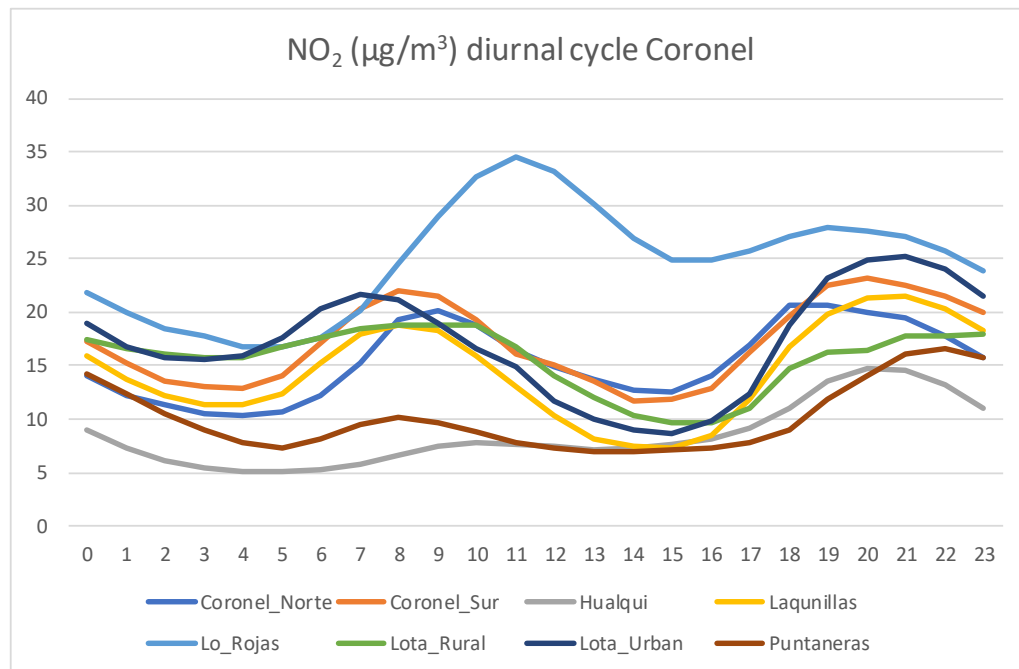


Figura 24. Ciclo diario de los valores de concentración de NO₂ (µg/m³) medidos en 8 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

Los datos se beneficiarían de un mejor proceso de validación. Se supera un par de veces el valor orientativo horario de la OMS (200 µg/m³), pero es posible que los excesos puedan ser registros erróneos (*Figura 22*). Normalmente, el tráfico por carretera tiene el mayor impacto en los niveles de NO₂. Las emisiones de NO_x de la industria y la producción energética a menudo se liberan a través de chimeneas altas cuando se dispersan de forma efectiva y su impacto en la calidad del aire local cerca de la instalación es bajo.

La variación diaria parece ser muy adecuada para los entornos de tráfico: peaks de mañana y tarde. Las estaciones de Punteras y Hualqui no tienen peaks tan fuertes (*Figura 24*).

4. Ozono (O₃)

El O₃ se monitoreó en seis instalaciones en 2017–2019. Los datos de monitoreo del O₃ parecen tener problemas de calidad con la cobertura de datos/datos incompletos y el nivel cero. No obstante, los niveles de concentración son bajos. Normalmente, las concentraciones de ozono son más altas cuando no hay fuentes directas de emisión cerca y el ozono no se consume en los procesos de transformación química con otros contaminantes. Las concentraciones de ozono también tienden a ser más elevadas en altitudes más altas.

De acuerdo con la serie temporal horaria (*Figura 27*), se pueden observar los siguientes puntos:

- La cobertura de datos de Hualqui y Lota Rural es buena. Sin embargo, en otras estaciones falta una cantidad considerable de datos.

- Los datos tienen importantes problemas con el nivel cero, que no parece estar fijado en el lugar correcto. Parece haber algunas oscilaciones sistemáticas en niveles cero en casi todas las estaciones, especialmente en Lota Rural y Lota Urbana, donde este cambio puede causar una gran incertidumbre en las concentraciones medidas.
- Los datos se parecen a los «datos brutos», que no han sido validados y corregidos en base a las calibraciones.
- A pesar de los problemas de datos, la variación diurna (*Figura 26*) muestra un buen proceso de formación de ozono en todas las instalaciones. Los peaks se producen en el período fotoquímicamente intenso del mediodía.

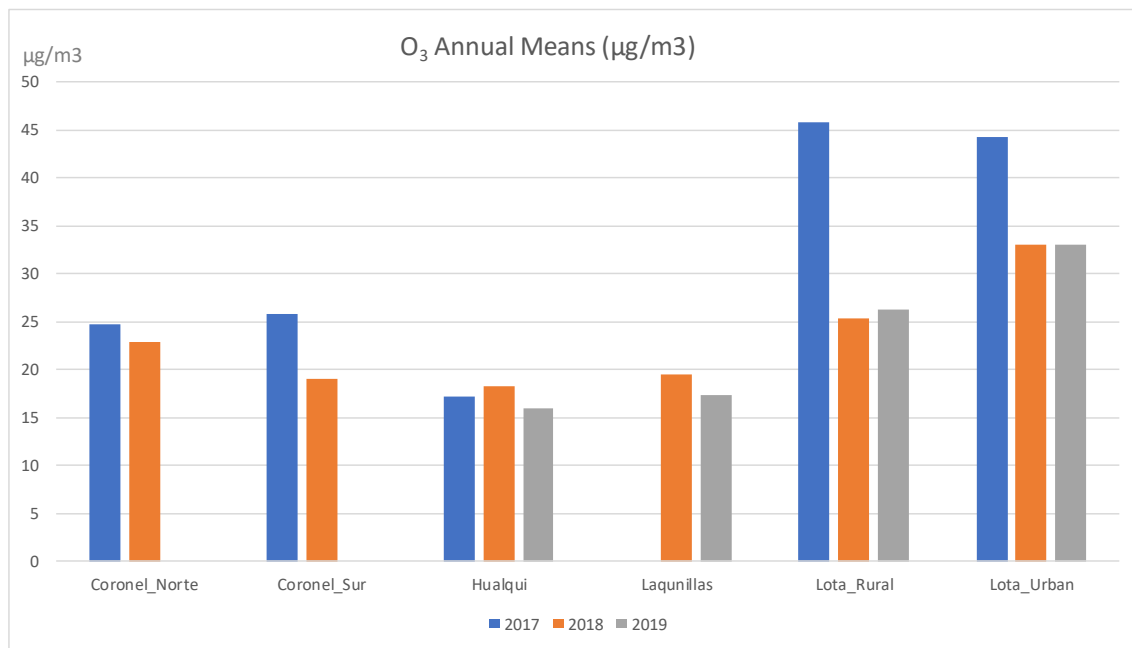


Figura 25. Valores medios anuales de O₃ (µg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a problemas de calidad de los datos, a la falta de datos o a la escasa cobertura de los mismos.

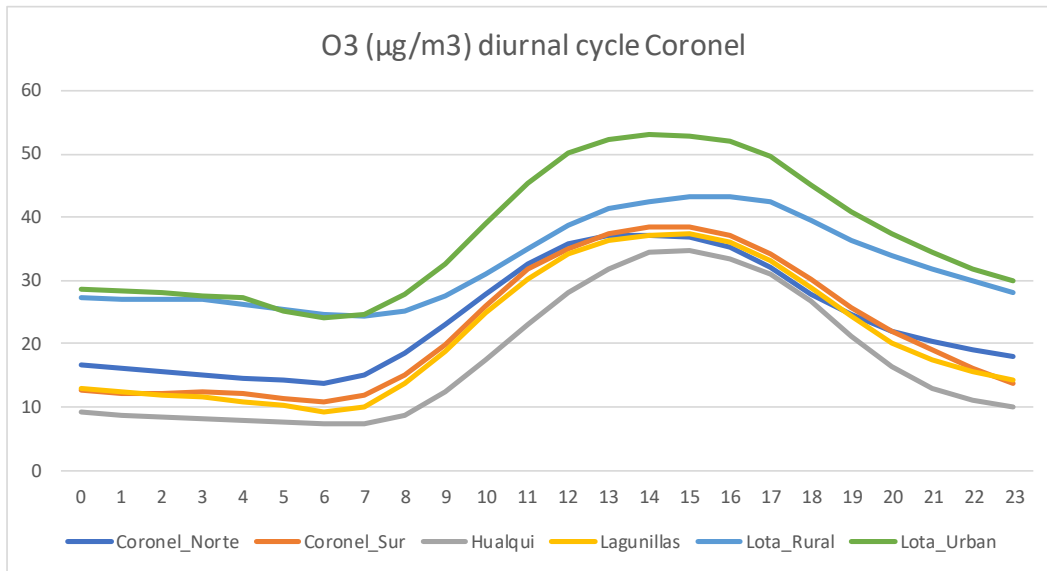


Figura 26. Ciclo diario de los valores de concentración de O₃ (µg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

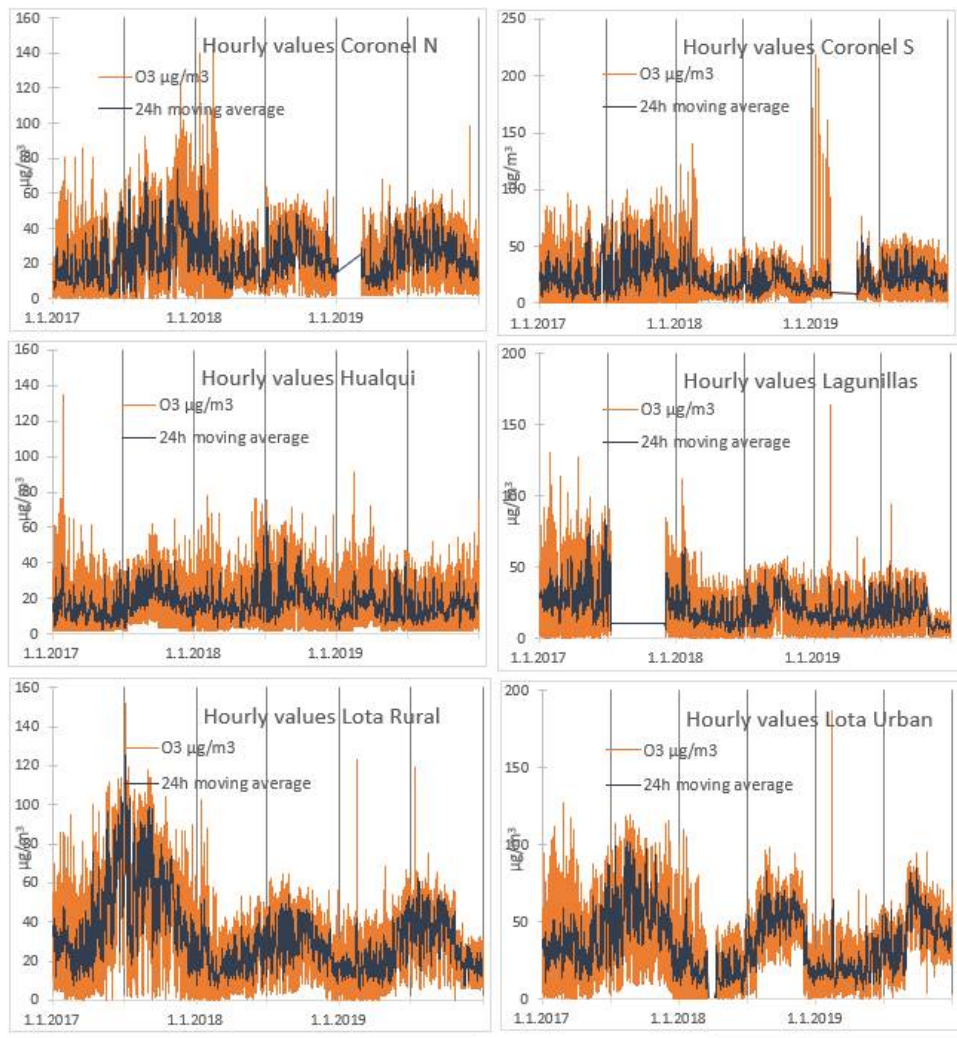


Figura 27. Valores por hora de O₃ (µg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

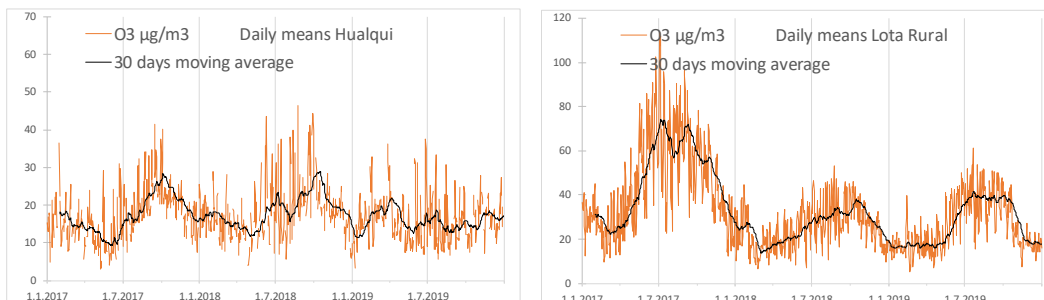


Figura 28. Ejemplos de valores diarios de O₃ (µg/m³) de las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Hualqui y Lota Rural en el área de Coronel en 2017-2019.

5. Monóxido de carbono (CO)

El CO se monitoreó en seis instalaciones (Coronel Norte, Coronel Sur, Lagunillas, Lo Rojas, Lota Rural y Lota Urbana) en 2017–2019. Parece que el nivel cero de los analizadores de Lota Urbana, Lota Rural y Lo Rojas está fuertemente desviado (*Figura 29*). La mejora del proceso de validación de los datos sería beneficiosa para conciliar el desvío del nivel cero y corregir los datos en consecuencia.

Los valores de referencia de la OMS (valor medio horario de 30 mg/m³, media deslizando de 10 mg/8 horas) no superan los resultados del monitoreo (*Figura 30*). La estación de Coronel Sur tiene concentraciones máximas muy altas medidas a principios de 2019 que no parecen realistas en comparación con las otras mediciones, por lo que es probable que sean datos erróneos. Los datos de Lo Rojas también tienen claros problemas de calidad, faltan datos y el nivel cero no está establecido.

La mayoría de las estaciones muestran una variación diurna típica para el CO, los peaks de tráfico de la mañana y la tarde (*Figura 31*). En base a los niveles bajos de concentración de CO medidos en la zona, no sería necesario medir el CO en muchas estaciones. Por lo tanto, se recomienda reducir considerablemente el número de estaciones de medición que miden el CO en la zona.

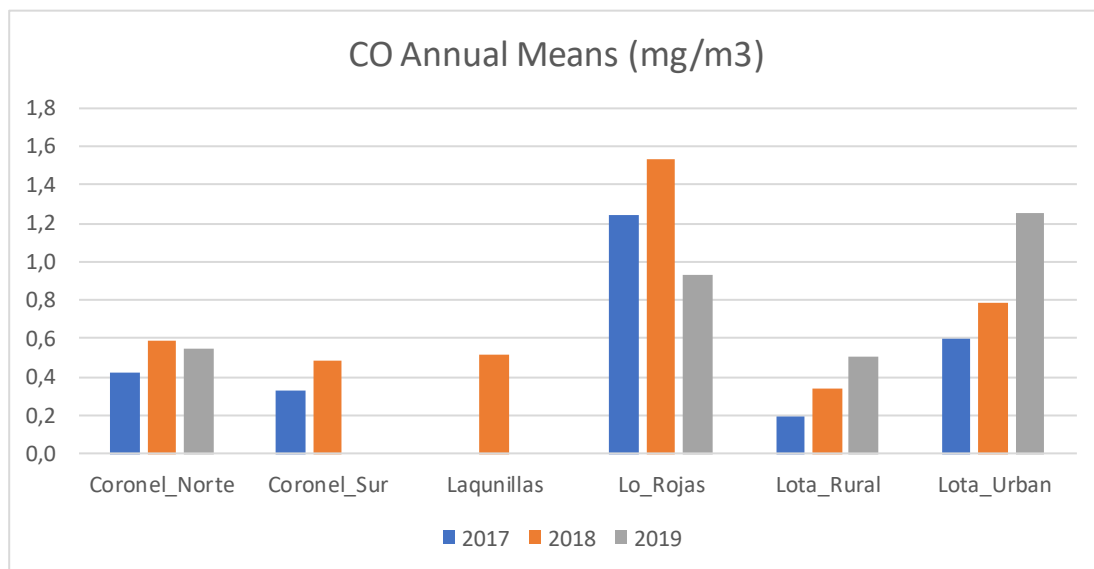


Figura 29. Valores medios anuales de CO (mg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a problemas de calidad de los datos, a la falta de datos o a la escasa cobertura de los mismos.

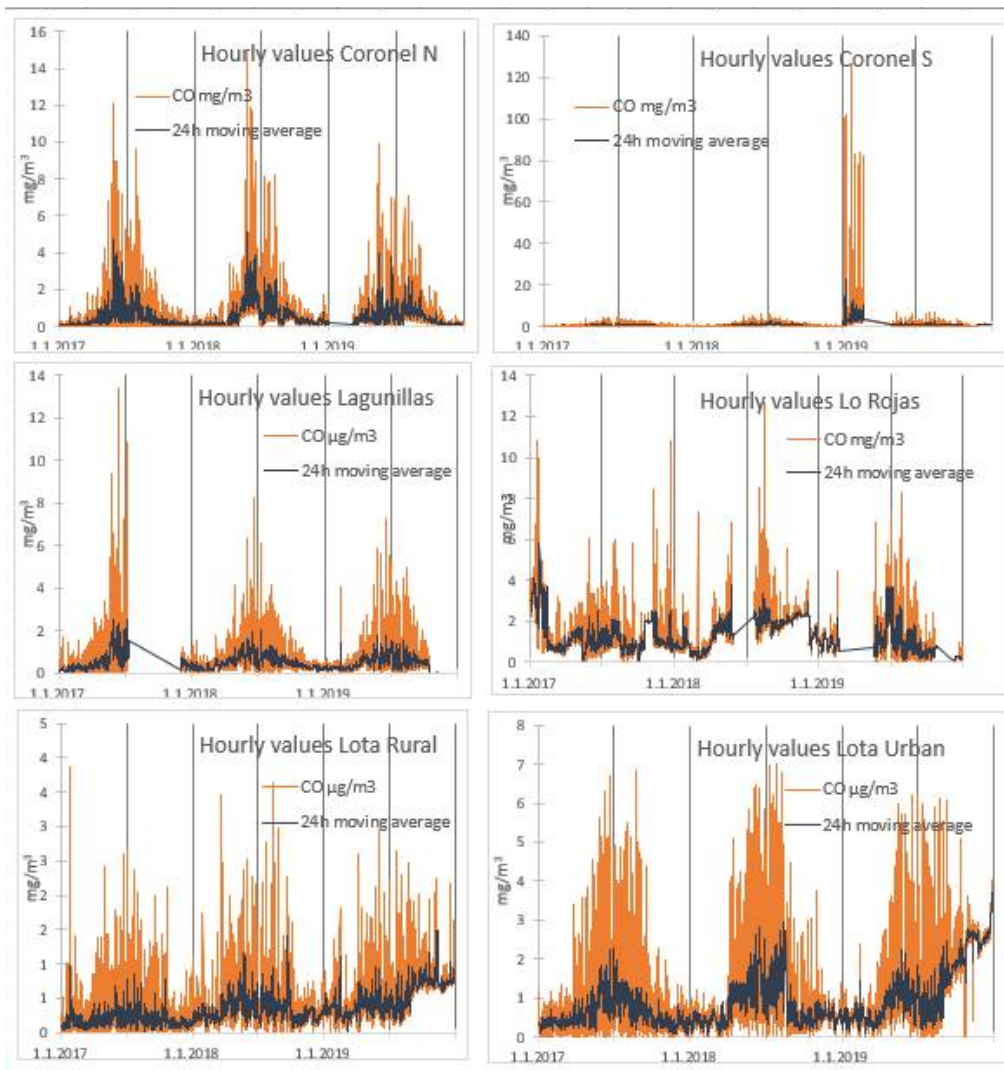


Figura 30. Valores por hora de CO (mg/m³) medidos en 6 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017-2019.

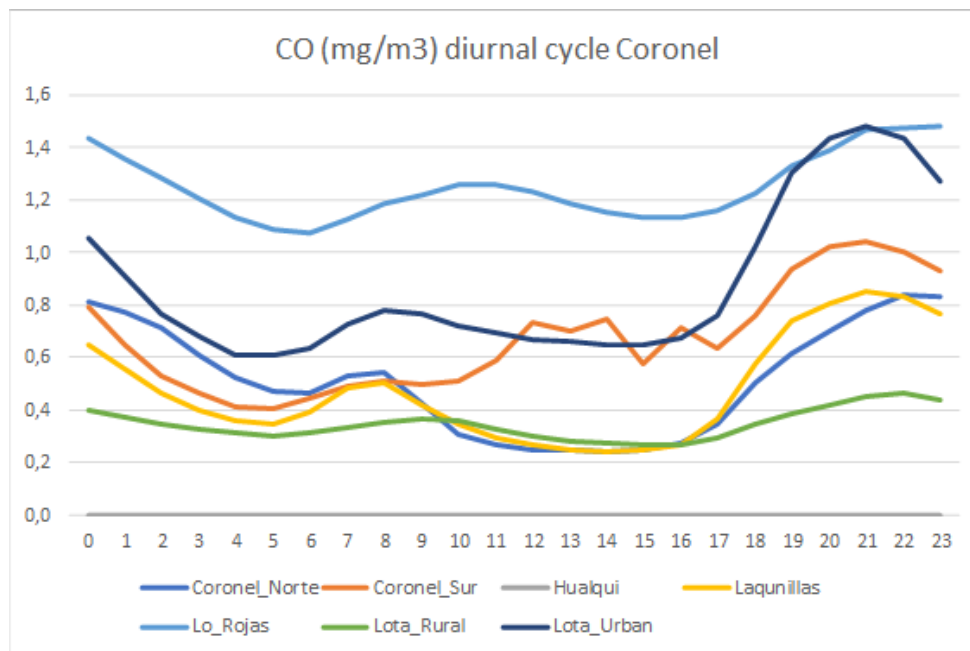


Figura 31. Ciclo diurno de los valores de concentración de CO (mg/m³) medidos en 7 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Coronel en 2017–2019.

6. Hidrocarburos no metánicos (HCNM) y metano (CH₄)

El monitoreo de los HCNM y el CH₄ se realizó en dos instalaciones: Coronel Norte y Coronel Sur en 2017-2019.

El NH₄ (metano) no se considera un contaminante del aire en la Unión Europea y no tiene valor límite. Por lo tanto, no se evalúa con más detalle en el presente informe. El CH₄ es un gas de efecto invernadero, y puede haber otras razones además de la calidad del aire, para controlarlo (es decir, el riesgo de fugas de gas, etc.).

Los valores medios horarios de los HCNM y sus variaciones diurnas se presentan en la *Figura 32* y la *Figura 33*. Los niveles de concentración parecen estar cerca del límite de detección del analizador. Al parecer, hay problemas con el cambio del nivel cero. Así, los datos de las mediciones de HC (hidrocarburos) y HCT (hidrocarburos totales) no parecen realistas.

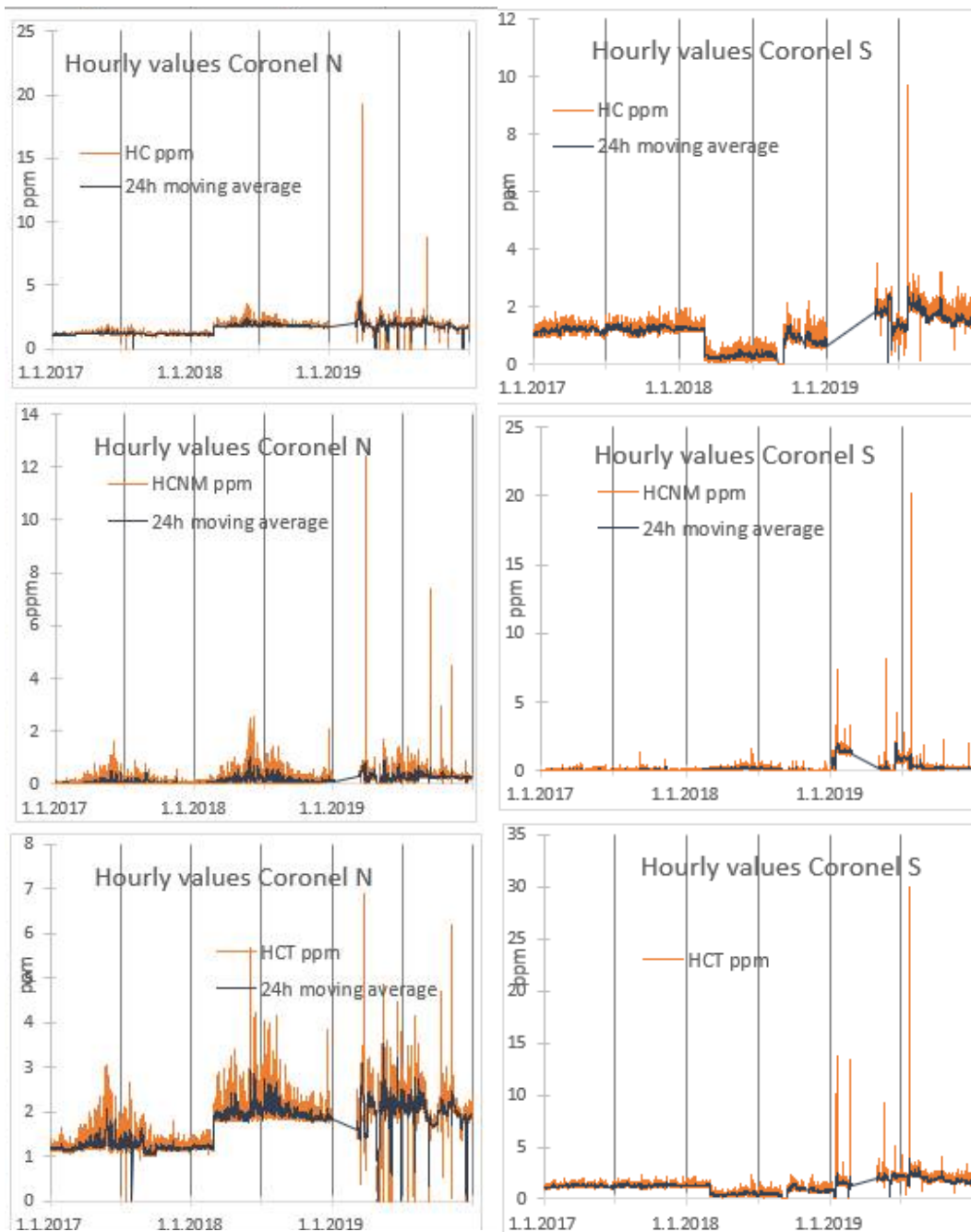


Figura 32. Concentraciones horarias de HC (Hidrocarburos), HCNM (Hidrocarburos no metánicos) y HCT (Hidrocarburos totales (pMP) medidos en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Coronel Norte (izquierda) y Coronel Sur (derecha) en el área de Coronel en 2017-2019.

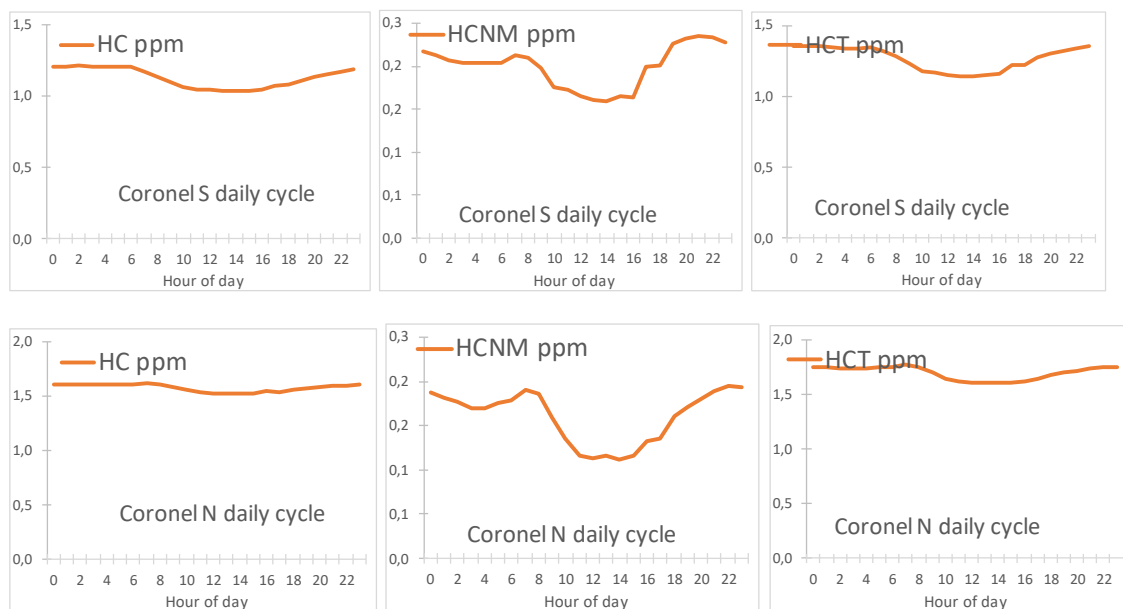


Figura 33. Ciclo diario de los valores de concentración de HC (Hidrocarburos), HCNM (Hidrocarburos no metánicos) y HCT (Hidrocarburos totales) medidos en las estaciones de monitoreo de calidad del aire de Coronel Sur (arriba) y Coronel Norte (abajo) en la zona de Coronel en 2017-2019.

No obstante, se recomienda que, en lugar de examinar las concentraciones totales de Compuestos Orgánicos Volátiles No-Metánicos (COVNM), se examinen las concentraciones de los distintos compuestos o grupos de compuestos que forman los HCNM. De esta manera se pueden estimar las fuentes y es posible evaluar si los niveles de concentración son elevados/exceden los estándares de calidad del aire. En la Unión Europea no existe un valor límite para los COVNM totales, sino un valor límite para el benceno. Normalmente en el análisis de COV, también se analizan otros COV además del benceno, pero no tienen los valores límite con los que comparar los resultados de la medición.

2.1.2. Zona de Huasco

La red de monitoreo de calidad del aire de Huasco consta de catorce (14) estaciones fijas de monitoreo y además 6 puntos de muestreo donde las muestras de aire se recolectan en filtros mensualmente y se analizan algunos elementos (V, Ni y Cr) de las muestras de los filtros. La red de calidad del aire también incluye 1 estación de observación meteorológica EME-ME. Todas las estaciones están ubicadas a 15 kilómetros de distancia de "Guacolda", una gran central eléctrica de carbón de 760 MW en la punta del promontorio de la costa. Siete de las estaciones, EME-F, EME-M, EME-ME, EME-ME, Huasco II, Los Losas, 21 Mayo y Huasco Sívica se ubican en un área de 4x4 kilómetros. El resto de las estaciones, SM-2 - SM-8 se ubican principalmente en el cauce del río Huasco dentro de aproximadamente 10 kilómetros de distancia. Las estaciones "SM" se utilizan solo para monitorear concentraciones de SO₂. Once (11) estaciones de monitoreo miden dióxido de azufre (SO₂), tres (3) óxidos de nitrógeno (NO_x), cuatro (4) estaciones miden materia particulada fina (MP_{2,5}), cinco (5) estaciones miden materia particulada (MP₁₀), dos (2) estaciones miden ozono (O₃) y tres (3) estaciones miden monóxido de carbono (CO). Por lo tanto, la red de monitoreo de calidad del aire y la cantidad de parámetros monitoreados en

el área pueden considerarse muy densa y extensa considerando los niveles poblacionales y de concentración de muchos contaminantes.

1. Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ se monitorea en once (11) sitios de monitoreo en el área de Huasco. Las series de tiempo por hora (*Figura 35*) muestran serios problemas con la calidad de los datos, en parte debido a la deriva del nivel cero y la sensibilidad de los analizadores y las bajas concentraciones.

- Las concentraciones de dióxido de azufre son relativamente bajas (alrededor o por debajo de 5 µg/m³) en el área de Huasco y muy por debajo del nivel de referencia diario de la OMS (24 horas) (20 µg/m³). Hay algunas superaciones en el conjunto de datos de las estaciones SM-2 y SM-3, pero debido a la mala calidad de los datos, existen serias dudas sobre si estas superaciones son correctas.
- La evaluación de la tendencia de los niveles de concentración de SO₂ es un desafío debido a la mala calidad de los datos.
- Todas las estaciones parecen tener problemas de calidad de datos. Los niveles cero no están establecidos y hay valores de concentración muy a la deriva, poco realistas y cambios bruscos y repentinos de los niveles de concentración que pueden verse en los datos de concentración por hora (*Figura 35*).
- Parece haber un problema con la sensibilidad de los analizadores para detectar las concentraciones bajas.
- Los datos parecen tener ciclos diurnos realistas. Parece haber un peak en la mañana hasta el mediodía (posiblemente debido a las condiciones meteorológicas y reacciones fotoquímicas). Sin embargo, las estaciones SM-1 y SM-2 son excepciones a esto con peaks de concentración matutinos y vespertinos.
- Es difícil realizar un análisis más profundo de los datos debido a la mala calidad de los mismos.

Los valores de concentración media anual se presentan en la *Figura 34*, los valores de concentración diaria con un promedio móvil de 30 días en la *Figura 36* y el ciclo diurno de SO₂ en la *Figura 37*.

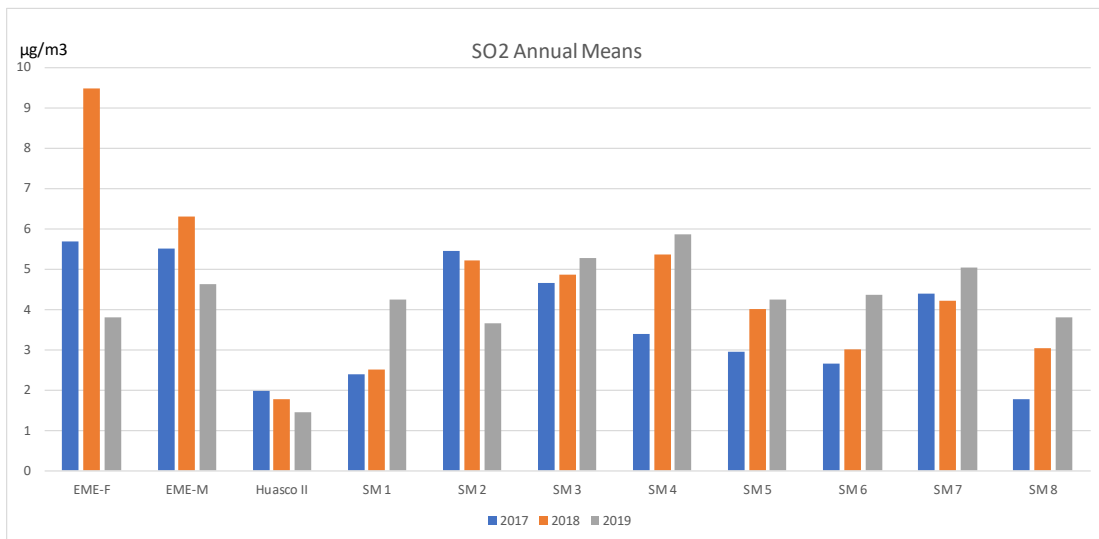


Figura 34. Valores medios anuales de SO₂ (µg /m³N) medidos en 11 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Parece haber una gran incertidumbre en los datos debido a problemas de mala calidad de los mismos.

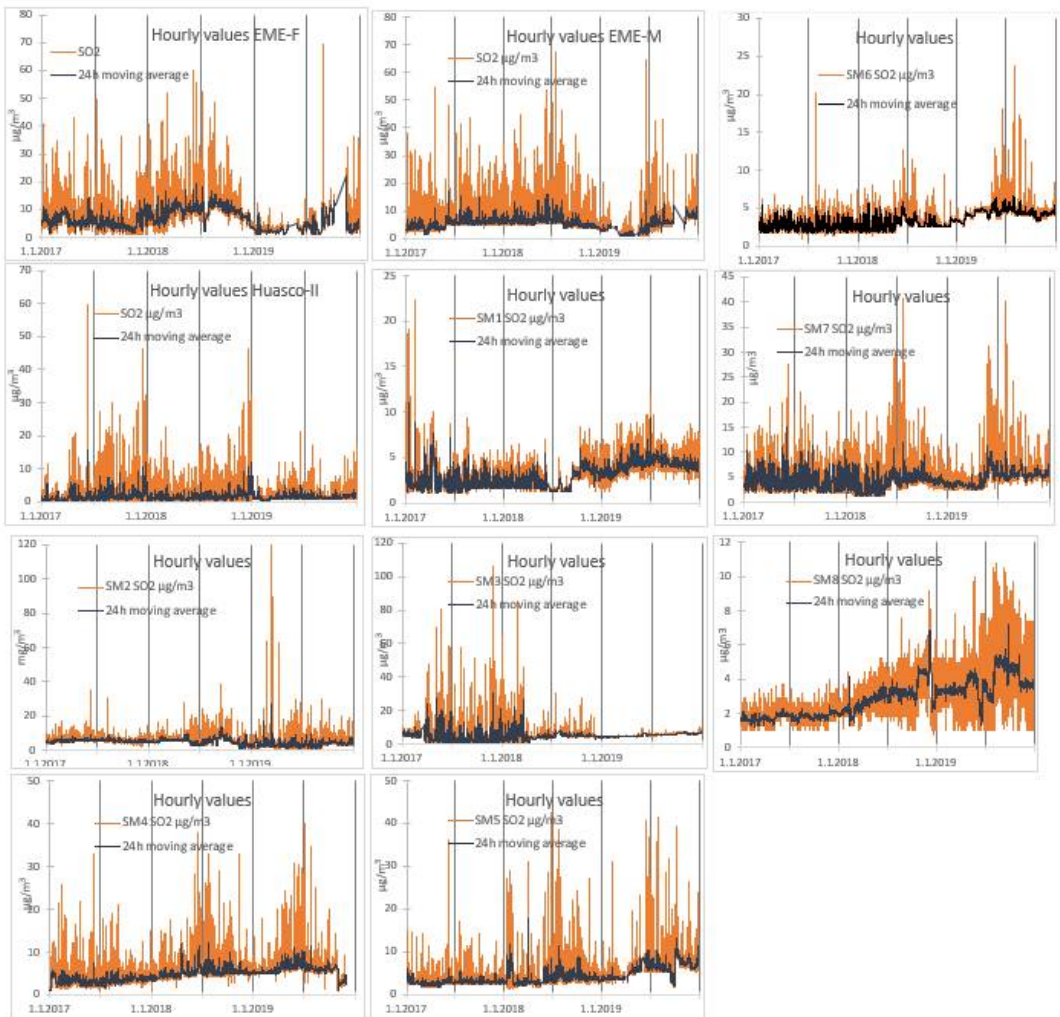


Figura 35. Valores medios horarios de SO₂ (µg / m³N) medidos en 11 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

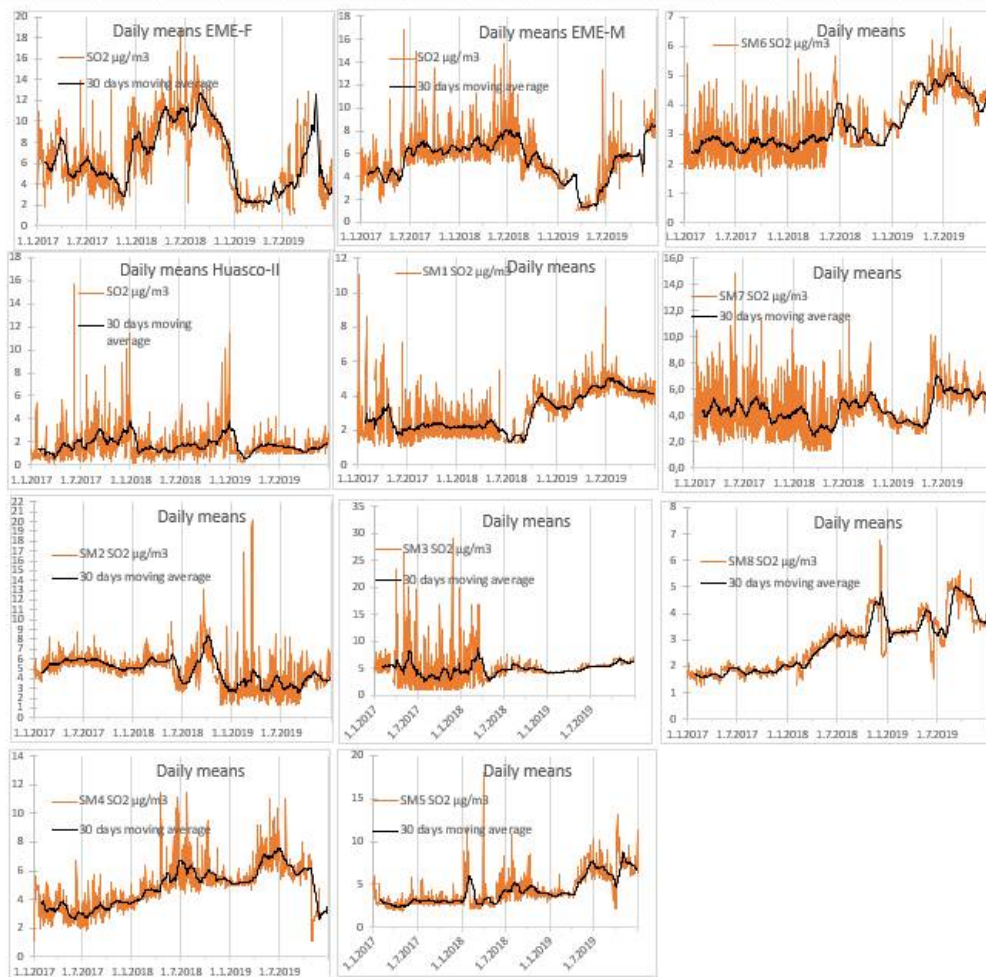


Figura 36. Valores medios diarios de SO₂ (µg/m³N) con línea de tendencia para 30 días promedio móvil medido en 11 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

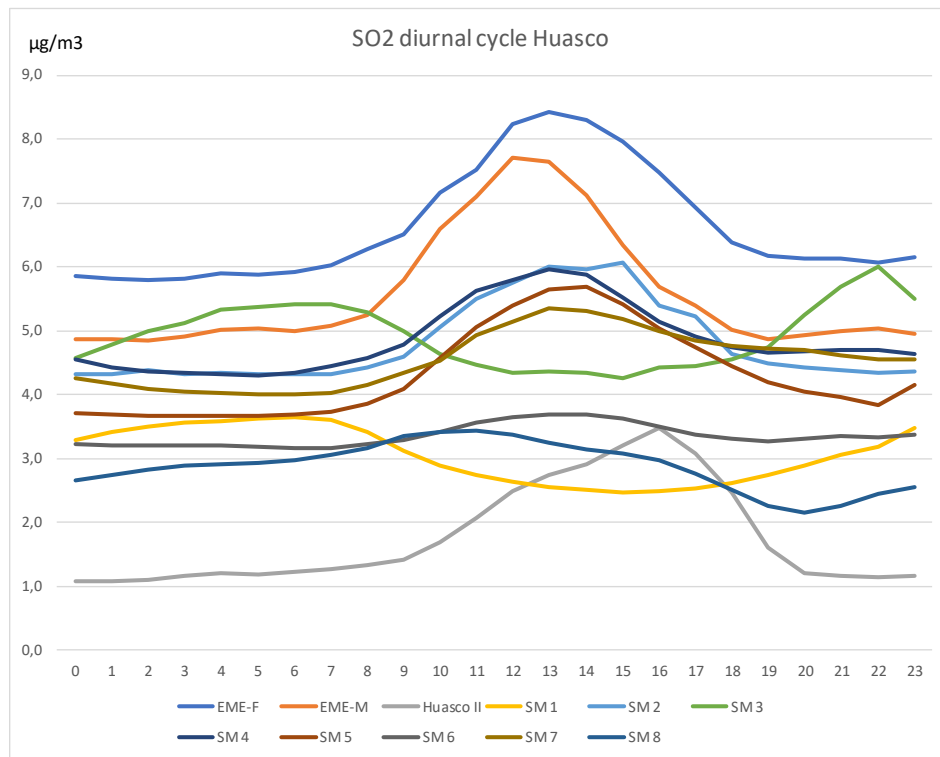


Figura 37. Ciclo diario de concentraciones de SO₂ (µg /m³N) de las 11 estaciones de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

En la *Figura 38* se presentan las rosas de concentración de SO₂ en estaciones de calidad del aire seleccionados. Las rosas de concentración se pueden utilizar para analizar las posibles fuentes de contaminación. Con las rosas de concentración es posible definir las direcciones del viento con las concentraciones más altas de SO₂ medidas en la estación de monitoreo. Según las rosas de concentración, no parece haber una dirección clara del viento predominante con las concentraciones más altas. Esto también puede deberse a las altas incertidumbres y la mala calidad de los datos de seguimiento.

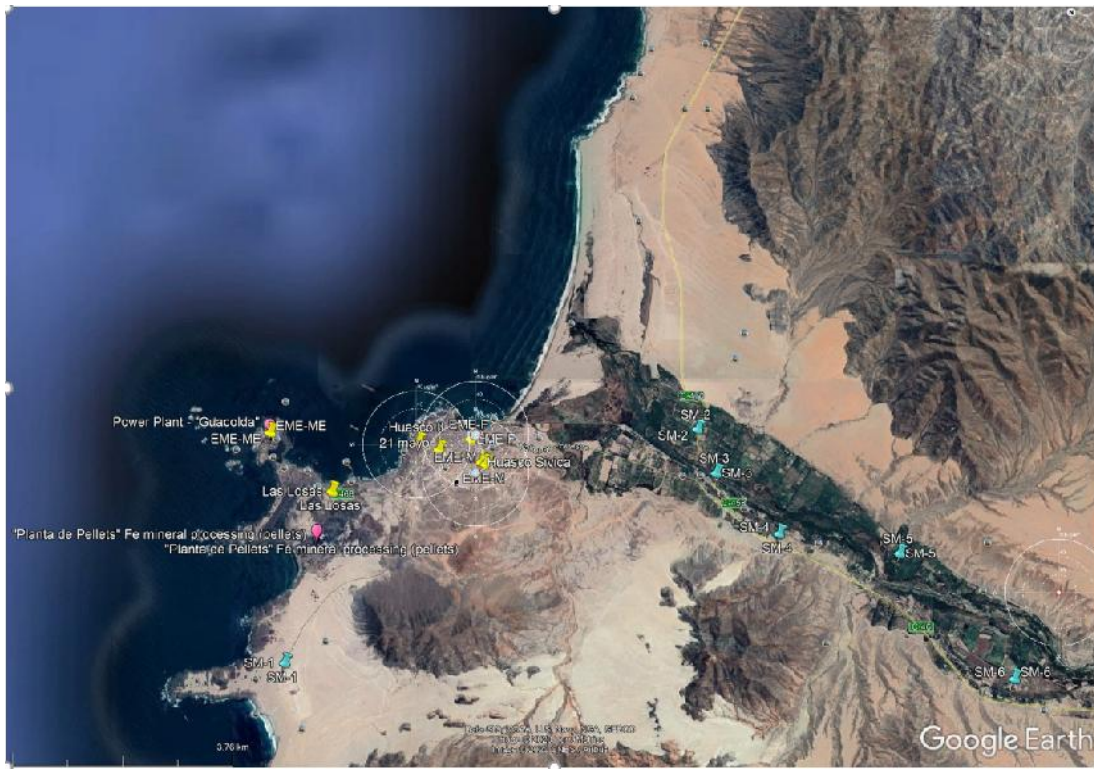


Figura 38. Rosas de concentración de SO₂ ($\mu\text{g} / \text{m}^3\text{N}$) de estaciones de calidad del aire seleccionadas en el área de Huasco. El aumento de concentración indica de qué sectores eólicos provienen las mayores concentraciones. Las rosas de concentración representan la calidad del aire y los datos meteorológicos en 2017-2019.

Las 11 estaciones de calidad del aire que operan actualmente no son necesarias para tener suficiente información de los niveles de concentración de SO₂ y su variación en el área. Por lo tanto, muchas menos estaciones de monitoreo de SO₂ son suficientes para el área. Es muy importante mejorar la calidad de los datos de monitoreo.

2. Material particulado (MP_{2,5} y MP₁₀)

MP_{2,5}

El MP_{2,5} es monitoreado con analizadores continuos en 4 sitios (EME-F, EME-M, 21 de Mayo y Huasco Sívica) en el área de Huasco. De acuerdo con las series de tiempo por horas y días (*Figura 40 y 41*), promedios anuales (*Figura 39*) y variaciones diurnas (*Figura 43*), los datos de seguimiento parecen buenos en general.

- Los niveles anuales de concentración de MP_{2,5} son moderados, alrededor de 10-14 $\mu\text{g} / \text{m}^2$ (que excede la recomendación anual de la OMS de 10 $\mu\text{g} / \text{m}^3$) en el área de Huasco. Hay algunas superaciones ocasionales de la recomendación diaria de la OMS de 25 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ en casi todas las estaciones. No se excede la Norma Nacional para el valor medio diario de MP_{2,5} (50 $\mu\text{g} / \text{m}^3$).
- Las estaciones EME-F y EME-M tienen lagunas de datos faltantes durante el período de medición de tres años.

- Parece haber algunos valores de concentración *peak* ocasionalmente altos (200–300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), no está claro si esos son valores verdaderos o no.
- Los niveles de concentración entre las diferentes estaciones de calidad del aire son similares. Eso indica que el nivel de concentración medido es principalmente concentración de fondo regional (posiblemente partículas transportadas de largo alcance) y no hay muchas fuentes de emisión locales que impacten en las concentraciones de $\text{MP}_{2,5}$.
- Las concentraciones no tienen una fuerte variación estacional, sin embargo, las concentraciones tienden a ser un poco más altas durante los meses de invierno.

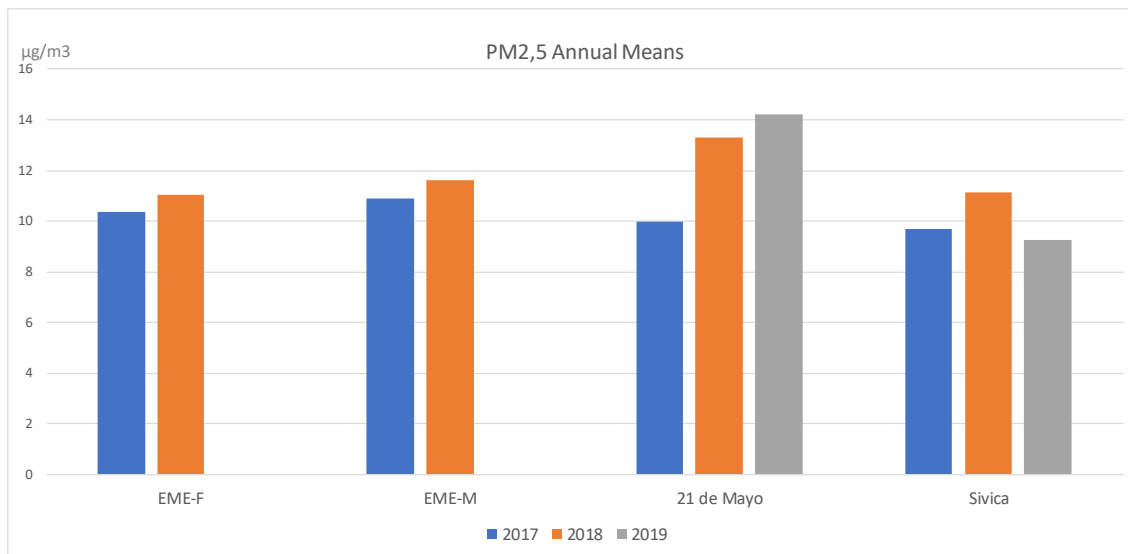


Figura 39. Valores medios anuales de $\text{MP}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Se ha eliminado el promedio anual para 2019 de las estaciones EME-F y EME-M debido a la escasa cobertura de los datos.

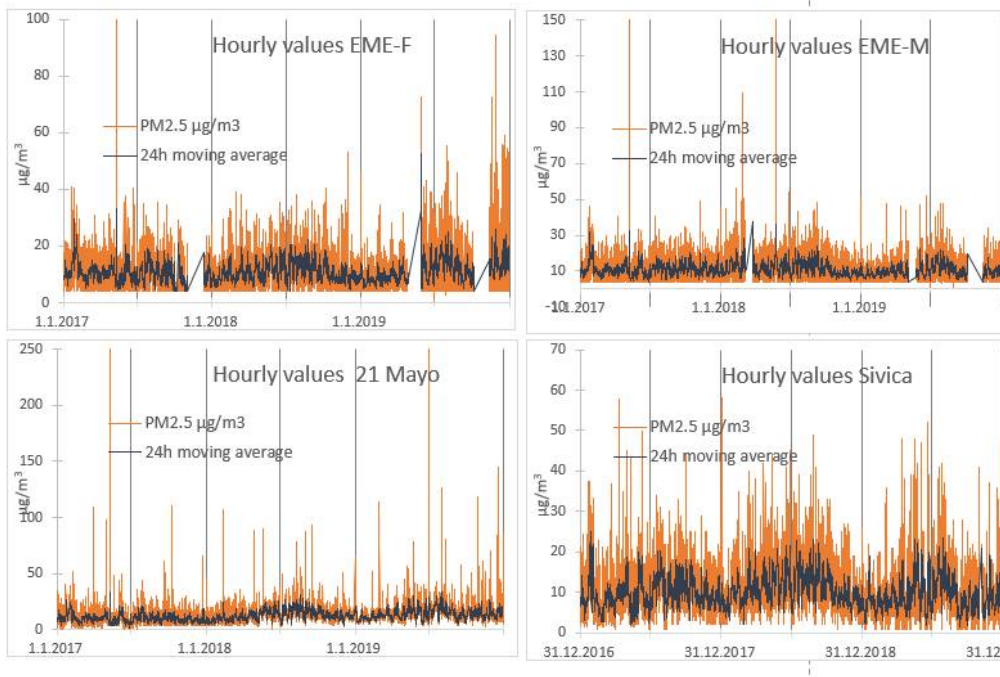


Figura 40. Valores de MP_{2.5} por hora (µg /m³) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

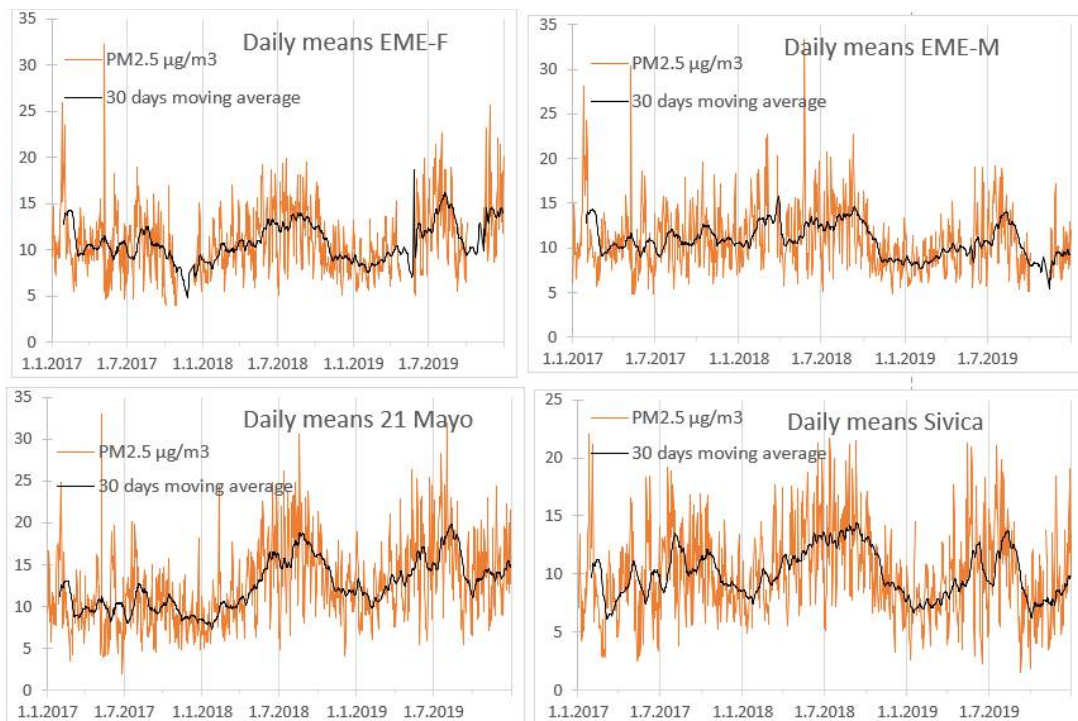


Figura 41. Valores diarios de MP_{2.5} con una línea de tendencia (promedio móvil de 30 días, µg /m³) medidos en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

Las rosas de las concentraciones de $MP_{2,5}$ se presentan en la *Figura 42*. Las rosas de contaminación indican de qué sectores de viento provienen las concentraciones más altas. Sin embargo, en el caso de Huasco, las rosas de concentración no identifican la dirección del viento predominante para la concentración más alta. En cambio, parece que las concentraciones de $MP_{2,5}$ están distribuidas por igual en el área, por lo que el nivel de concentración de fondo regional es aproximadamente el mismo en toda el área. Así, esto significa que las fuentes locales no tienen un impacto fuerte en la concentración de $MP_{2,5}$ en el área.



Figura 42. Rosas de contaminación por $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) basado en mediciones en 3 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. El aumento de la contaminación indica de qué sectores eólicos provienen las mayores concentraciones.

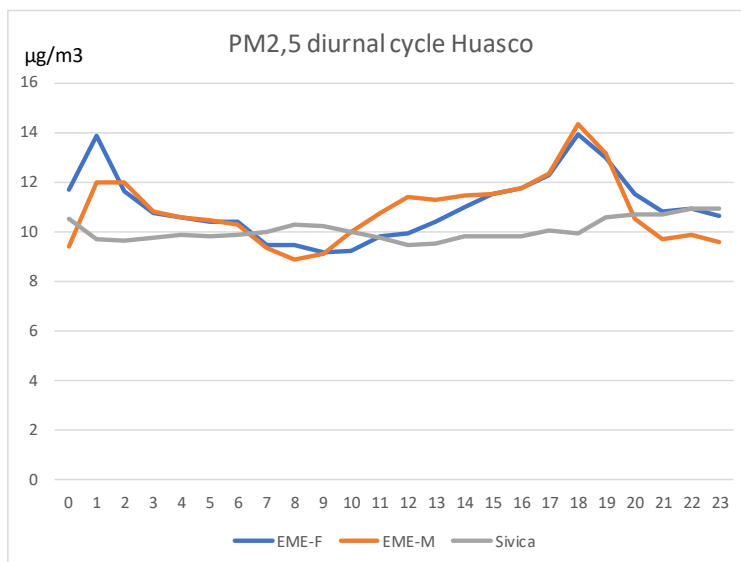


Figura 43. Ciclo diario de los valores de concentración de $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) medidos en 3 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

MP₁₀

El MP_{10} se monitorea con analizador continuo en 1 sitio de monitoreo (21 de Mayo) y promedios diarios gravimétricamente cada tres días en 4 sitios de monitoreo (EME-F, EME-M, Huasco-II, Las Losas) en el área de Huasco en 2017-2019. De acuerdo con las series de tiempo por horas y días (*Figuras 45 y 46*), promedios anuales (*Figura 44*) y variaciones diurnas (*dato no mostrado*), los datos de seguimiento parecen ser buenos en general. Sin embargo, la mayor parte del monitoreo de MP_{10} se realiza mediante muestreo diario y análisis gravimétrico, por lo que no es posible analizar en detalle, por ejemplo, la variación diurna de la concentración de MP_{10} y no es posible proporcionar información en línea sobre los niveles de concentración de MP_{10} .

- Los niveles de concentración son altos (media anual 30-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en el área de Huasco, se superan las recomendaciones anuales y diarias de la OMS (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) en cada estación.
- Las concentraciones están aproximadamente en el mismo nivel en todas las estaciones, no hay muchas diferencias entre las estaciones. Las diferencias anuales son bastante grandes en algunas de las estaciones (Las Losas y Huasco II).
- Hay una variación estacional visible, pero no fuerte, de las concentraciones. La mayor concentración se encuentra en septiembre-diciembre, en temporada de primavera-verano.
- Parece haber *peaks* de concentración bastante altos de aprox. 100 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
- La variación diurna no se puede evaluar a partir de las mediciones gravimétricas que se basan en un muestreo diario, las muestras se toman cada 3 días.
- El MP_{10} y $MP_{2,5}$ no se correlacionan fuertemente. Por lo tanto, parece que las emisiones de MP_{10} son causadas principalmente por fuentes / actividades diferentes a las que causan el $MP_{2,5}$ (*Figura 47*).

- Las posibles fuentes de MP_{10} pueden ser el polvo de caminos sin pavimentar y otras superficies polvorientas secas o el polvo del desierto de las áreas alrededor de Huasco.

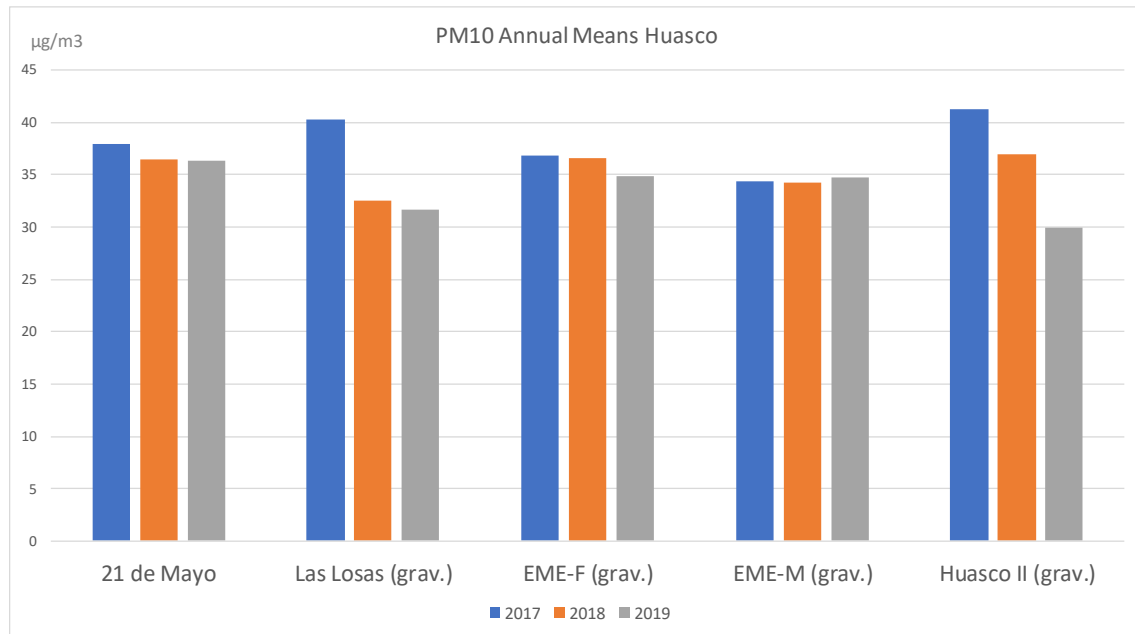


Figura 44. Valores medios anuales de MP_{10} ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire de manera continua en 21 de Mayo y gravimétricamente en todas las demás estaciones del área de Huasco en 2017-2019.

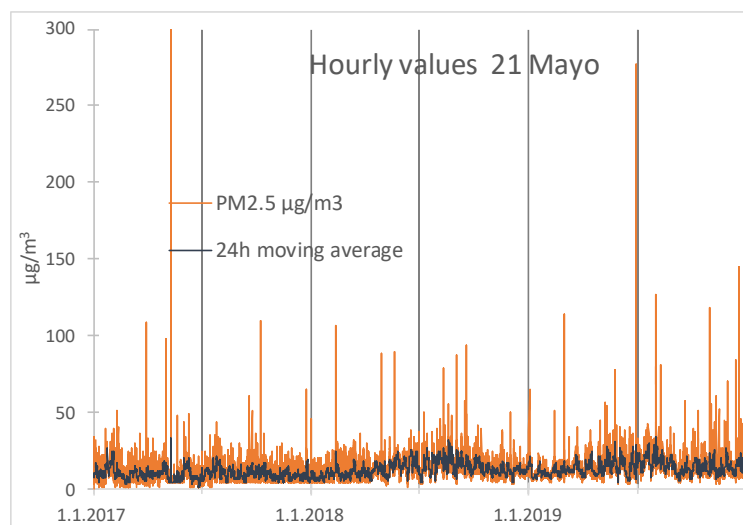


Figura 45. Valores de MP_{10} por hora ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) medidos en la estación de monitoreo de calidad del aire 21 de Mayo en el área de Huasco en 2017-2019.

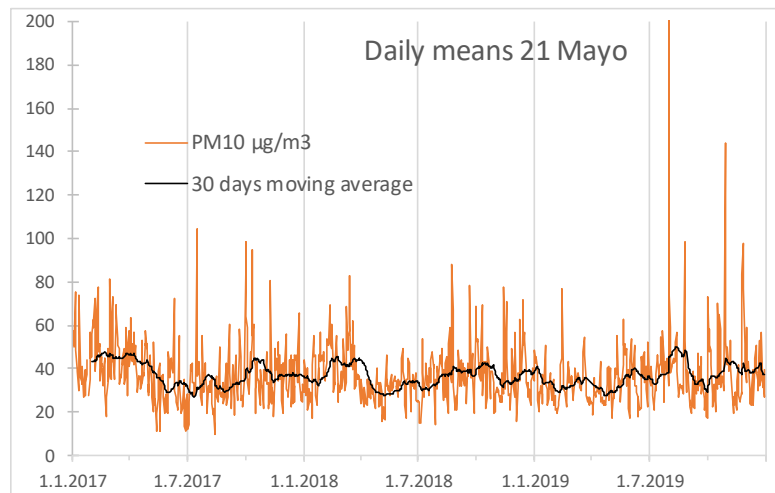


Figura 46. Valores diarios de MP_{10} con línea de tendencia de promedio móvil de 30 días ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en la estación de monitoreo de calidad del aire 21 de Mayo en el área de Huasco en 2017-2019.

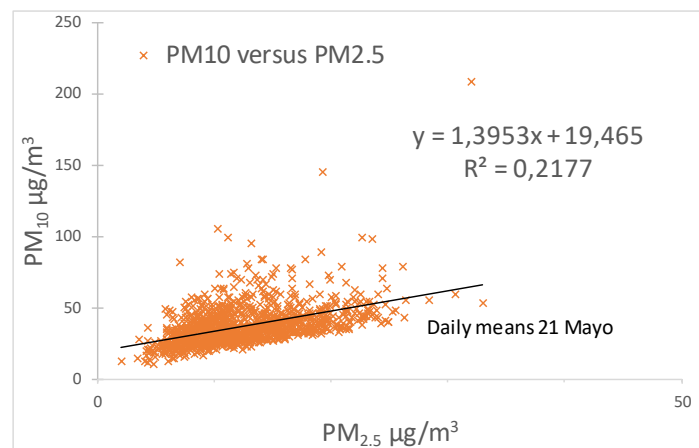


Figura 47. Correlación de las concentraciones de MP_{10} y $MP_{2,5}$ en la estación 21 de Mayo

3. Óxidos de nitrógeno (NO_2 , NO y NO_x),

Los óxidos de nitrógeno (NO_2 , NO y NO_x) fueron monitoreados en tres estaciones (EME-F, EME-M y Huasco II) en 2017-2019. Los promedios anuales son muy bajos, muy por debajo del valor límite anual de la OMS de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figuras 48, 49 y 50). Por lo tanto, la red de monitoreo de NO_2 en el área está sobredimensionada y podría hacerse con menos estaciones de monitoreo. Parece haber problemas con el seguimiento de la calidad de los datos. De acuerdo con las series de tiempo anual, horaria, diaria y diurna (Figuras 48 - 53) se pueden anotar los siguientes puntos:

- Varias estaciones tienen problemas claros de calidad de datos; los niveles cero están muy a la deriva y no se establecen, faltan datos y cambios cuestionables de los niveles de concentración.

- Los datos se ven como "datos sin procesar", que no se han validado ni corregido en función de las calibraciones (es decir, EME-F y EME-M).
- No está claro qué está sucediendo con el nivel cero, si los analizadores se están deslizando, hay algunas dificultades en el proceso de calibración o algo más.
- Hay un cambio sustancial (sospechoso) en los niveles de concentración en la estación Huasco II a principios de 2018 en adelante
- Las variaciones diurnas (horas *peak* de tráfico por la mañana y por la tarde / noche) parecen realistas.
- No hay una clara variación estacional visible de las concentraciones, posiblemente debido a la mala calidad de los datos y las bajas concentraciones.

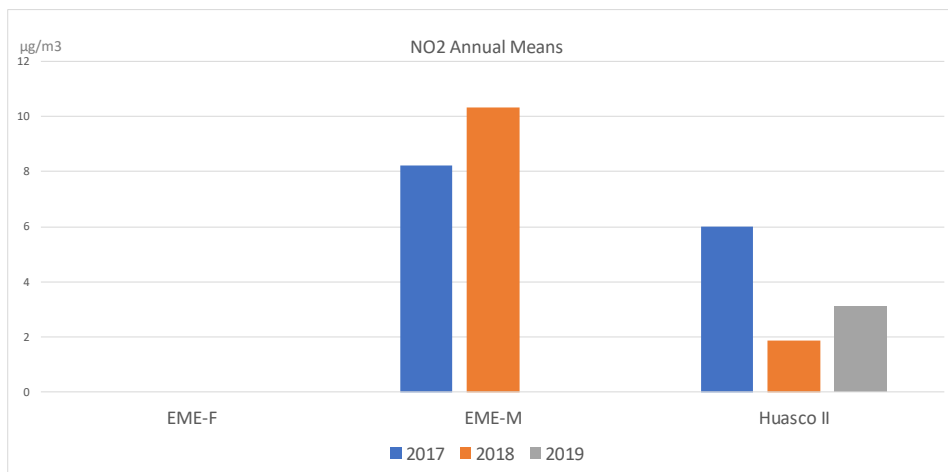


Figura 48. Valores medios anuales de NO₂ (µg / m³) medidos en 3 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a la mala calidad de los datos o datos faltantes / cobertura de datos deficiente.

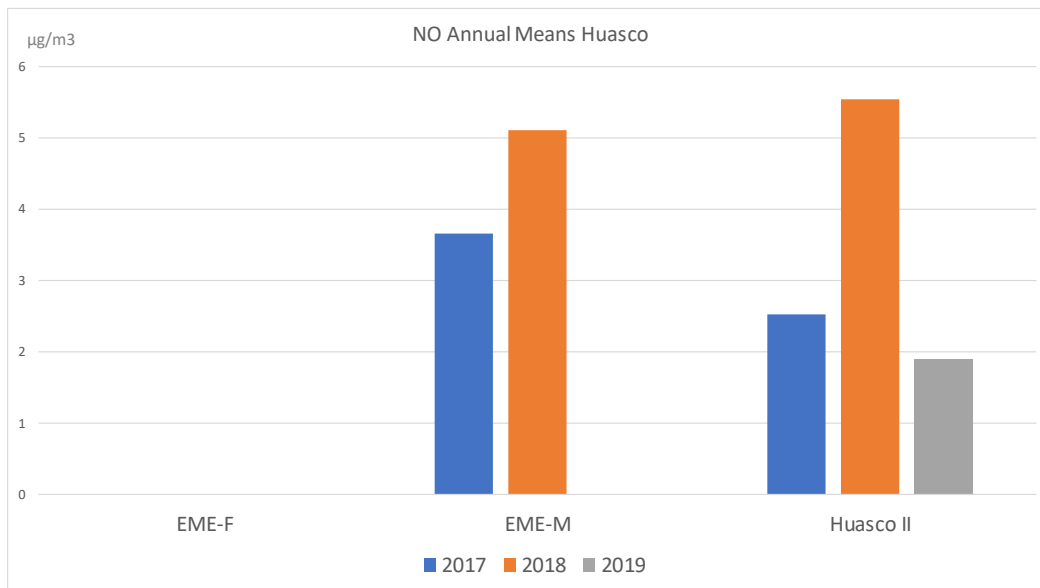


Figura 49. Valores medios anuales de NO ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) medidos en 3 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a la mala calidad de los datos o datos faltantes / cobertura de datos deficiente.

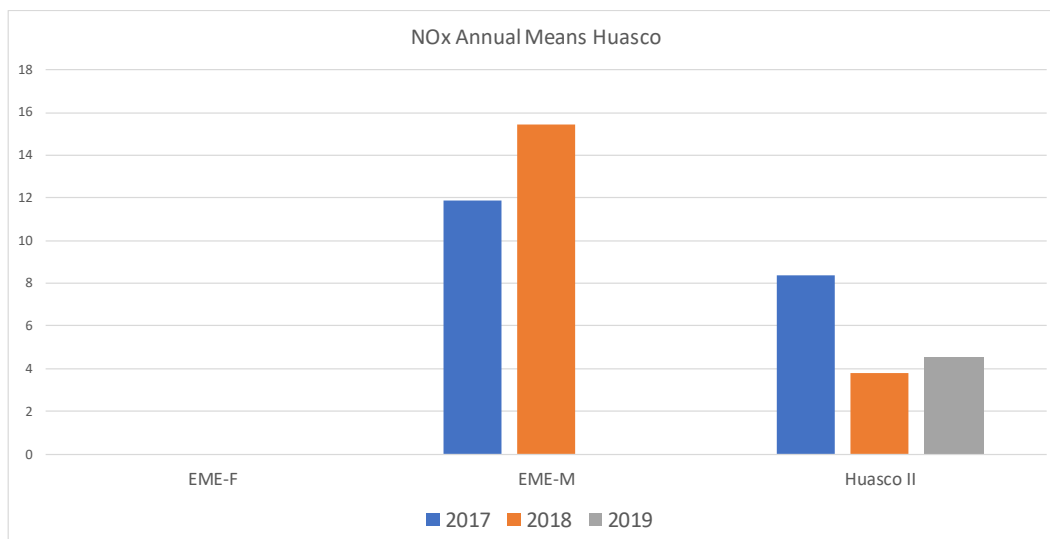
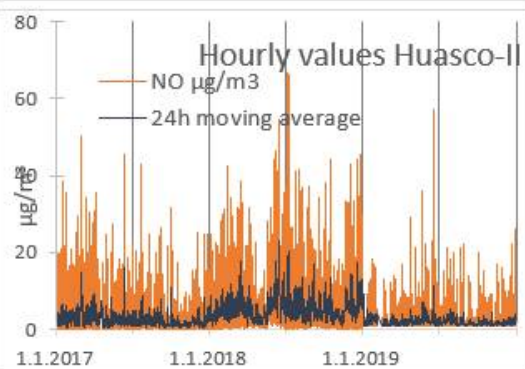
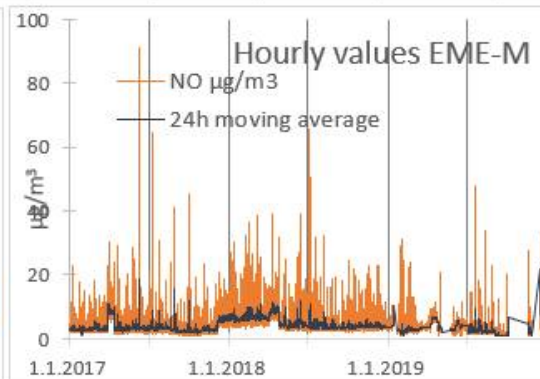
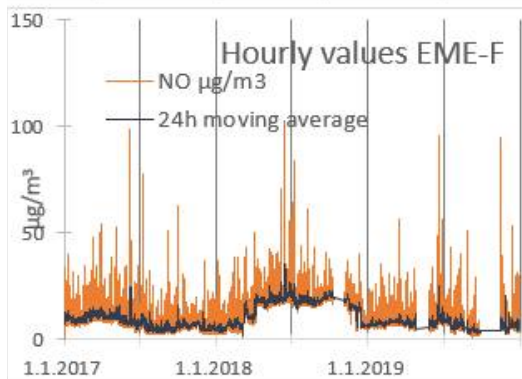
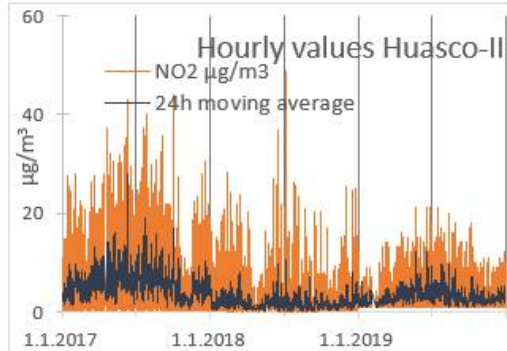
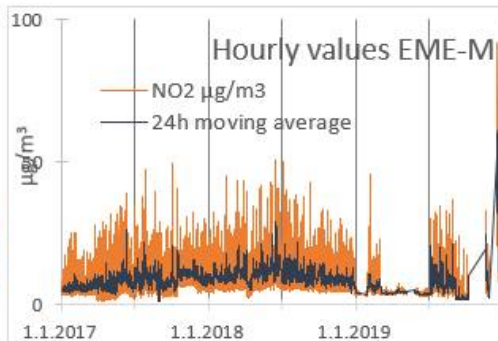
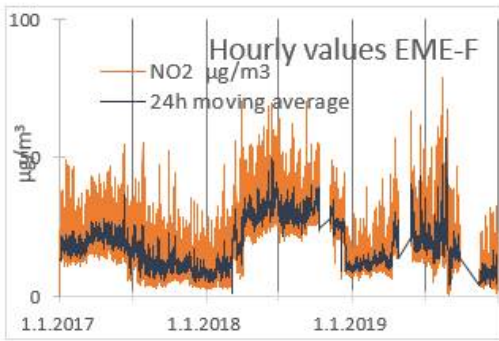


Figura 50. Valores medios anuales de NOx ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) medidos en 3 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a la mala calidad de los datos o datos faltantes / cobertura de datos deficiente.



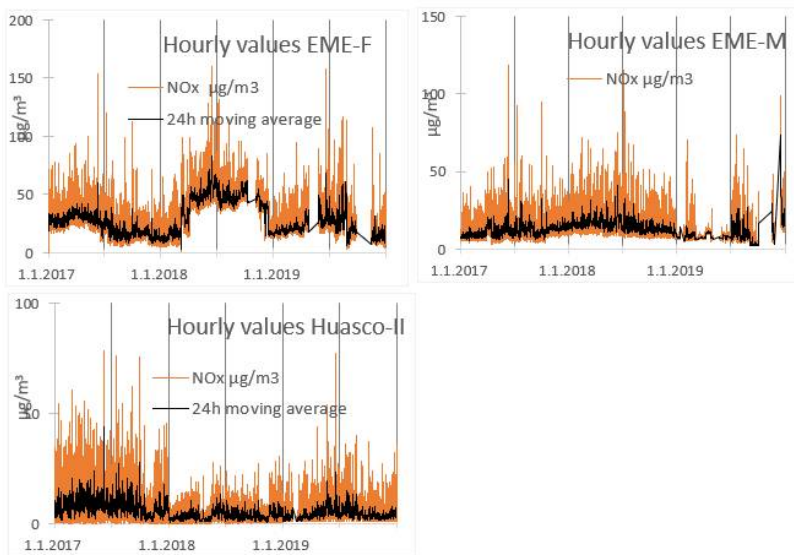


Figura 51. Valores horarios de NO₂, NO y NO_x (µg / m³) medidos en 3 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

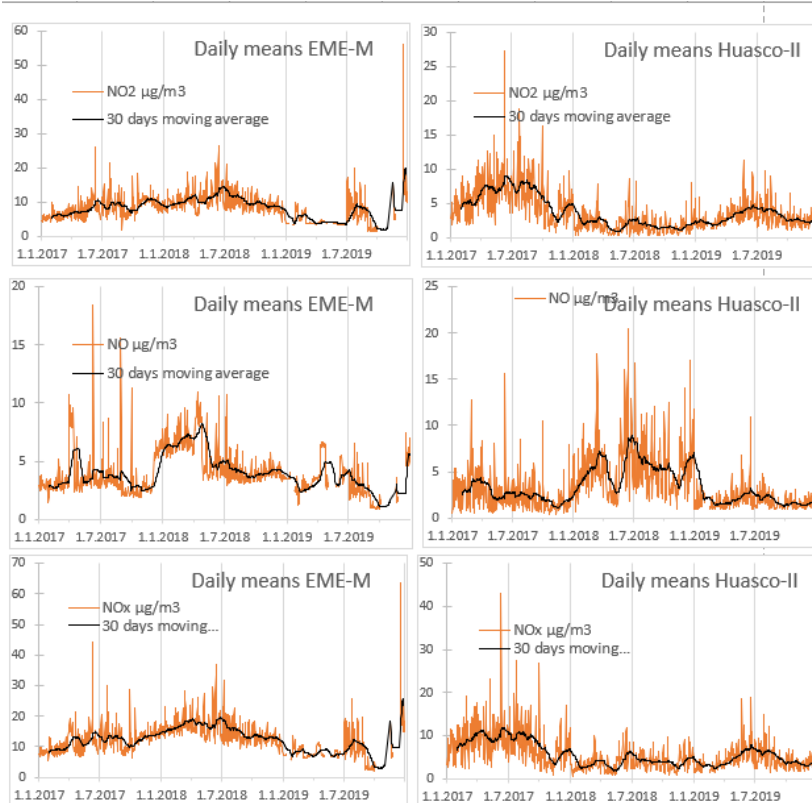


Figura 52. Valores diarios de NO₂ con una línea de tendencia (promedio móvil de 30 días, µg / m³) medidos en 2 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Los datos de la estación EME-F se han dejado fuera de este gráfico debido a la mala calidad de los datos.

La variación diurna parece ser típico para alrededores con tráfico; *peaks* de mañana y tarde / noche. (Figura 53).

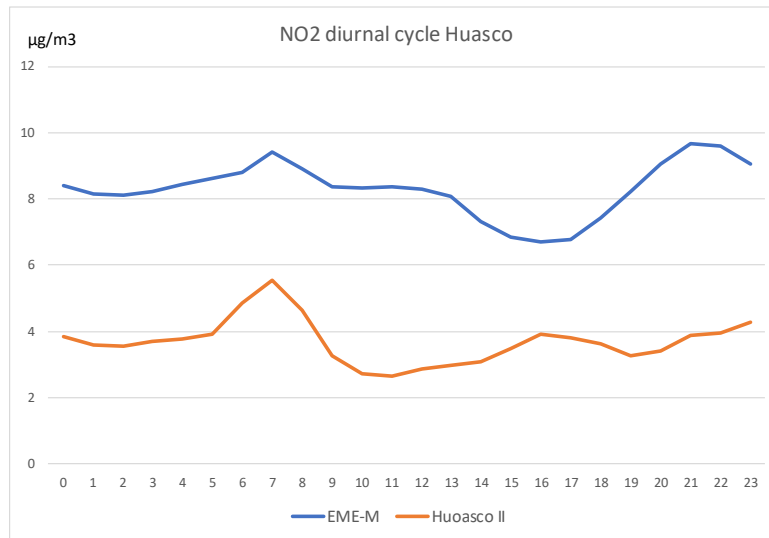


Figura 53. Ciclo diurno de los valores de concentración de NO₂ (µg / m³) medidos en 2 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

Los datos se beneficiarían de un mejor proceso de validación. Normalmente, el tráfico tiene el mayor impacto en los niveles de NO₂. Las emisiones de NO_x de la industria y la producción de energía a menudo se liberan a través de chimeneas altas cuando se dispersan eficazmente y su impacto en la calidad del aire local cerca del sitio es bajo.

4. Ozono (O₃)

El O₃ fue monitoreado en dos sitios (EME-F y Huasco II) en 2017-2019. Los datos de monitoreo de O₃ parecen tener problemas de calidad con la cobertura de datos / datos faltantes y el nivel cero. No obstante, los niveles de concentración son bajos. Normalmente, las concentraciones de ozono son más altas cuando no hay fuentes de emisión directa cerca y el ozono no se consume en los procesos de transformación química con otros contaminantes. Las concentraciones de ozono también tienden a ser más altas en altitudes más altas.

De acuerdo con la serie de tiempo horario y diario (Figuras 56 y 57) se pueden anotar los siguientes puntos:

- Faltan algunos límites de datos en ambas estaciones.
- La variación diurna (Figura 55) muestra un buen proceso de formación de ozono en todos los sitios. Los peaks ocurren en el período fotoquímicamente intenso del mediodía-tarde.
- Los niveles más altos de concentración de O₃ parecen darse durante septiembre-noviembre.

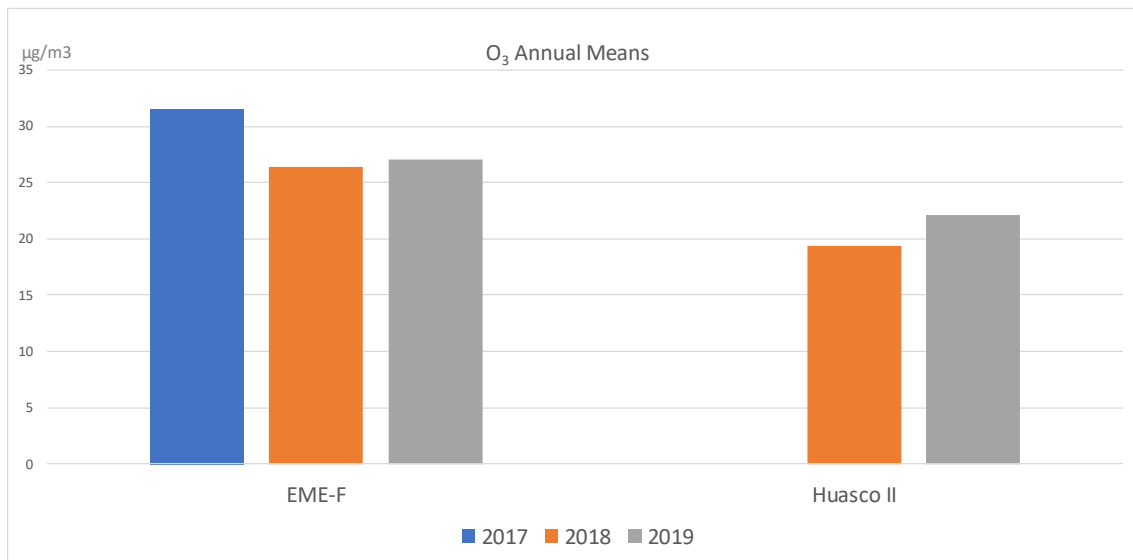


Figura 54. Valores medios anuales de O₃ (µg /m³) medidos en 2 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019. Algunas de las medias anuales no se han incluido en este gráfico debido a problemas de calidad de los datos o datos faltantes / cobertura de datos deficiente.

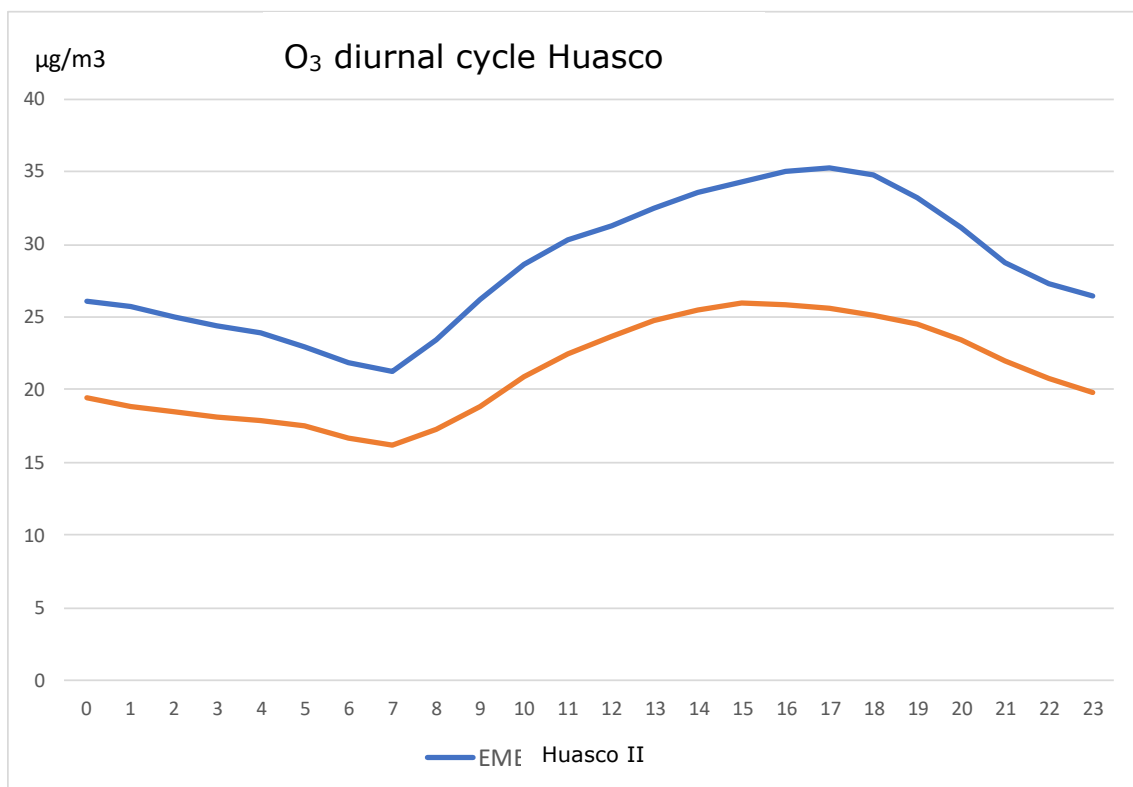


Figura 55. Ciclo diario de los valores de concentración de NO₂ (µg /m³) medidos en 2 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Huasco en 2017-2019.

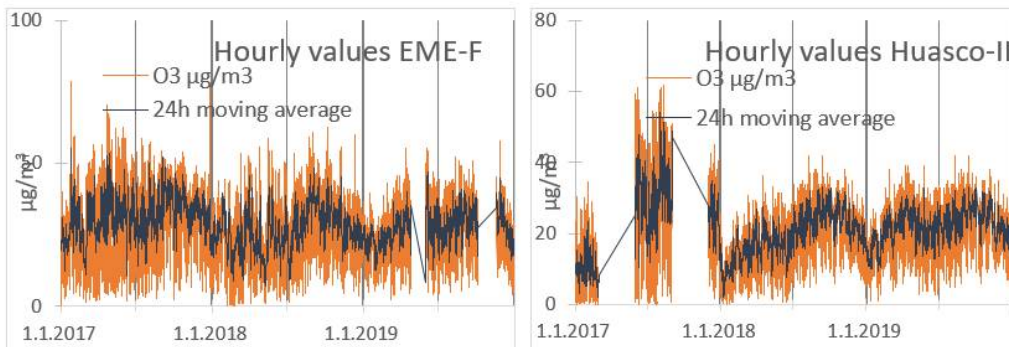


Figura 56. Valores de O₃ por hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 2 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco en 2017–2019.

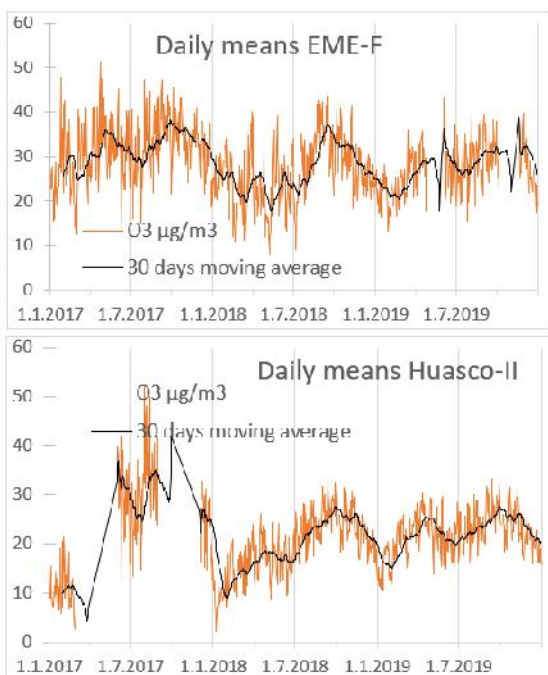


Figura 57. Valores diarios de O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 2 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Huasco en 2017–2019.

Monóxido de carbono (CO)

El CO fue monitoreado en un sitio (EME-F) en 2017-2019. Parece que el nivel cero del analizador en EME-F está muy a la deriva (*Figura 59*). Mejorar el proceso de validación de datos sería beneficioso para considerar la deriva del nivel cero y corregir los datos en consecuencia.

Las mediciones registradas no superan los valores de referencia de la OMS (valor medio por hora de 30 mg /m³, promedio móvil de 10 mg / 8 horas) (*Figura 60*).

Debido a la mala calidad de los datos causada por la fuerte deriva del nivel cero, la variación estacional y diurna del CO no se puede analizar con más detalle. Considerando los bajos niveles de concentración de CO medidos en el área, no sería necesario medir el CO en muchas estaciones.

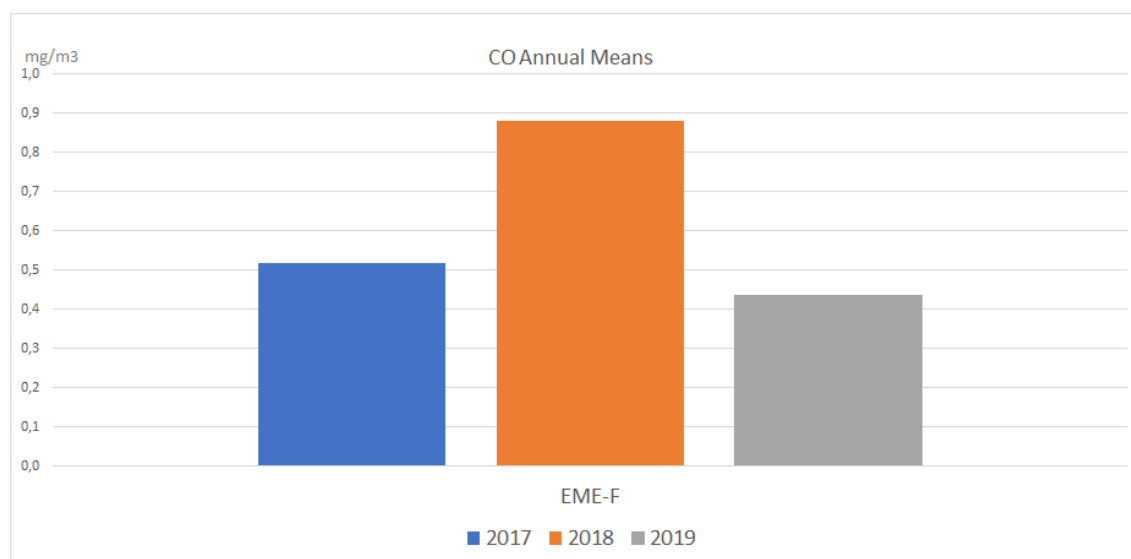


Figura 58. Valores medios anuales de CO (mg /m³) medidos en una estación de monitoreo de la calidad del aire (EME-F) en el área de Huasco en 2017-2019.

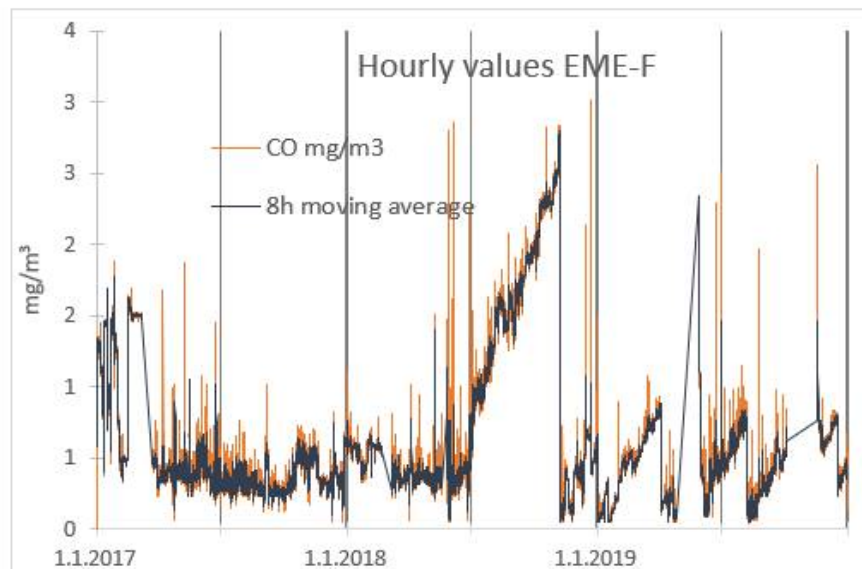


Figura 59. Valores de CO por hora (mg/m^3) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire (EME-F) en el área de Huasco en 2017-2019.

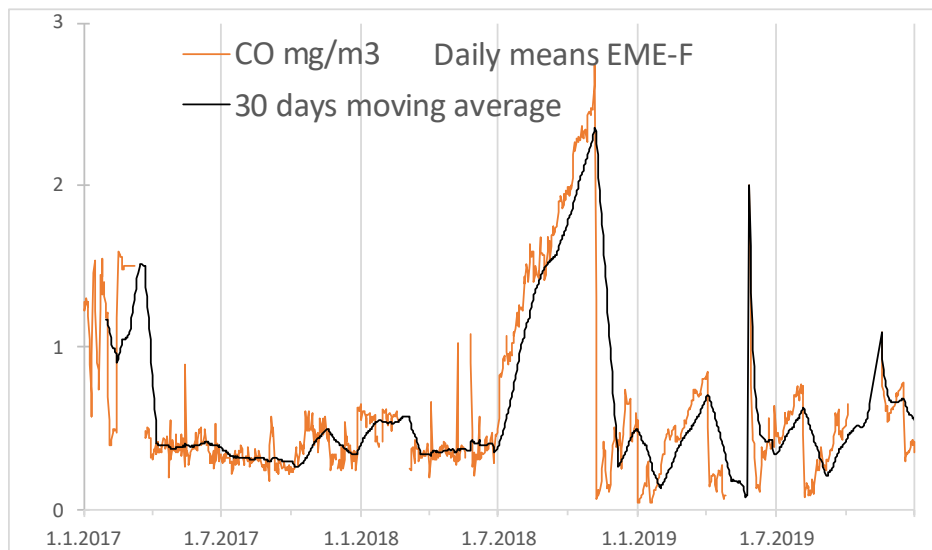


Figura 60. Valores diarios de CO (mg/m^3) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire (EME-F) en el área de Huasco en 2017-2019.

2.1.3. Zona de Calama

La red de monitoreo de la calidad del aire de Calama consta de cinco (5) estaciones fijas de monitoreo de calidad del aire. Los parámetros meteorológicos se miden en las 5 estaciones. Cuatro (4) estaciones (Club Deportivo 23 de Marzo (CD23M), Colegio Pedro Vergara Keller (PVK), Centro y Hospital del cobre (Hospital)) se ubican a una distancia de 3 kilómetros entre sí en la ciudad de Calama. La estación de monitoreo, Nueva Chiu Chiu, se ubica más lejos, aproximadamente a 30 kilómetros al noreste del centro de la ciudad de Calama. Tres (3) estaciones miden dióxido de azufre (SO₂), las cinco (5) estaciones de material particulado fino (MP_{2,5}) y material particulado (MP₁₀), una (1) estación de ozono (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x) y monóxido de carbono (CO). Además, el arsénico (As) y el plomo (Pb) se analizan en las muestras de filtro de MP₁₀ y MP_{2,5} en las cuatro (4) estaciones (PVK, CD23M, Centro y Hospital). El plomo y el arsénico se analizan en las partículas recogidas en las muestras de filtro diarias cada tres días. Además, el análisis gravimétrico se realiza para las mismas muestras de filtro.

1. Dióxido de azufre (SO₂)

El SO₂ se monitorea en tres (3) sitios de monitoreo; Centro, Hospital y Nueva Chiu Chiu (solo parcialmente en el año 2019) en el área de Calama. Según la serie de tiempo por hora (Figura 61), la calidad general de los datos parece buena.

- Las concentraciones de dióxido de azufre son relativamente bajas (2 a 5 µg /m³) en el área de Calama y muy por debajo del nivel de referencia diario de la OMS (24 horas) (20 µg /m³). Solo hay un par de superaciones del nivel de la guía diaria de la OMS en el conjunto de datos de la estación Hospital.
- Parece haber una tendencia a la disminución de los niveles de concentración de SO₂ en ambas estaciones durante los últimos 3 años.
- En las estaciones Centro y Hospital, la calidad de los datos parece buena, no faltan datos y los niveles cero no se desvían en absoluto.
- En Nueva Chiu Chiu, hay datos disponibles de solo 6 a 7 meses en 2019. El nivel cero parece variar.
- Los datos parecen tener ciclos diurnos realistas. Parece haber un *peak* en la mañana hasta el mediodía (posiblemente debido a las condiciones meteorológicas y reacciones fotoquímicas). También es probable que los ciclos de concentración máxima estén relacionados con las emisiones.
- No parece haber una variación estacional visible o fuerte en los niveles de concentración.
- A principios de 2019 las concentraciones son muy bajas durante el primer semestre.

Los valores de concentración media anual se presentan en la Figura 61, los valores de concentración diaria con un promedio móvil de 30 días en las Figuras 62 y 63 y el ciclo diurno de SO₂ en la Figura 64.

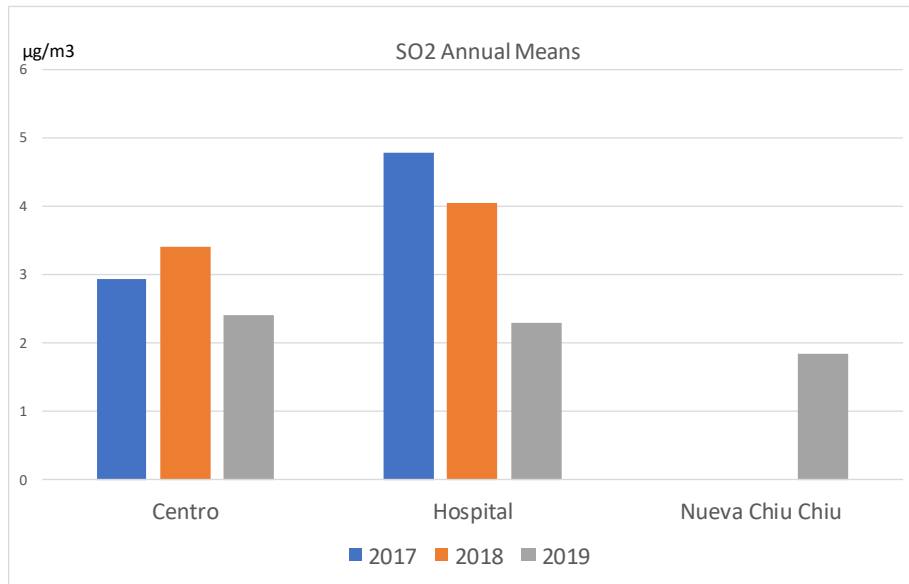


Figura 61. Valores medios anuales de SO₂ (µg /m³N) medidos en 3 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. Las concentraciones de SO₂ se han medido en la estación Nueva Chiu Chiu solo de 6 a 7 meses en 2019.

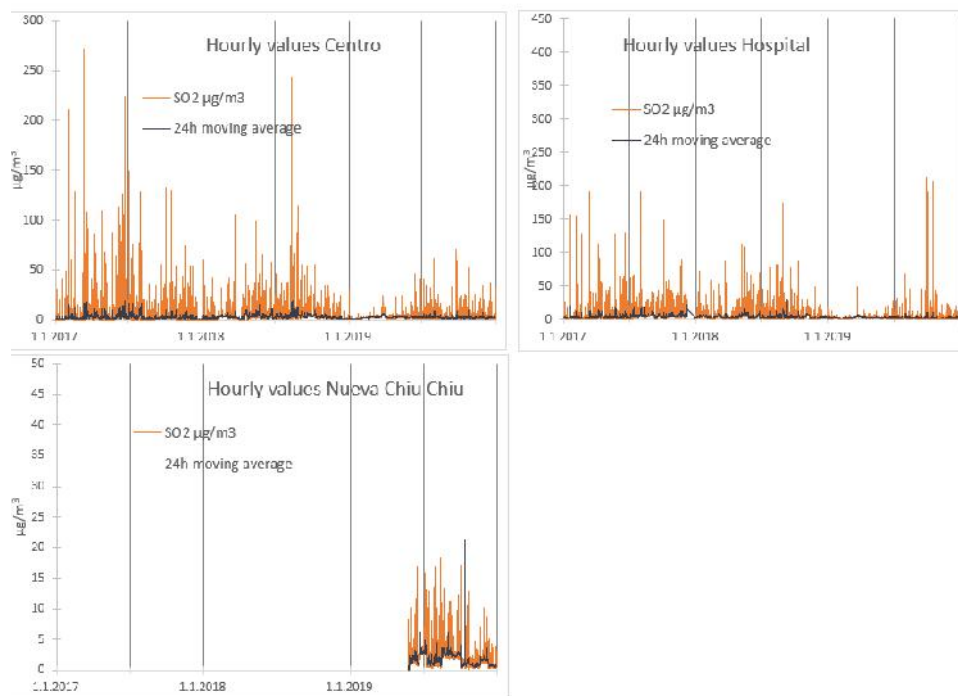


Figura 62. Valores medios horarios de SO₂ (µg /m³N) medidos en 3 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

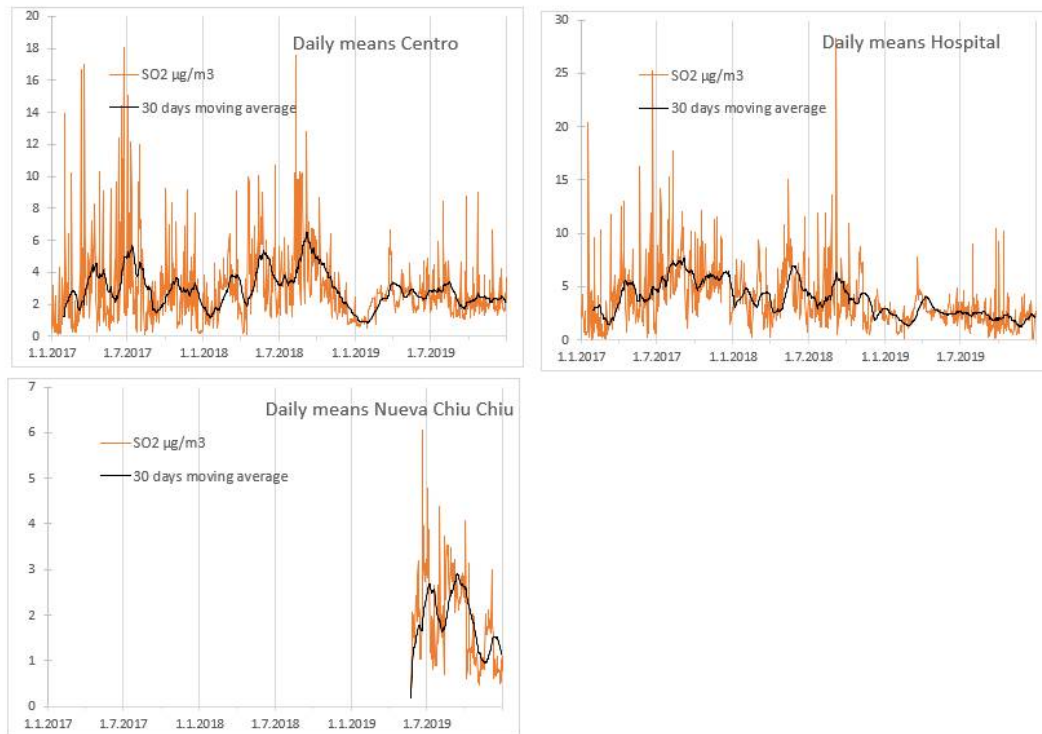


Figura 63. Valores medios diarios de SO₂ (µg /m³N) con la línea de tendencia para el promedio deslizando de 30 días medidos en 2 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

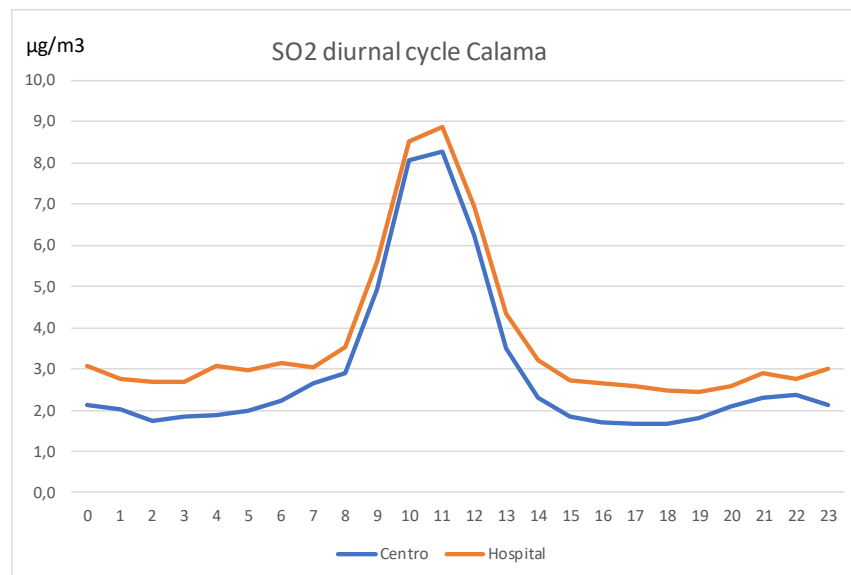


Figura 64. Ciclo diario de concentraciones de SO₂ (µg /m³N) de las 2 estaciones de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. Nueva Chiu Chiu queda fuera del gráfico debido a la escasa cobertura de datos.

En la Figura 65 se presentan las rosas de concentración de SO_2 en estaciones de calidad del aire seleccionadas. Las rosas de concentración se pueden utilizar para analizar las posibles fuentes de contaminación. Con las rosas de concentración es posible definir las direcciones del viento con las concentraciones más altas de SO_2 medidas en la estación de monitoreo. Las concentraciones son bajas en todas las direcciones del viento, sin embargo, la estación del Hospital parece que las concentraciones más altas de SO_2 se miden con la dirección del viento desde el norte. La estación Centro no tiene lo mismo, sino que las concentraciones de SO_2 son iguales en todos los sectores eólicos.



Figura 66. Rosas de concentración de SO_2 ($\mu\text{g} / \text{m}^3\text{N}$) de 2 estaciones de calidad del aire en Hospital y Centro. El aumento de la concentración indica de qué sectores eólicos provienen las mayores concentraciones. Las rosas de concentración representan la calidad del aire y los datos meteorológicos en 2017-2019.

2. Material particulado ($\text{MP}_{2,5}$ y MP_{10})

$\text{MP}_{2,5}$

$\text{MP}_{2,5}$ es monitoreado con analizadores continuos en 5 sitios (PVK, CD23M, Centro, Hospital y Nueva Chiu Chiu) en el área de Calama. De acuerdo con las series de tiempo por horas y días (Figuras 68 y 69), promedios anuales (Figura 67) y variaciones diurnas (Figura 71), los datos de seguimiento parecen buenos en general:

- Los niveles anuales de concentración de $\text{MP}_{2,5}$ son generalmente bajos, alrededor de $6\text{--}12 \mu\text{g} / \text{m}^3$ (las estaciones de Hospital y PVK superan la pauta anual de la OMS de $10 \mu\text{g} / \text{m}^3$). Hay algunas superaciones

ocasionales de la guía diaria de la OMS de $25 \mu\text{g} / \text{m}^3$ en casi todas las estaciones. El estándar nacional para el valor medio diario de $\text{MP}_{2,5}$ ($50 \mu\text{g} / \text{m}^3$) no se excede, excepto una vez en la estación PVK.

- Las concentraciones de partículas finas son las más bajas ($6\text{--}12 \mu\text{g} / \text{m}^3$) en las estaciones Centro y CD23M.
- La estación Nueva Chiu Chiu ha estado operativa desde el 06–07/2019, por lo que tiene poca cobertura de datos durante el período de medición de tres años.
- Parece haber algunos valores de concentración *peak* ocasionalmente altos (hasta $500 \mu\text{g} / \text{m}^3$)
- Curiosamente, existen algunas diferencias entre los niveles de concentración medidos por diferentes estaciones. Eso puede indicar que la ubicación (u operación) de la estación tiene alguna influencia en los valores medidos. No obstante, todas las estaciones (excepto Nueva Chiu Chiu) se ubican muy cerca unas de otras, por lo que se esperaría ver los mismos niveles de concentración en las cuatro estaciones.
- Las concentraciones no parecen tener una fuerte variación estacional, sin embargo, las concentraciones tienden a ser un poco más altas durante los meses de invierno.
- La estación CD23M parece tener un cambio en el nivel de concentración a principios de 2018. Los valores medios diarios también parecen tener menos variación y un nivel de concentración más bajo en 2017 que en 2018 y 2019, por lo tanto, sería bueno evaluar si los datos del año 2017 están validados.
- La variación estacional no parece tener un patrón claro.
- Los ciclos diurnos tienen el mismo patrón en todas las estaciones. Las concentraciones son más bajas durante la mañana y aumentan durante el día hasta alcanzar los *peaks* de concentración más altos en la noche alrededor de las 20:00-22:00 (posiblemente debido a las condiciones meteorológicas y atmosféricas).

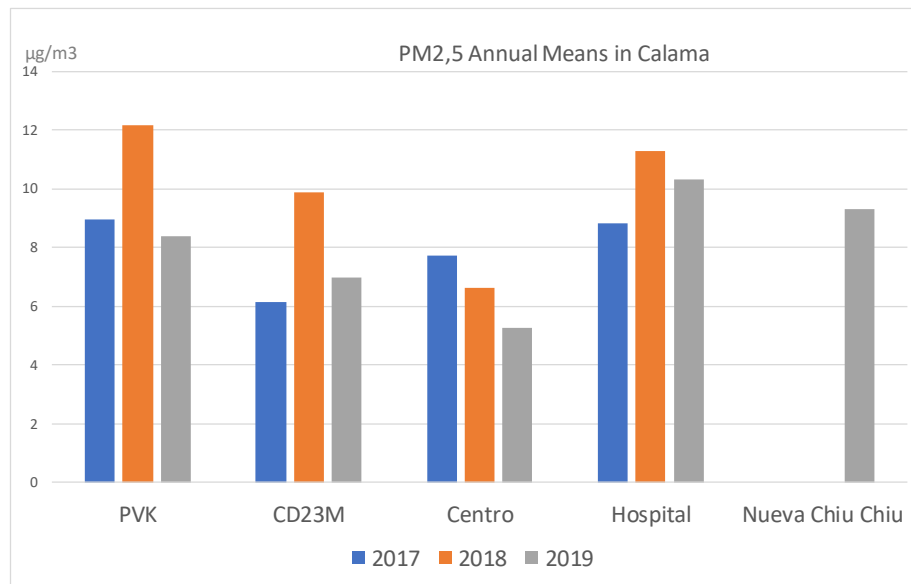


Figura 67. Valores medios anuales de $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. Las concentraciones de $MP_{2,5}$ se han medido en la estación Nueva Chiu Chiu solo de 6 a 7 meses en 2019.

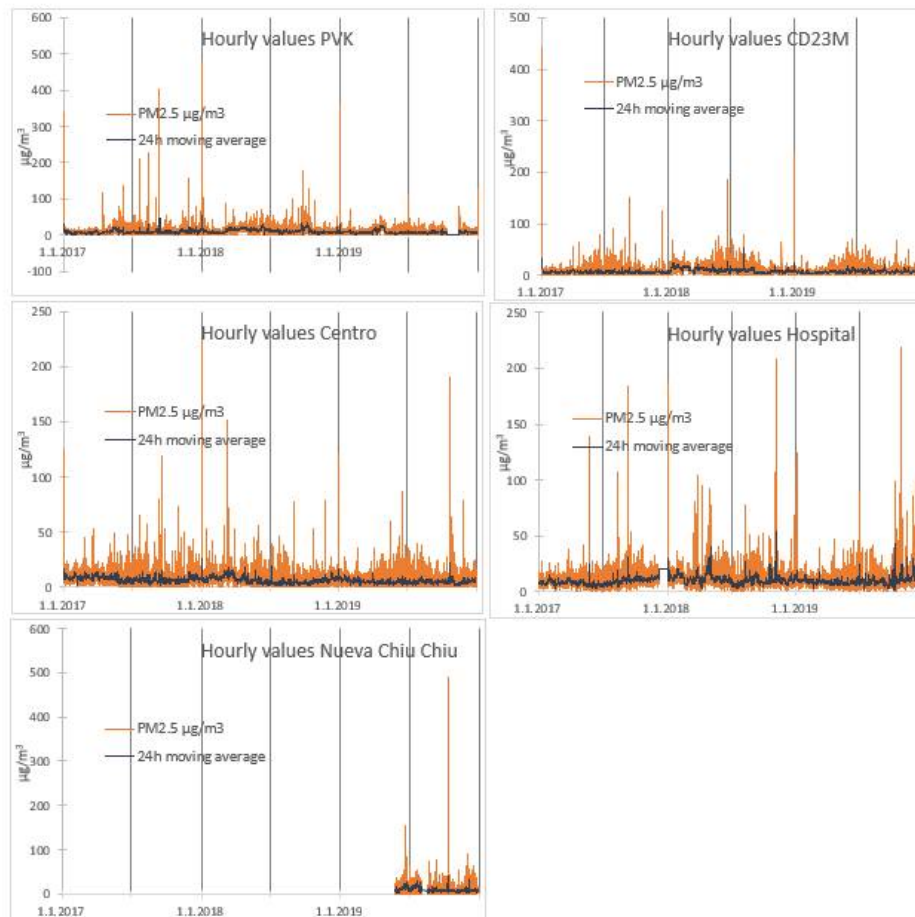


Figura 68. Valores de $\text{MP}_{2,5}$ por hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

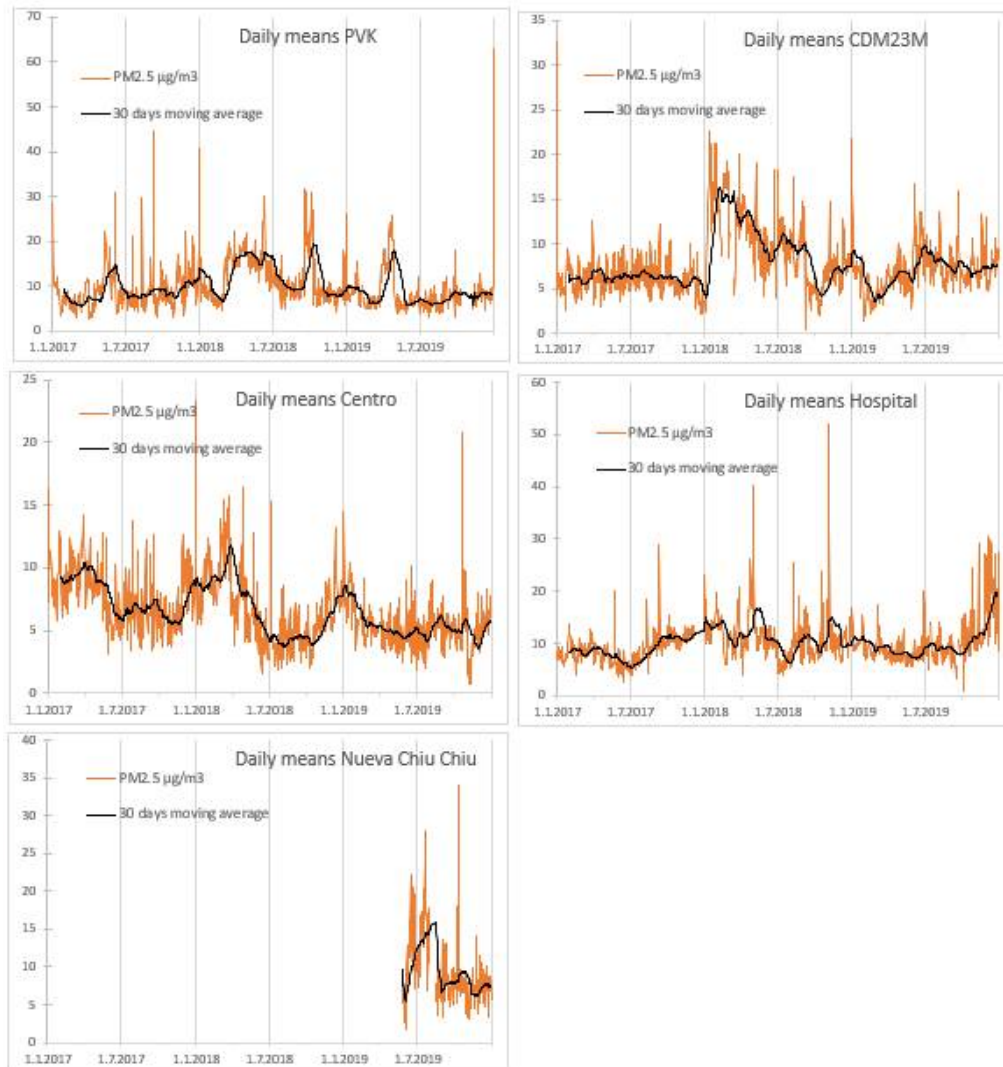


Figura 69. Valores diarios de $MP_{2,5}$ con una línea de tendencia (promedio móvil de 30 días, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017–2019.

Las rosas de concentración de las concentraciones de $MP_{2,5}$ se presentan en la Figura 70. Las rosas de contaminación indican de qué sectores de viento provienen las concentraciones más altas. Sin embargo, en el caso de Calama, las rosas de concentración no indican claramente la dirección del viento predominante con las concentraciones más altas. En cambio, parece que las concentraciones de $MP_{2,5}$ ocurren igualmente en diferentes sectores eólicos netos. Por tanto, el nivel de concentración de fondo regional parece ser aproximadamente el mismo en toda la zona. Probablemente signifique que las fuentes locales no tienen un impacto fuerte en la concentración de $MP_{2,5}$ en el área.



Figura 70. Rosas de contaminación $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) según mediciones en 4 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. El aumento de la contaminación indica de qué sectores eólicos provienen las mayores concentraciones.

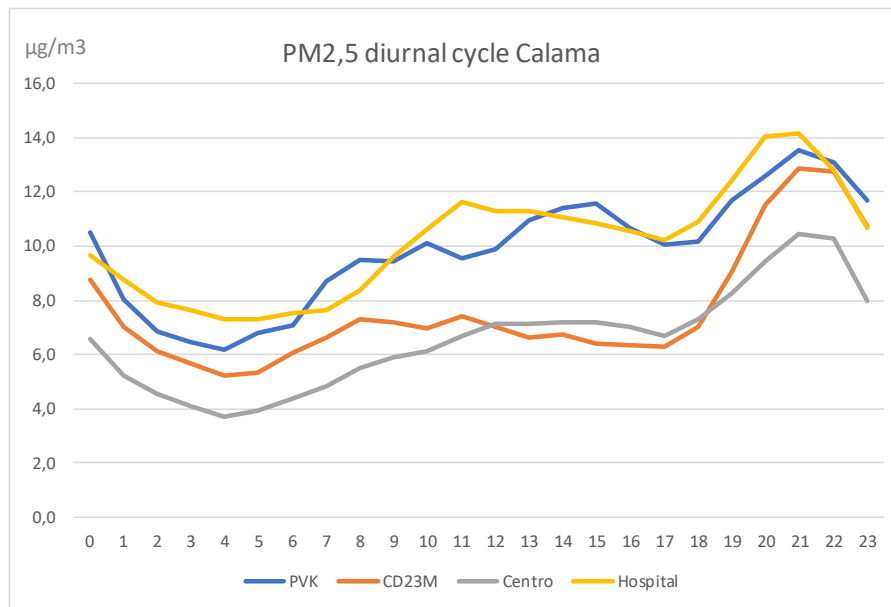


Figura 71. Ciclo diario de valores de concentración de $MP_{2,5}$ ($\mu\text{g} / \text{m}^3$) medidos en 4 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. Nueva Chiu Chiu queda fuera del gráfico debido a la escasa cobertura de datos.

MP₁₀

MP₁₀ se monitorea con analizador continuo en 5 sitios de monitoreo (PVK, CD23M, Centro, Hospital y Nueva Chiu Chiu) en el área de Calama en 2017-2019. De acuerdo con las series de tiempo por horas y días (Figuras 73 y 74), promedios anuales (Figura 72) y variaciones diurnas (Figura 76), los datos de seguimiento parecen ser buenos en general.

- Los niveles de concentración son altos (media anual 30-50 $\mu\text{g} / \text{m}^3$) en el área de Calama, se exceden las pautas anuales y diarias de la OMS (20 $\mu\text{g} / \text{m}^3$ y 50 $\mu\text{g} / \text{m}^3$) en cada estación.
- Las concentraciones están aproximadamente en el mismo nivel en todas las estaciones, no hay muchas diferencias entre las estaciones. PVK, CD23M y Nueva Chiu Chiu tienen las concentraciones anuales más altas (40-50 $\mu\text{g} / \text{m}^3$), Centro y Hospital tienen las más bajas (alrededor de 30 $\mu\text{g} / \text{m}^3$).
- No parece haber una fuerte variación estacional de las concentraciones.
- Parece haber *peaks* de concentración bastante altos de hasta 1000 $\mu\text{g} / \text{m}^3$
- Los ciclos diurnos tienen el mismo patrón en todas las estaciones. Las concentraciones son las más bajas durante la mañana y aumentan durante el día. Parece haber un *peak* de la mañana y un *peak* de la tarde hasta que se alcanza el *peak* de concentración más alto en la noche alrededor de las 19:00-22:00 (posiblemente debido a los tiempos de tráfico y las condiciones meteorológicas y atmosféricas).
- MP₁₀ y MP_{2,5} no se correlacionan fuertemente. Por lo tanto, parece que las MP₁₀ son causadas principalmente por fuentes / actividades diferentes a las MP_{2,5} (Figura 77).

- Las posibles fuentes de MP₁₀ pueden ser el polvo de caminos sin pavimentar y otras superficies polvorientas secas o el polvo del desierto de las áreas alrededor de Calama.

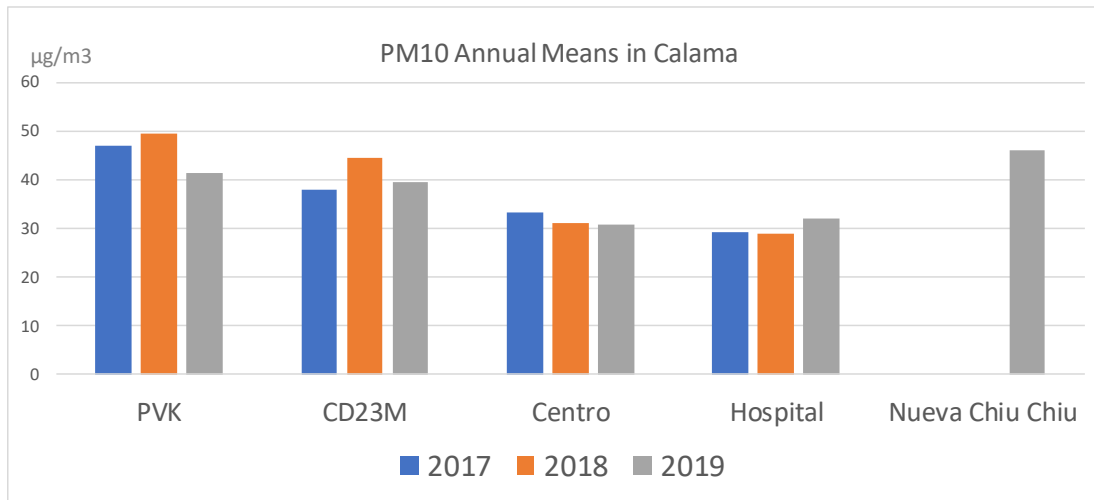


Figura 72. Valores medios anuales de MP₁₀ (µg / m³) medidos en 5 monitores continuos de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. Las concentraciones de MP₁₀ se han medido en la estación Nueva Chiu Chiu solo de 6 a 7 meses en 2019.

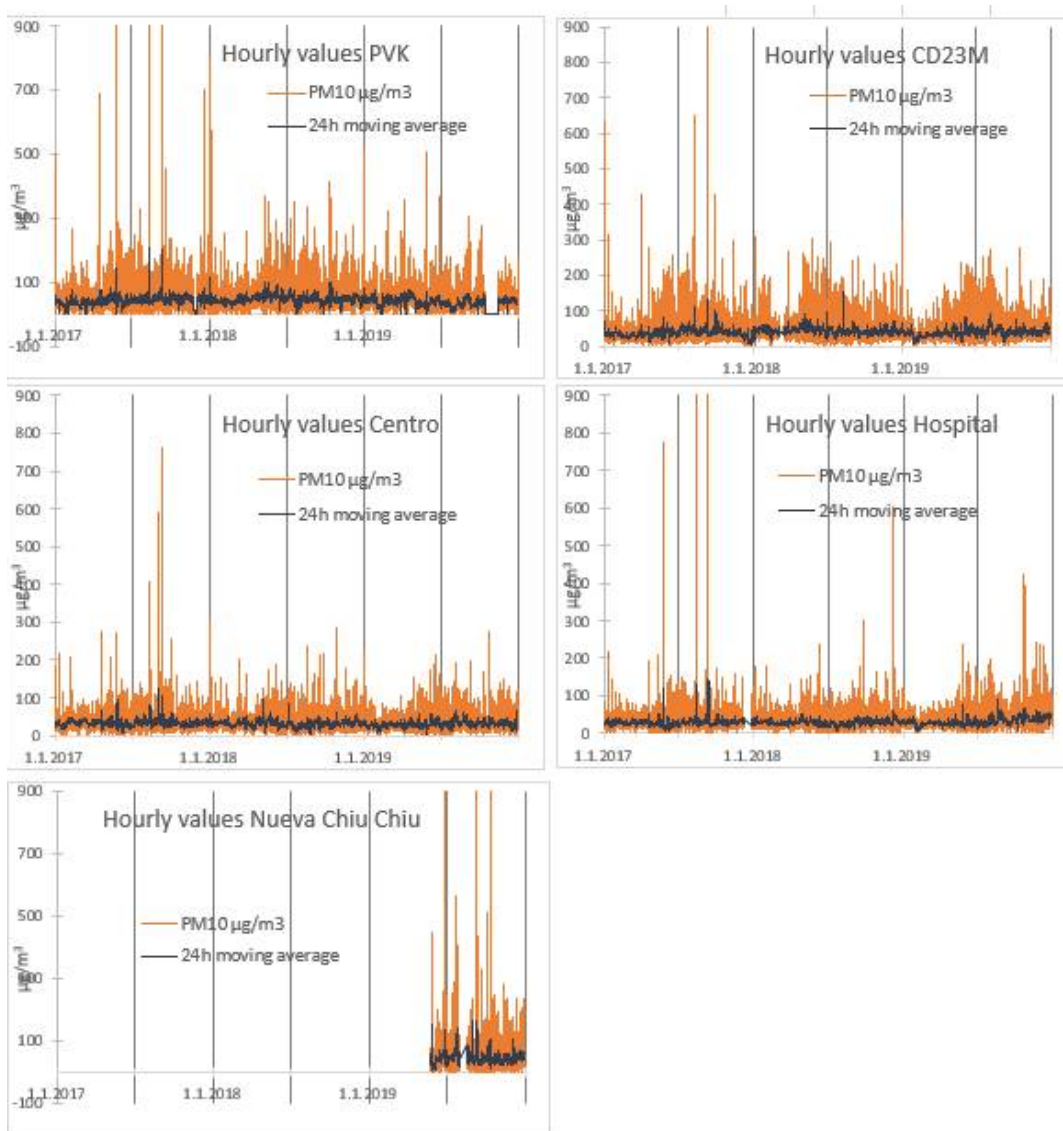


Figura 73. Valores de MP_{10} por hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

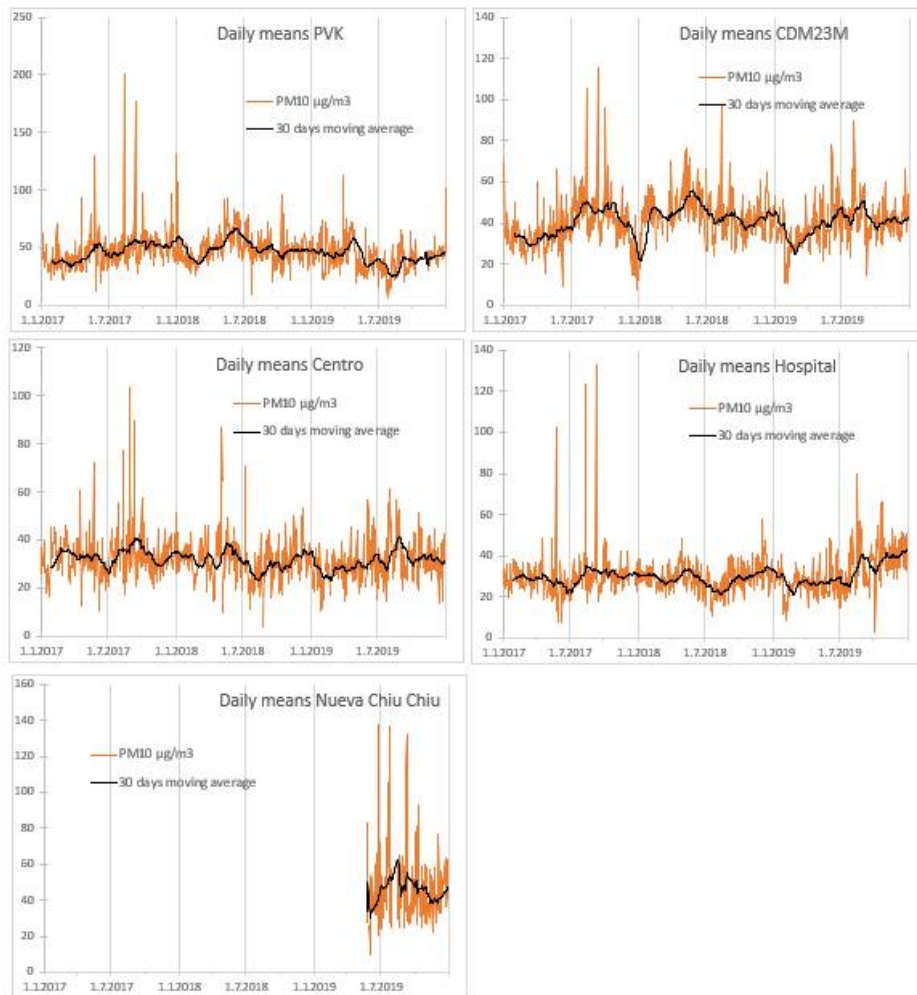


Figura 74. Valores diarios de MP_{10} con línea de tendencia de promedio móvil de 30 días ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 5 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

Las rosas de concentración de las concentraciones de MP_{10} se presentan en la Figura 75. Las rosas de contaminación indican de qué sectores de viento provienen las concentraciones más altas. Sin embargo, en el caso de Calama, las rosas de concentración no indican claramente la dirección del viento predominante con las concentraciones más altas. En cambio, parece que las concentraciones de MP_{10} ocurren igualmente en diferentes sectores eólicos netos. Las altas concentraciones de MP_{10} son típicas durante las condiciones de calma y baja velocidad del viento.

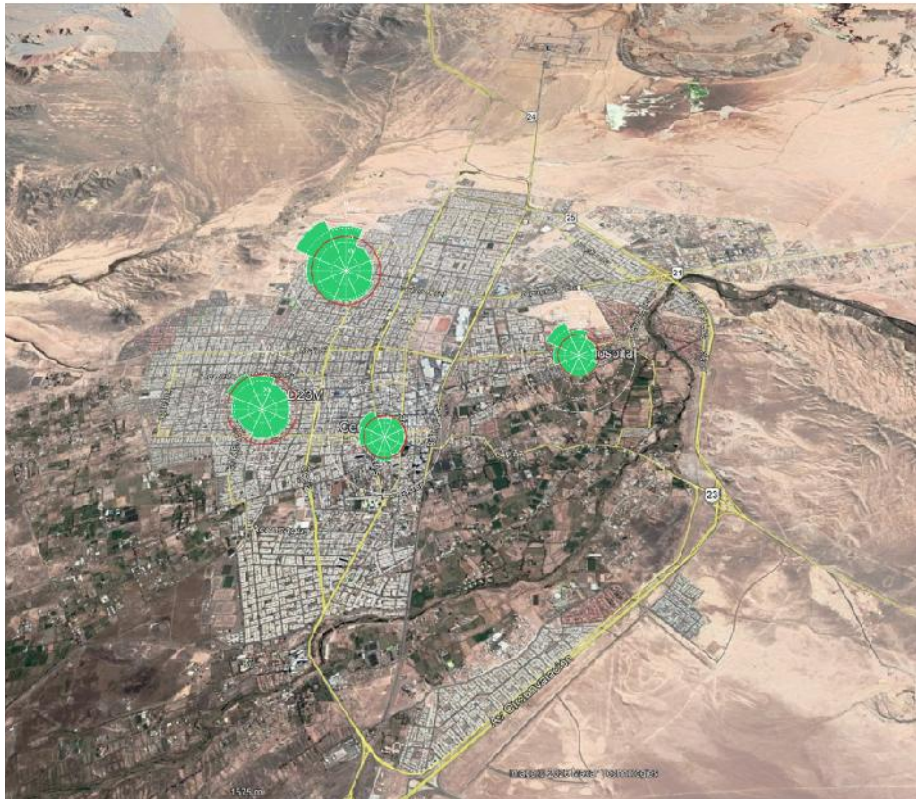


Figura 75. Rosas de contaminación MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) basado en mediciones en 4 estaciones de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. El aumento de la contaminación indica de qué sectores eólicos provienen las mayores concentraciones.

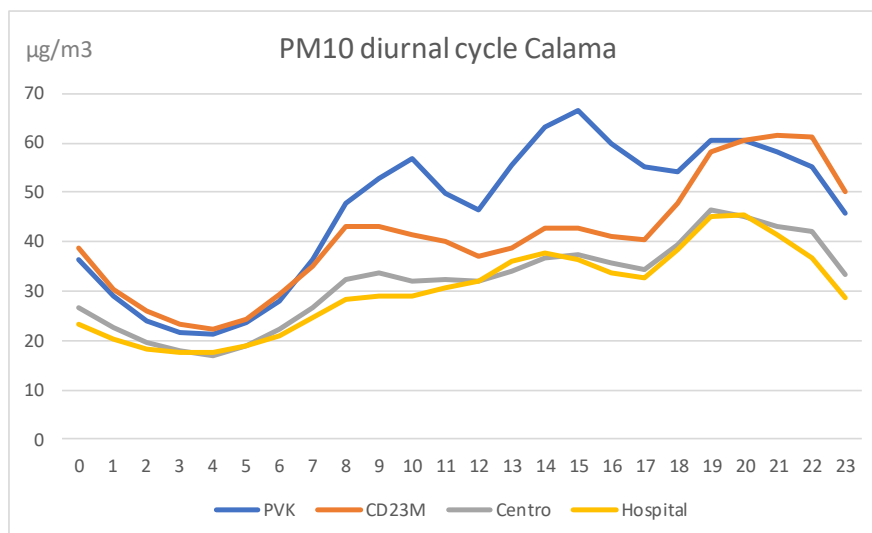


Figura 76. Ciclo diario de los valores de concentración de MP_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidos en 4 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019. Nueva Chiu Chiu queda fuera del gráfico debido a la escasa cobertura de datos.

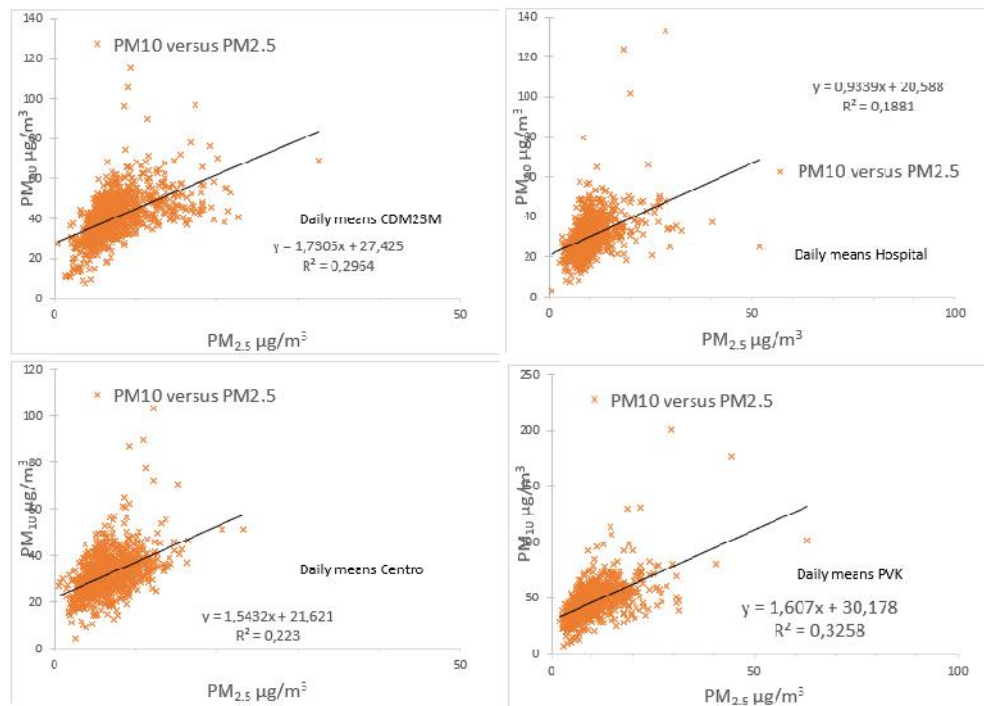


Figura 77. Correlación de concentraciones de MP₁₀ y MP_{2,5} en 4 estaciones en el área de Calama.

3. Plomo (Pb) y arsénico (As) en MP₁₀

Además de los analizadores continuos, el arsénico (As) y el plomo (Pb) también se analizan en las muestras de filtro de MP₁₀ y MP_{2,5} en cuatro (4) estaciones (PVK, CD23M, Centro y Hospital). El plomo y el arsénico se analizan en las partículas recogidas en las muestras de filtro diarias cada tres días. Además, el análisis gravimétrico se realiza para las mismas muestras de filtro.

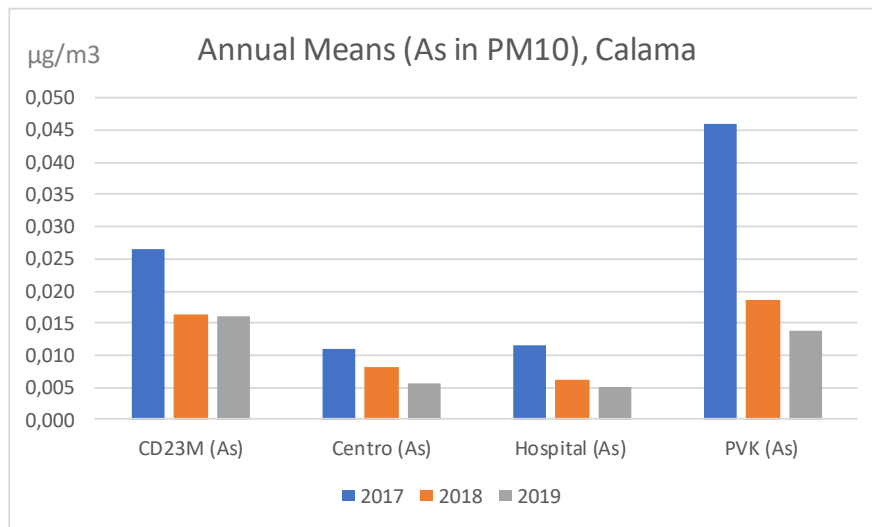


Figura 78. Concentraciones medias anuales de arsénico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en MP_{10} medidas en 4 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

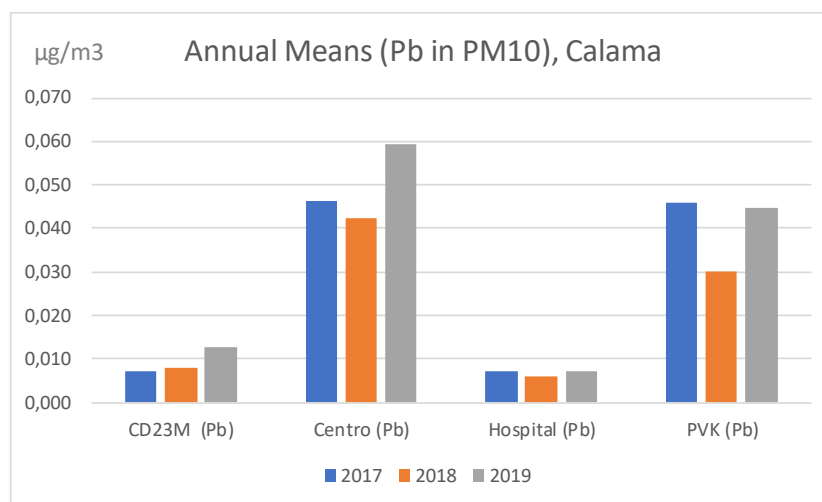


Figura 79. Concentraciones medias anuales de Plomo ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en MP_{10} medidas en 4 estaciones de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

4. Óxidos de nitrógeno (NO_2 , NO y NO_x)

Los óxidos de nitrógeno (NO_2 , NO y NO_x), NO_2 fueron monitoreados en una estación (Centro) en 2017–2019 en el área de Calama. Los promedios anuales son bajos, muy por debajo del valor de referencia anual de la OMS de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 80). De acuerdo con las series de tiempo anual, horaria, diaria y diurna (Figuras 81, 82 y 83) se pueden anotar los siguientes puntos:

- Los datos parecen tener una buena cobertura y la calidad de los datos también parece muy buena. Sin lagunas de datos faltantes y sin deslizamiento del nivel cero,

- La variación diurna parece ser muy típica de los entornos de tráfico; *peaks* de mañana y tarde / noche. (Figura 83).
- Las variaciones estacionales son fuertes, las concentraciones de NO₂ son más altas en los meses de invierno probablemente debido a las condiciones meteorológicas ya que las emisiones (tráfico) son las mismas durante todo el año.

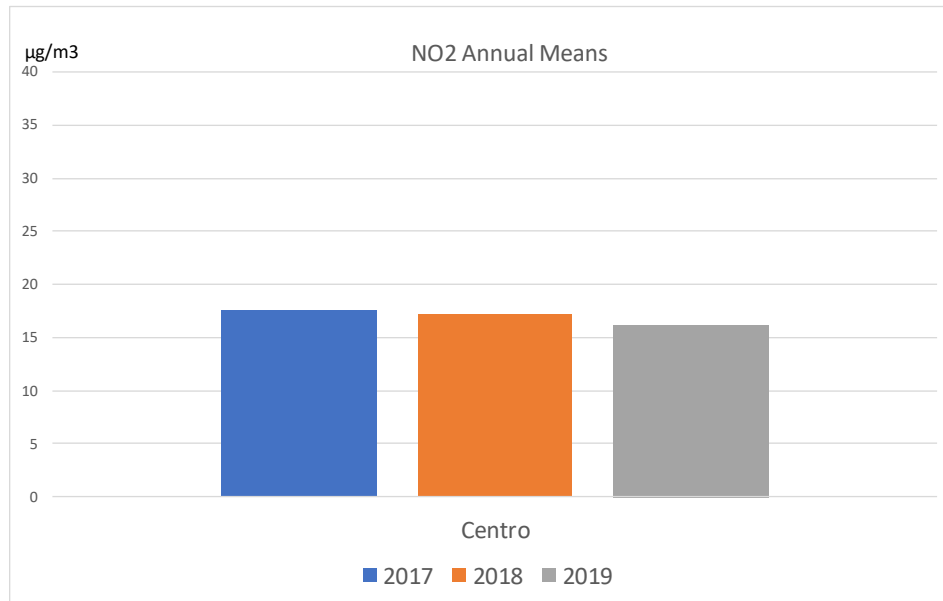


Figura 80. Valores medios anuales de NO₂ (µg /m³) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

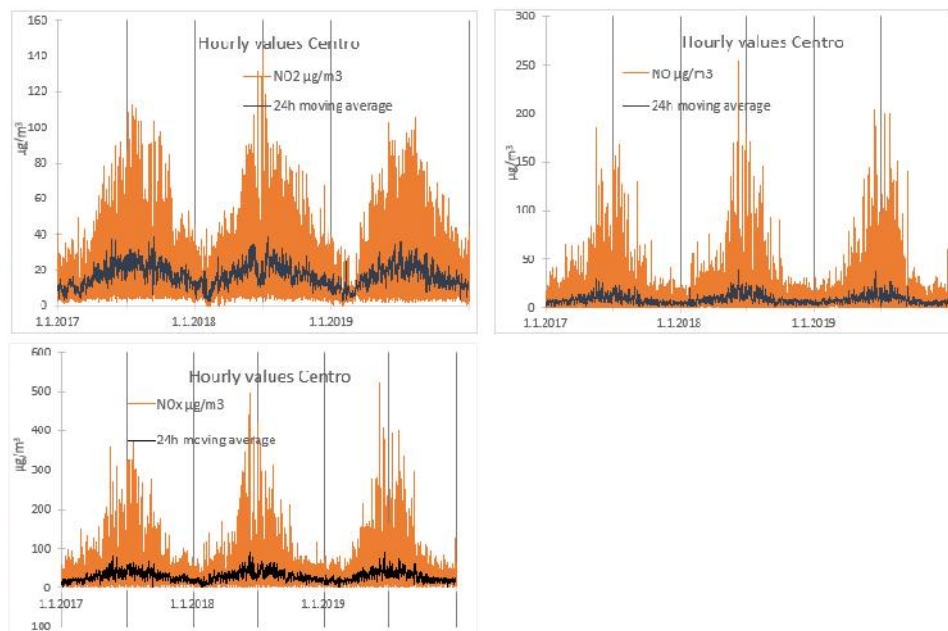


Figura 81. Valores horarios de NO₂, NO y NO_x (µg / m³) medidos en 1 estación de monitoreo de calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

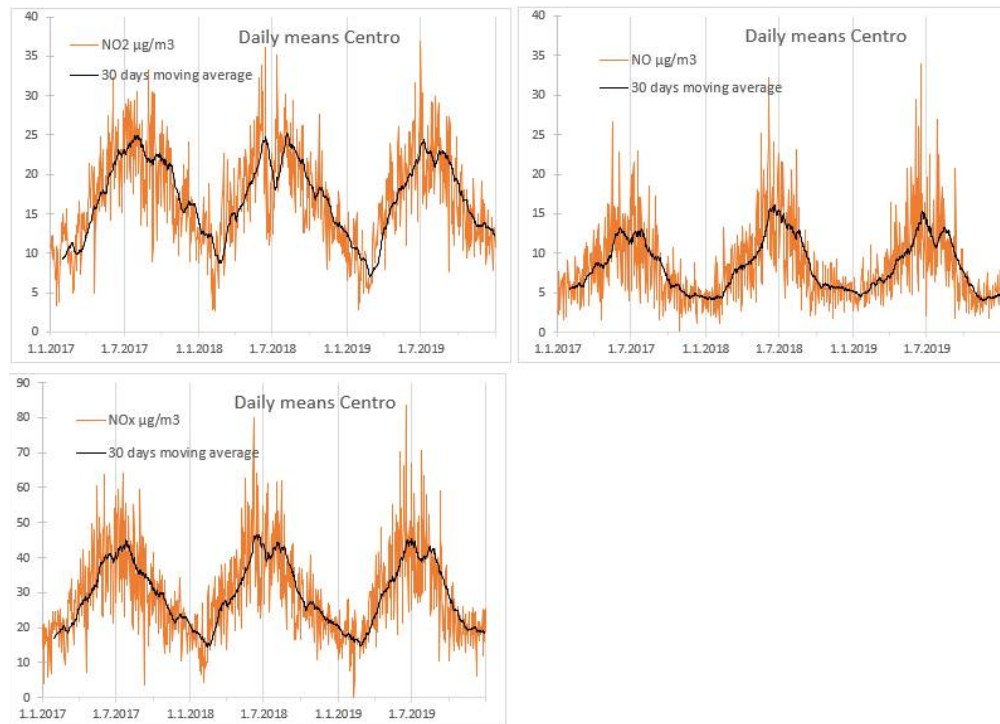


Figura 82. Valores diarios de NO₂ con una línea de tendencia (promedio móvil de 30 días, µg / m³) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire en el área de Calama en 2017-2019.

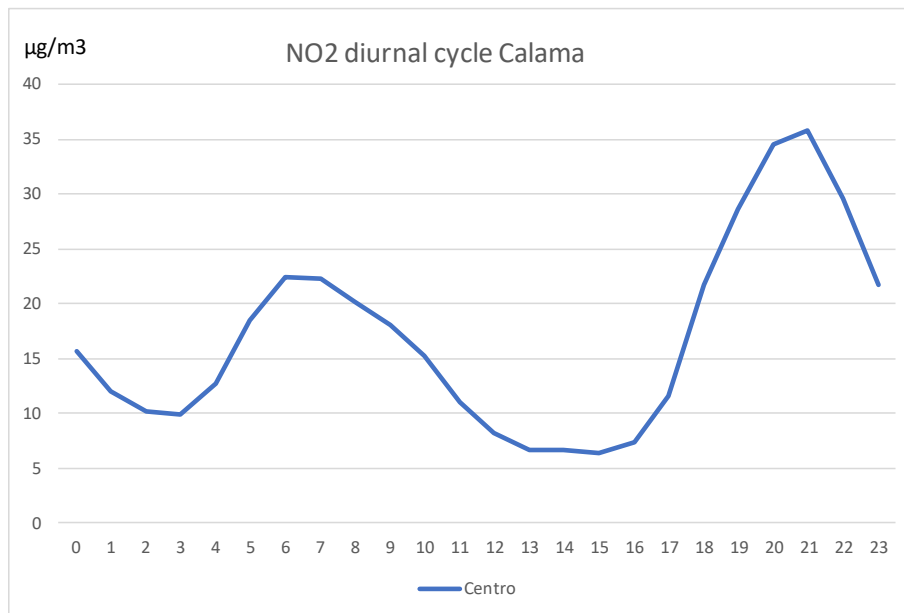


Figura 83. Ciclo diario de los valores de concentración de NO₂ (µg /m³) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire (Centro) en el área de Calama en 2017-2019.

Normalmente, el tráfico rodado tiene el mayor impacto en los niveles de NO₂. Las emisiones de NO_x de la industria y la producción de energía a menudo se liberan a través de chimeneas altas cuando se dispersan de manera efectiva y su impacto en la calidad del aire local cerca del sitio es bajo.

5. Ozono (O₃)

El O₃ fue monitoreado en 1 estación (Centro) en 2017-2019 en Calama. Los niveles de concentración son moderados. Puede haber grandes diferencias entre los niveles de concentración de ozono en diferentes años (Figura 84). Normalmente, las concentraciones de ozono son más altas cuando no hay fuentes de emisión directa cerca y el ozono no se consume en los procesos de transformación química con otros contaminantes. Las concentraciones de ozono también tienden a ser más altas en altitudes más altas. La estación Centro se ubica en el entorno del tráfico urbano, por lo que es posible que la estación Nueva Chiu Chiu mida concentraciones de ozono más altas.

De acuerdo con las series de tiempo horaria, diaria y diaria (Figuras 85, 86 y 87) se pueden anotar los siguientes puntos;

- La cobertura de datos parece buena en general. Sin embargo, falta una brecha de datos a principios de 2019.
- La variación diaria (Figura 85) muestra un buen proceso de formación de ozono. Los *peaks* ocurren en el período fotoquímicamente intenso del mediodía-tarde.
- La variación estacional de las concentraciones de ozono es clara. Curiosamente, los niveles más altos de concentración de O₃ parecen darse durante septiembre-noviembre. La formación de ozono requiere luz solar, por lo que se supone que tendrá las concentraciones de ozono más altas durante el tiempo en que la radiación de la luz solar es más fuerte.

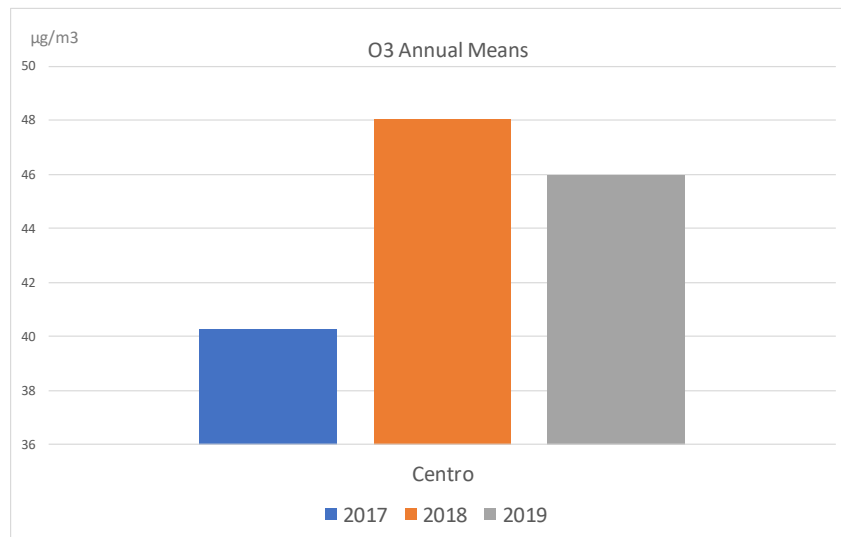


Figura 84. Valores medios anuales de O₃ (µg /m³) medidos en 1 estación de monitoreo de calidad del aire (Centro) en el área de Calama en 2017–2019.

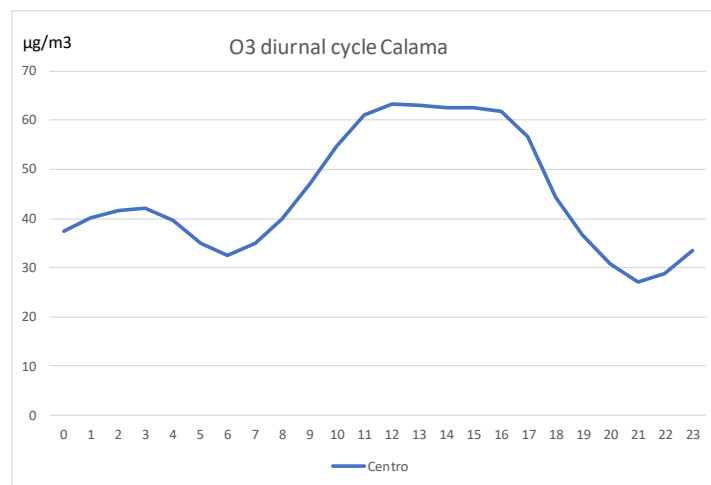


Figura 85. Ciclo diario de los valores de concentración de O₃ (µg /m³) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire (Centro) en el área de Calama en 2017-2019.

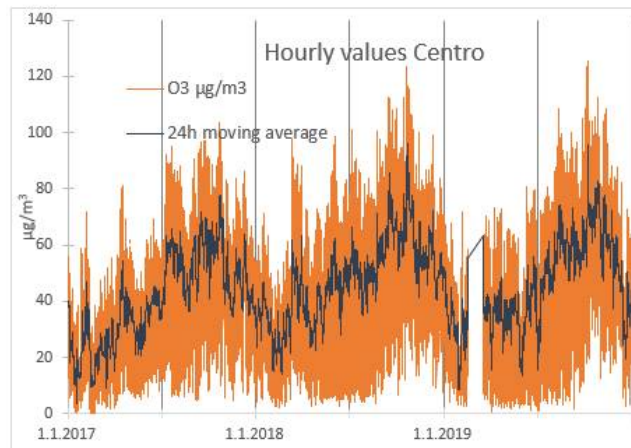


Figura 86. Valores de O₃ por hora (µg / m³) medidos en 1 estación de monitoreo de calidad del aire (Centro) en Calama en 2017-2019.

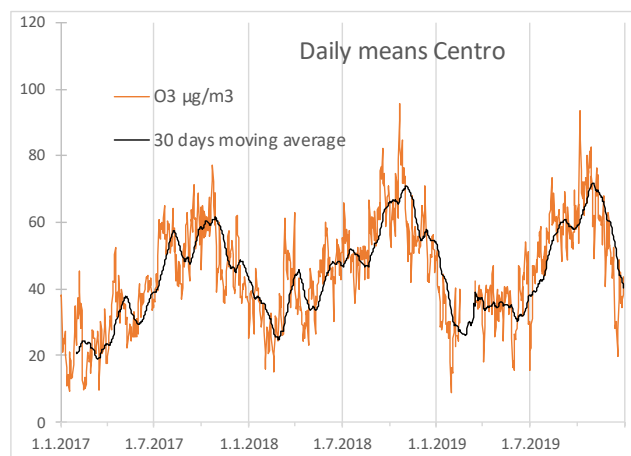


Figura 87. Valores diarios de O₃ (µg / m³) medidos en 1 estación de monitoreo de calidad del aire (Centro) en Calama en 2017–2019.

6. Monóxido de carbono (CO)

El CO fue monitoreado en 1 estación (Centro) en 2017-2019 en Calama. Los niveles de concentración son bajos (Figura 88). Parece ser que el nivel cero del analizador en la estación Centro varía demasiado (Figura 89). Mejorar el proceso de validación de datos sería beneficioso para considerar las variaciones del nivel cero y corregir los datos en consecuencia.

Los valores de referencia de la OMS (valor medio por hora de 30 mg / m³, promedio móvil de 10 mg / 8 horas) no se superan de acuerdo con los resultados del seguimiento (Figura 89).

Debido a la mala calidad de los datos causada por la fuerte variación del nivel cero, la variación estacional y diurna del CO no se puede analizar más a fondo (Figura 90).

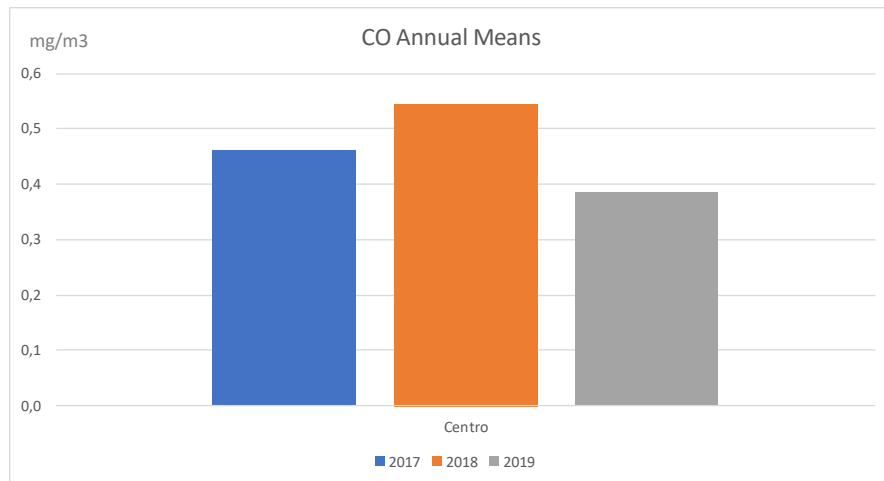


Figura 88. Valores medios anuales de CO (mg/m^3) medidos en 1 estación de monitoreo de la calidad del aire (Centro) en el área de Calama en 2017-2019.

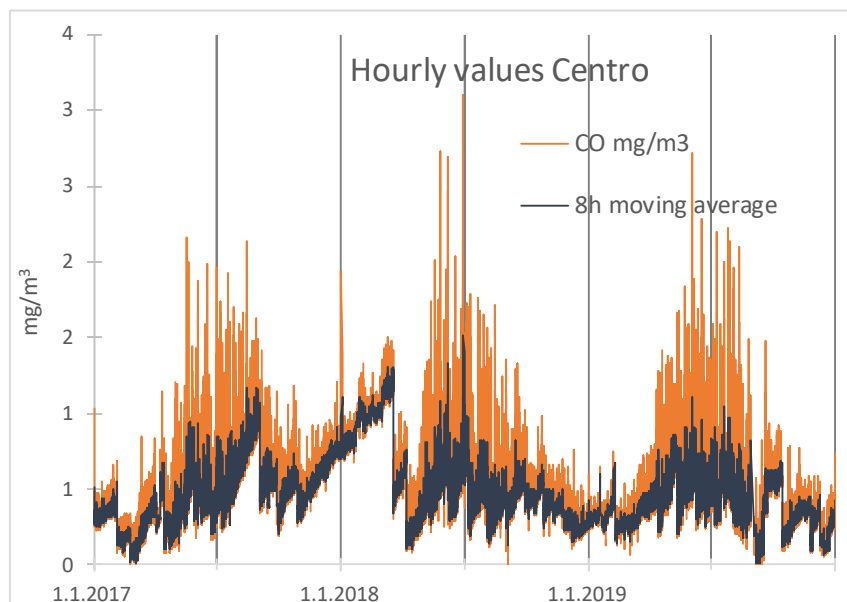


Figura 89. Valores horarios de CO (mg/m^3) medidos en 1 estación de monitoreo de calidad del aire (Centro) en el área de Calama en 2017-2019.

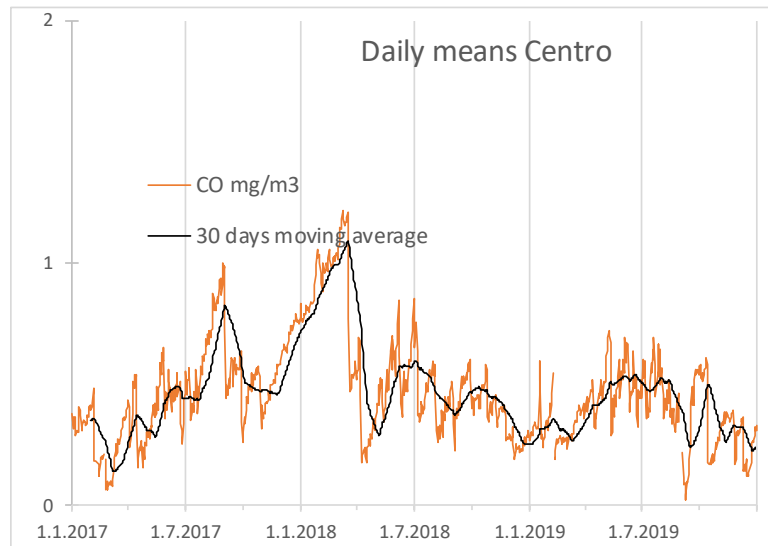


Figura 90. Valores diarios de CO (mg/m³) medidos en 1 estación de monitoreo de calidad del aire (Centro) en el área de Calama en 2017–2019.

2.2. Conclusiones parciales

Los siguientes resultados y conclusiones se basan en el análisis de los datos de monitoreo de calidad del aire de las áreas de Coronel y Huasco (2017-2019):

Area de Coronel:

- Con excepción de las mediciones de material particulado, se sugiere haer una revisión del proceso de validación de datos para todos los parámetros medidos, específicamente en lo que respecta al nivel cero.
- Se sugiere incluir información sobre las fuentes de emisión locales, ubicación de las actividades industriales, información sobre la quema de madera a pequeña escala para calefacción, cualquier otra actividad local como la quema de biomasa, que pudiera tener un impacto en las tendencias de las emisiones de SO₂.
- Se sugiere poner especial atención a la cobertura de datos, ya que a pesar de que algunas estaciones llega hasta un 98%, existen parámetros que presentan vacíos en sus mediciones por largos periodos de tiempo.
- Medir SO₂ en 11 estaciones de calidad del aire actualmente operativas en el área es excesivo e innecesario.
- Se recomienda que, en lugar de examinar las concentraciones totales de Compuestos Orgánicos Volátiles No-Metánicos (COVNM), se examinen las concentraciones de los distintos compuestos o grupos de compuestos que forman los HCNM.

Area de Huasco:

- La red de monitoreo de NO₂ en el área está sobredimensionada y podría hacerse con menos estaciones de monitoreo.
- La evaluación de la tendencia de los niveles de concentración de SO₂ es un desafío debido a la mala calidad de los datos, donde parece haber problemas obvios con el seguimiento de la calidad de los datos.
- En general, los niveles cero no están bien establecidos, parecen poco realistas y presentan cambios bruscos y repentinos.
- MP₁₀ y MP_{2,5} no se correlacionan fuertemente. Por lo tanto, parece que las MP₁₀ son causadas principalmente por fuentes / actividades diferentes a las MP_{2,5}. Información complementaria, respecto de fuentes contaminantes en los alrededores de cada estación facilitaría el entendimiento de sus orígenes.
- Los datos de monitoreo de O₃ parecen tener problemas de calidad con la cobertura de datos/datos faltantes y el nivel cero. No obstante, los niveles de concentración son bajos.

Area de Calama:

- Las concentraciones de SO₂ son relativamente bajas, muy por debajo del nivel de referencia diario de la OMS. Con excepción de la estación Nueva Chiu Chiu los datos parecen completos y el nivel cero se observa estable.
- Respecto al MP, los niveles anuales de concentración de MP_{2,5} son generalmente bajos, a diferencia de los MP₁₀, los que se exceden de las pautas anuales y diarias de la OMS en cada estación.
- Los óxidos de nitrógeno (NO₂, NO y NO_x) parecen tener una buena cobertura y la calidad de los datos también parece muy buena. Sin lagunas de datos faltantes y sin deslizamiento del nivel cero.
- Respecto del CO, se recomienda mejorar el proceso de validación de datos debido a las variaciones observadas del nivel cero y corregir los datos en consecuencia.

Anexo 2: Resultados de la evaluación de los procedimientos y protocolos de operación ejecutados en cada red de monitoreo y dar recomendaciones técnicas sobre la calidad y sus oportunidades de mejoramiento (Informe 2).

A continuación, se entregan antecedentes y luego se presentan los resultados obtenidos a raíz del desarrollo de las actividades incluidas en el objetivo específico 2.

1. Antecedentes del Informe

Esta parte del informe se basa en el análisis y evaluación de los procedimientos de control de calidad, el contenido técnico de los Procedimientos Operativos Estándar (SOP, de su sigla en inglés) y la documentación de calibración y mantenimiento que actualmente ejecutan los operadores de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire en las áreas de Calama, Huasco y Coronel en Chile. El estudio se concentra en las mediciones de MP₁₀, MP_{2.5}, SO₂, O₃, NO / NO₂ / NO_x y CO. Los documentos de mantenimiento y calibración incluyen los certificados y diarios de calibración, y el mantenimiento del equipo de monitoreo durante el período operativo 2019-2020. En el informe se identifican las posibles no conformidades y la falta de documentación. Las Metodologías Estándar EN se consideran el punto de referencia para la evaluación. Con base en el análisis de datos, se dan sugerencias para la mejora de los procedimientos técnicos, garantía de calidad y control de calidad (GC/CC) y documentación de las mediciones de la calidad del aire.

En la UE, el control de la calidad del aire está regulado en gran medida por las directivas de calidad del aire de la UE. Las directivas enumeran los objetivos detallados de la calidad de los datos y los métodos de referencia para las mediciones de la calidad del aire. Los métodos de referencia se refieren a normas EN específicas, que establecen los requisitos para las técnicas e instrumentación de medición de la calidad del aire, la operación de campo y el control de calidad continuo, así como la expresión de los resultados.

1.1 REGULACIONES EN TEMAS DE MEDIDAS DE CALIDAD DEL AIRE

1.1.1 Requisitos de las Directrices de la UE

Las Directrices de la UE 2008/50/CE y 2015/1480/CE relativas a la calidad del aire definen objetivos de calidad del aire ambiental destinados a evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente. Con este fin, establece medidas para la evaluación de la calidad del aire ambiental en los Estados Miembros, así como para obtener información sobre la calidad del aire ambiental, con el objetivo de contribuir a la lucha contra la contaminación del aire y las molestias que esta provoca. En cuanto a las mediciones, se enumeran, por ejemplo, los métodos de referencia, los objetivos de calidad de los datos especificados y los requisitos para las mediciones trazables. Además, establece el requisito de que las redes mantengan sistemas de garantía de calidad y control de calidad que sean revisados periódicamente (por lo menos cada cinco años) por los laboratorios nacionales de referencia (NRL). Los métodos de referencia se describen en el capítulo 1.1.2 de este anexo. Los objetivos de calidad de los datos establecen los requisitos para la incertidumbre en la medición, la captura mínima de datos y la cobertura temporal mínima. Estos se dan en la Tabla 5 para SO₂, NO/NO₂/NO_x, O₃, CO, MP₁₀ y MP_{2.5}.

En cuanto a la incertidumbre de la medición, en las Metodologías normalizadas EN enumeradas en el capítulo 1.1.2 se dan instrucciones específicas sobre cómo calcular estos valores. El cálculo de la incertidumbre en la medición incluye varios parámetros, como la incertidumbre del cero, el span y el gas de calibración, la eficiencia del convertidor (sólo para el NO_x), las desviaciones a largo plazo del cero y el span, la falta de ajuste, es decir, linealidad de la calibración multipunto y varios otros parámetros. Una parte de estos parámetros se basa en las pruebas de homologación específicas del analizador que están disponibles en línea (<https://qa1.de/en>) y otra parte debe ser determinada por el operario. Dado que los cálculos son bastante complejos y determinar la incertidumbre en la medición es obligatoria, los laboratorios nacionales de referencia suelen impartir formación a los operarios. Por ejemplo, en Finlandia, el NRL organiza cursos de formación sobre incertidumbre en las mediciones y también preparan plantillas de hojas de Excel para los cálculos con el fin de ayudar a los operarios locales en esta tarea. Estas plantillas de Excel están disponibles de forma gratuita en <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/raportit-ja-lomakkeet> (el sitio web está en finés, pero las plantillas están en inglés).

La cobertura temporal mínima indica la proporción del año natural en el que se planifican las mediciones de $N_{\text{planeado}}/N_{\text{año}}$. Para mediciones continuas, el requisito de calidad para la cobertura de tiempo es generalmente del 100%. En la práctica, esto significa que las mediciones se planifican para realizarse en todo momento: los analizadores de gases y de MP miden todo el tiempo y las muestras de filtros de 24 h para la masa de MP se recogen todos los días del año. Por ejemplo, los filtros de partículas recogidos para el análisis de metales cada 3 días representan una cobertura temporal del 33% ($N_{\text{planeado}}=\text{cada 3 días son 122 días al año}$; $N_{\text{año}}=365$ días; por tanto, $122/365=33\%$).

La captura mínima de datos indica la parte de la cobertura temporal para la que se dispone de datos de medición ($N_{\text{valido}}/N_{\text{tiempo cobertura}}$). La captura mínima de datos suele ser del 90% menos el 5% de tiempo estimado necesario para el mantenimiento y la calibración, lo que da como resultado una captura mínima de datos real del 85%. En la práctica, este porcentaje es la cantidad real de datos que se midieron. Dado que el mantenimiento y la calibración requieren tiempo y puede haber otras interrupciones en los datos debido a problemas de electricidad o al mal funcionamiento de los instrumentos, sería imposible cumplir con la cobertura de tiempo prevista (100%), por lo que basta con tener un 85% de captura de datos cada año (311 días completos).

Tabla 5. Objetivos de calidad para la incertidumbre de medición admisible de las mediciones continuas, la cobertura temporal de las mediciones y la cobertura mínima de los datos de medición (Directrices de calidad del aire de la UE).

Objetivo	SO ₂ , NO/NO ₂ /NO _x , CO	MP ₁₀ , MP _{2.5}	O ₃
Incertidumbre en la medición	15 %	25 %	15 %
Captura mínima de datos	90 %	90 %	75–90 % ¹⁾
Cobertura de tiempo mínima	100 %	100 %	100 %

1) 90% en verano y 75% en invierno

Las Directivas indican los métodos de referencia, por lo que los requisitos enumerados en las Metodologías normalizadas EN están vinculadas a la legislación. Los requisitos se describen en la siguiente sección y se dan instrucciones detalladas sobre cómo realizar mediciones de la calidad del aire.

1.1.2 Requisitos de las Normas de la metodología de referencia EN

La evaluación se basa en una comparación entre los procedimientos de los operarios (SGS y Algoritmos) y las Metodologías normalizadas EN (en adelante denominadas Normas EN). La lista de normas EN se presenta a continuación en la Tabla 6. Todos los métodos normalizados son métodos de referencia (REF) en la UE, excepto uno para la medición continua de MP, que se considera un método equivalente (EQUIV) cuando se muestra.

Tabla 6. Métodos de referencia en la UE para la evaluación de las concentraciones de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas (MP₁₀ y MP_{2,5}), monóxido de carbono y ozono.

Contaminante	Código de la norma	Nombre de la norma	Estado
<i>Gases</i>			
SO ₂	EN 14212:2012	Aire ambiente. Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de azufre por fluorescencia de ultravioleta	REF
NO/NO ₂ /NO _x	EN 14211:2012	Aire ambiente. Método normalizado de medida de la concentración de dióxido de nitrógeno y monóxido de nitrógeno por quimioluminiscencia	REF
CO	EN 14626:2012	Aire ambiente. Método normalizado para la medición de la concentración de monóxido de carbono por espectroscopía infrarroja no dispersiva	REF
O ₃	EN 14625:2012	Aire ambiente. Método normalizado de medida de la concentración de ozono por fotometría ultravioleta	REF
<i>Material particulado</i>			
MP ₁₀ y MP _{2,5}	EN 12341:2014	Aire ambiente. Método de medición gravimétrico normalizado para la determinación de la concentración másica MP ₁₀ o MP _{2,5} de la materia particulada en suspensión	REF
MP ₁₀ y MP _{2,5}	EN 16450:2017	Aire ambiente. Sistemas automáticos de medida para la medición de la concentración de materia particulada (MP ₁₀ ; MP _{2,5})	EQUIV

En las normas EN, existen requisitos específicos para la calibración, las comprobaciones y el mantenimiento. Para ellos, se da la frecuencia requerida de aplicación así como los criterios de acción cuando se realizan correcciones o ajustes. Éstos se enumeran a continuación en la Tabla 7 para los gases y en la Tabla 8 para las mediciones de MP.

Tabla 7. Frecuencia requerida de calibración, verificación y mantenimiento de las mediciones de gases en la UE.

Contaminante	Calibración, comprobaciones y mantenimiento	Frecuencia	Criterios de acción ^{d,h}
Todos	Calibración del analizador	Al menos cada tres meses y después de una reparación	Desviación del cero o del span más allá de las tolerancias establecidas por el usuario
SO ₂	Repetibilidad en el cero y el span del analizador	En combinación con la calibración, utilizando los datos de ésta	Desviación estándar de la repetibilidad en cero: ≥ 1.0 nmol/mol Desviación estándar de la repetibilidad en span: ≥ 1.5 % de concentración del span
NO _x	Repetibilidad en el cero y el span del analizador	En combinación con la calibración, utilizando los datos de ésta	Desviación estándar de la repetibilidad en cero: ≥ 1.0 nmol/mol Desviación estándar de la repetibilidad en span: ≥ 0.75 % de concentración del span

O3	Repetibilidad en el cero y el span del analizador	En combinación con la calibración, utilizando los datos de ésta	Desviación estándar de la repetibilidad en cero: ≥ 1.5 nmol/mol Desviación estándar de la repetibilidad en span: ≥ 2.0 % de concentración del span
CO	Repetibilidad en el cero y el span del analizador	En combinación con la calibración, utilizando los datos de ésta	Desviación estándar de la repetibilidad en cero: ≥ 0.5 μ mol/mol Desviación estándar de la repetibilidad en span: ≥ 3.0 % de concentración del span
Todos	Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones de cero y de span	Al menos cada seis meses	Cero: \geq límite de detección Span: ≥ 5.0 % de la verificación anterior
SO ₂ , O ₃	Comprobación del cero y del span	Al menos cada dos semanas ^a	Cero: ≤ -4 o ≥ 4 nmol/mol Span: ≥ 5.0 % del valor inicial del span
NO _x	Comprobación del cero y del span	Al menos cada dos semanas ^a	Cero: ≤ -4 o ≥ 4 nmol/mol Span: ≥ 5.0 % del valor inicial del span y diferencia real entre los canales de NO _x y NO ≤ 5.0 %
CO	Comprobación del cero y del span	Al menos cada dos semanas ^a	Cero: $\leq -0,5$ o $\geq 0,5$ μ mol/mol Span: ≥ 5.0 % del valor inicial del span
SO ₂ , NO _x , O ₃	Falta de comprobación de ajustes (a realizar en laboratorio o en el terreno) (esto significa comprobación de linealidad)	En el plazo de un año tras la instalación inicial y tras la reparación Mayor frecuencia en función de los resultados de la prueba anterior	Falta de ajustes > 4.0 % del valor medido Falta de ajustes > 5 nmol/mol a cero
CO	Falta de comprobación de ajustes (a realizar en laboratorio o en el terreno)	En el plazo de un año tras la instalación inicial y tras la reparación Mayor frecuencia en función de los resultados de la prueba anterior	Falta de ajustes > 4.0 % del valor medido Falta de ajustes $> 0,5$ μ mol/mol a cero
NO _x	Eficiencia de los convertidores	Al menos cada año	< 95 % ^{e,f,g}
Todos	Colector de muestras de prueba - influencia de la caída de presión inducida por la bomba del colector - eficacia de la toma de muestras	Al menos cada tres años	influencia ≥ 1.0 % del valor medido influencia ≥ 2.0 % del valor medido
SO ₂	Cambio de los filtros de partículas ^b del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	En función de los resultados de una prueba de idoneidad, pero como mínimo cada tres meses ^c	-
NO _x , CO	Cambio de los filtros de partículas ^b del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	En función de los resultados de una prueba de idoneidad, pero como mínimo cada tres meses ^c	La respuesta al gas de span que pasa por el filtro es ≤ 97.0 %
O ₃	Cambio de los filtros de partículas ^b del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	Al menos cada tres meses ^c	-
Todos	Prueba de las líneas de muestreo	Al menos cada seis meses ^c	≥ 2.0 % de pérdida de muestra
Todos	Cambio de consumibles	Según lo requiera el fabricante ^c	Según se requiera

Todos	Mantenimiento preventivo/de rutina de los componentes del analizador	Según lo requiera el fabricante	Según se requiera
-------	--	---------------------------------	-------------------

- a) Recomendado cada 23 o 25 h. Esto permite la identificación de analizadores inestables en una etapa temprana.
- b) El filtro de partículas se cambiará periódicamente en función de la carga de polvo en el lugar de muestreo. La sobrecarga del filtro de partículas puede cambiar la concentración de monóxido de nitrógeno y/o dióxido de nitrógeno. El alojamiento del filtro se limpiará cada 6 meses.
- c) Depende de las condiciones específicas del lugar establecidas en la instalación inicial.
- d) Si se produce una infracción de un criterio de acción, se tomarán medidas correctivas lo antes posible. Se hará una evaluación de la influencia de la infracción detectada en los datos de medición producidos antes de que se produjera la corrección efectiva de la infracción y se tendrá en cuenta durante la validación de los datos. Para garantizar el cumplimiento del criterio de captura de datos, éstos deberán ser inspeccionados por un operario capacitado todos los días laborables.
- e) En los niveles de eficiencia inferiores al 98 % es necesario aplicar una corrección por la (falta de) eficiencia del convertidor. La incertidumbre de la corrección se incluirá entonces en el presupuesto de la incertidumbre.
- f) Podrán utilizarse analizadores con convertidores no térmicos con eficiencias inferiores al 95 % que se utilicen en zonas rurales siempre que se determine la incertidumbre del factor de conversión y se demuestre que los resultados del analizador son equivalentes.
- g) En los analizadores de NOx con una sola cámara de reacción, una fuga en la válvula de conmutación entre los canales de NO y NOx puede provocar un grado de mezcla de los componentes de NO2 y NO, causando una subestimación de la lectura de la concentración de NO2. Esto puede contribuir a una subestimación de la eficiencia del convertidor.
- h) La combinación de una serie de características de rendimiento que se aproximan a sus respectivos criterios de acción puede dar lugar a una violación del objetivo de calidad de los datos de la incertidumbre de la medición especificado en la Directiva 2008/50/CE. En este caso, se reevaluará incertidumbre en la medición para asegurar la conformidad con los requisitos de incertidumbre.

Comprobación de falta de ajustes: significa comprobar la linealidad del instrumento con una calibración multipunto. La falta de ajustes del analizador se comprueba utilizando como mínimo las siguientes concentraciones: 0 %, 60 %, 20 % y 95 % del máximo del rango de certificación del contaminante (por ejemplo, NO) o del rango definido por el usuario. En cada concentración (incluido el cero) se realizarán al menos dos lecturas individuales.

Tabla 8. Frecuencia requerida de calibración, verificación y mantenimiento de las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5} en la UE. Se aplican requisitos similares para las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5}.

Calibración, comprobaciones y mantenimiento	Frecuencia ^a	Lab/campo	Acción criterios ^b	Requisitos de incertidumbre para los estándares de transferencia
<i>Método gravimétrico de MP con muestreo de filtro de bajo volumen (método de referencia)</i>				
Mantenimiento regular de los componentes del muestreador	Según lo requiera el fabricante	L / F	-	-
Comprobaciones de los sensores de temperatura y presión en el muestreador	Cada 3 meses ^a	F	±3 K ±1 kPa	-
Calibración de los sensores de temperatura y presión en el muestreador	Cada año	L / F	±1,5 K ±0,5 kPa	1.5 °C 0.5 kPa
Comprobación de la tasa de flujo de la muestra	Cada 3 meses ^a	F	5 %	2 %
Calibración de la tasa de flujo de la muestra	Cada año	L / F	1 %	1 %
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	Cada año	L / F	1 %	-
Comprobaciones de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa	Cada 6 meses	L	±1 K ±3 % RH	0.4 °C 3 % RH

Comprobaciones de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa	Cada año	L	-	0.2 °C 2 % RH
Calibración de la balanza	Cada año	L	-	25 µg (para el rango 0–200 mg)
<i>Analizadores continuos de MP (equivalentes cuando están probados)</i>				
Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos	Diariamente (en días laborables)	L / F	Ver a continuación	-
Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad ^c	Cada 3 meses	F	±2 °C ±1 kPa ±5 % RH	-
Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad ^c	Cada año	L / F	-	1.5 °C 0.5 kPa 3 % RH
Comprobación de la(s) tasa(s) de flujo de AMS	Cada 3 meses	F	±5 %	2 %
Calibración de la(s) tasa(s) de flujo de AMS	Cada año	L / F	-	1 %
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	Cada año	F	±2 %	-
Comprobación cero de la lectura de AMS	Cada año	L / F	±3 µg/m ³	-
Comprobación del sistema de medición de masas AMS	Según las recomendaciones del fabricante y después de la reparación, pero al menos cada año	L / F	según lo establecido por el fabricante, o ±3% si es necesario	-
Mantenimiento regular de los componentes del AMS	Según lo requiera el fabricante	L / F	como establezca el fabricante	-

^a Las frecuencias de las comprobaciones y calibraciones podrán relajarse cuando exista un historial suficiente que demuestre que las derivaciones de las lecturas de los sensores y los caudales se mantienen dentro de los requisitos especificados.

^b Con referencia a los valores nominales.

^c Para algunos instrumentos, esas comprobaciones y calibraciones no son posibles in situ debido a la posición de los sensores dentro del AMS. Por lo tanto, estas comprobaciones y calibraciones se limitan a los sensores que son accesibles en el campo (normalmente en el cabezal de muestreo). Como parte de las verificaciones anuales, las comprobaciones pueden realizarse en una sala de laboratorio con temperatura y humedad relativa constantes, comparando las lecturas de los sensores (después de la estabilización) con las de los patrones de referencia.

1.1.3 [Requisitos de la normativa chilena, Decreto N.º 61](#)

En Chile, la regulación de las estaciones de supervisión de la calidad del aire se documenta en el Decreto N.º 61. Como directivas de la UE y normas EN, enumera los requisitos para las mediciones de la calidad del aire. A continuación se indican las diferencias esenciales de la normativa chilena en comparación con la de la UE (Tabla 9). Sin embargo, puede haber requisitos legislativos adicionales en Chile de los que no tienen conocimiento los autores del presente informe. Las diferencias se dan aquí como información contextual para la evaluación realizada en este Informe ya que explican algunas de las diferencias de las actividades de los operarios en comparación con las normas EN.

Tabla 9. Diferencias de la normativa chilena documentada en el Decreto N.° 61 con respecto a la normativa europea.

Diferencia
El Decreto no establece valores límite o umbrales de información y alerta.
El Decreto no menciona todos los contaminantes pertinentes, por ejemplo, el benceno, los metales pesados (arsénico, cadmio, níquel, mercurio) y los hidrocarburos poliaromáticos como el benzo(a)pireno. En la legislación de la Unión Europea también es necesario medir las sustancias precursoras del ozono (compuestos orgánicos volátiles, COV) CE/OC, el sulfato, el nitrato, el amonio y otros iones principales.
En el Decreto no se habla del número de puntos de muestreo ni del número de compuestos medidos.
El Decreto no trata de los diferentes lugares de medición, por ejemplo, industrial, de tráfico, de fondo urbano, de fondo rural.
El Decreto no menciona ninguna Metodología normalizada a seguir, sino que enumera los requisitos para, por ejemplo, la calibración, GC/CC y la presentación de informes en sí misma.
El Decreto no establece objetivos para la incertidumbre de la medición.
La captura de datos para el valor diario es del 75 % mientras que no se da la captura de datos para el valor horario.
El Decreto no exige la documentación (y posterior revisión) de la selección del emplazamiento.
El Decreto no habla de poner los datos a disposición del público.
El Decreto no establece requisitos para los sistemas oficiales de gestión de la calidad.
El tiempo máximo de residencia se establece en 20 segundos (Normas EN 5-6 s, especialmente importante para las mediciones de NOx).
Los requisitos de localización de las entradas para los sistemas de muestreo y su altura difieren de las directivas de la UE.
La calibración de los flujos y presiones en los analizadores de gas se realizará al menos una vez al año y cada vez que haya una intervención importante, mientras que en las normas EN el flujo de muestras en el analizador se mantendrá dentro de las especificaciones del fabricante del analizador. En las normas EN no se dan más consejos para la calibración o las comprobaciones, ya que los analizadores dan avisos cuando el flujo se encuentra fuera de las especificaciones
Calibración multipunto del analizador de CO, SO ₂ , O ₃ : una vez al año (al menos 5 puntos) mientras que en las Normas EN, cada 3 meses cero y span, y linealidad una vez al año. La máxima precisión permitida para cada punto utilizado en la calibración (referida a la concentración del gas de calibración) es del 10%; un porcentaje mayor de ajuste de fuerzas, mientras que en las Normas EN el criterio de acción es del 5% para las comprobaciones.
Calibración del cero y el span en los analizadores de gas al menos una vez a la semana. La calibración del cero y el span puede realizarse con gases de calibración con una precisión analítica de hasta el 2 %. Esto es más relajado en las Normas EN, ya que se requiere el cero y el span cada dos semanas (aunque se recomienda 23 o 25 h) y la máxima incertidumbre permitida para el gas de calibración es del 5 %.
El proceso de validación debe llevarse a cabo sobre la base de los datos obtenidos según los meses naturales, mientras que en las Directivas de la UE los datos deben estar disponibles en línea para el público y los datos validados deben enviarse anualmente a la Agencia Europea de Medio Ambiente.

1.2 SITIOS EVALUADOS

La evaluación incluyó mediciones de CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂, MP₁₀ y MP_{2.5}. En las directrices de la UE relativas a la calidad del aire, no hay instrucciones, requisitos ni objetivos de calidad específicos para los datos meteorológicos. Estos datos se consideran datos complementarios para la interpretación de los datos de calidad del aire. Es necesario confirmar que los sensores meteorológicos funcionan correctamente y se deben seguir los

manuales de los sensores. Esto puede incluir, por ejemplo, comprobaciones, calibraciones o comparación con los datos meteorológicos oficiales. Es crucial que los sensores meteorológicos se instalen correctamente, y se recomienda un procedimiento normalizado de trabajo (PNT) para la instalación. En cuanto a las mediciones de hidrocarburos, las directrices de la UE y las normas EN proporcionan orientación y requisitos para la medición de hidrocarburos específicos, como el benceno, pero los hidrocarburos totales no se mencionan en la legislación. En cuanto a las deposiciones, las directrices de la UE y las normas EN ofrecen orientaciones y requisitos para el muestreo y el análisis químico de las precipitaciones (por ejemplo, para la determinación de arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el agua de lluvia).

En total hay cinco sitios de medición de calidad del aire en funcionamiento en Calama, 14 estaciones de medición de calidad del aire operativas y 1 estación de observación meteorológica adicional en Huasco y 13 estaciones de medición de calidad del aire operativas y 1 estación de observación meteorológica adicional en Coronel. En la zona de Calama, Huasco y Coronel, las mediciones de calidad del aire son realizadas por cinco operarios: Algoritmos, Bureau Veritas, Inerco Chile, Serpram-Suez y SGS. **Algoritmos** opera **7 sitios** (Huasco Sívica en Huasco, y Calabozo, Coronel Norte, Coronel Sur, Cerro Merquín, Punteras Hualqui en Coronel), **Bureau Veritas 16 sitios** (M-1, SM-2, SM-3, SM-4, SM-5, SM-6, SM-7, SM-8, EME-F, EME-M, 21 de Mayo, Las Losas, Huasco II y STP en Huasco y Lo Rojas y Mapal en Coronel). **Inerco Chile 4 sitios** (Escuadrón, Lagunillas, Lota Urbana y Lota Rural en Coronel), **Serpram-Suez 1 sitio** FCP en Coronel, **SGS 5 sitios** (Club Deportivo 23 de Marzo (CD23M), Colegio Pedro Vergara Keller (PVK), Hospital, Centro y Nueva Chiu Chiu en Calama).

Para la evaluación, se seleccionaron siete sitios en cooperación con MMA para presentar las mediciones de calidad del aire en el área mantenida por los diferentes operarios. Los emplazamientos seleccionados fueron:

1. CALAMA, Centro (operario SGS)
2. HUASCO, Huasco Sívica (operario Algoritmos)
3. HUASCO, EME-F (operario Bureau veritas)
4. CORONEL, Coronel Sur (operario Algoritmos)
5. CORONEL, FCP (PM10)- (operario Serpram-Suez)
6. CORONEL, Lota Rural (operario Inerco)
7. CORONEL, Lo Rojas, (operario Bureau Veritas-Cesmec)

Otras mediciones no incluidas en este estudio

En las directivas de la UE relativas a la calidad del aire, no hay instrucciones, requisitos ni objetivos de calidad específicos para los datos meteorológicos. Estos datos se consideran datos complementarios para la interpretación de los datos de calidad del aire. Es necesario confirmar que los sensores meteorológicos funcionan correctamente y se deben seguir los manuales de los sensores. Esto puede incluir, por ejemplo, comprobaciones, calibraciones o comparación con los datos meteorológicos oficiales. Es crucial que los sensores meteorológicos se instalen correctamente, y se recomienda un procedimiento normalizado de trabajo (PNT) para la instalación.

En cuanto a las deposiciones, las Directivas de la UE y las normas EN ofrecen orientaciones y requisitos para el muestreo y el análisis químico de las precipitaciones (por ejemplo, para la determinación de arsénico, cadmio, níquel, mercurio y benzo(a)pireno en el agua de lluvia). Los métodos de referencia para la deposición de HAP y oligoelementos son los siguientes:

- EN 15980:2011 – Calidad del aire ambiente. Determinación de la deposición de benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[j]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[a]pireno, dibenzo[a,h]antraceno e indeno[1,2,3-cd]pireno.
- EN 15841:2009 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la determinación de arsénico, cadmio, plomo y níquel en depósitos atmosféricos.
- EN 15853:2010 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la determinación de la deposición de mercurio.

Además, a continuación se indican los métodos de referencia para estos contaminantes del aire ambiente:

- EN 15549:2008 – Calidad del aire. Método normalizado para la medición de la concentración de benzo(a)pireno en el aire ambiente
- EN 14902:2006 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medida de Pb, Cd, As y Ni en la fracción MP 10 de la materia particulada en suspensión.
- EN 15852:2010 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total.

En cuanto a las mediciones de hidrocarburos, las Directivas de la UE y las normas EN proporcionan orientación y requisitos para la medición de hidrocarburos específicos, como el benceno, pero los hidrocarburos totales no se mencionan en la legislación. Los métodos de referencia para el benceno son los siguientes:

- EN 14662-1:2005 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medición de las concentraciones de benceno. Parte 1: Muestreo por aspiración seguido de desorción térmica y cromatografía de gases.
- EN 14662-2:2005 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medición de las concentraciones de benceno. Parte 2: Muestreo por aspiración seguido de desorción por disolvente y cromatografía de gases.
- EN 14662-3:2015 – Aire ambiente. Método normalizado para la medición de las concentraciones de benceno. Parte 3: Muestreo automático por aspiración con cromatografía de gases in situ.

Además, existen normas EN para el muestreo pasivo de benceno (por ejemplo, período de muestreo de dos semanas). Estas mediciones se consideran indicativas, pero proporcionan una excelente herramienta para la evaluación inicial de los niveles de benceno y son una forma más económica de iniciar la supervisión del benceno, así como del tolueno, el etilbenceno y el xileno (compuestos BTEX). Estas normas EN son las siguientes:

- EN 14662-4:2005 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medición de las concentraciones de benceno. Parte 4: Muestreo difusivo seguido de desorción térmica y cromatografía de gases.
- EN 14662-5:2005 – Calidad del aire ambiente. Método normalizado para la medición de las concentraciones de benceno. Parte 5: Muestreo difusivo seguido de desorción por disolventes y cromatografía de gases.

1.3 Resultados de la evaluación

Para cumplir con la evaluación de este informe, en febrero-marzo de 2021 se solicitaron al MMA y a Eurochile los documentos prioritarios de las mediciones de calidad del aire de las estaciones seleccionadas. Estos documentos incluían:

- PNT u otras instrucciones sobre cómo realizar el mantenimiento, la calibración y otros trabajos diarios con los monitores de calidad del aire
- Informes de calibración y mantenimiento
- Certificados de los equipos de supervisión, incluyendo calibradores, sistemas de aire cero, medidores de flujo y botellas de gas

Además, en la evaluación se incluyeron también otros documentos, como PNT para la validación de datos. Eurochile envió los documentos evaluados en junio-agosto de 2021. Muchos de los documentos se tradujeron previamente al inglés. La evaluación en este informe se basa en la documentación recibida. Es esencial señalar que puede ignorar alguna documentación existente de los operarios que no fue entregada o no fue puesta en conocimiento para la evaluación. Las normativas de la UE y las Normas EN se consideran el punto de referencia con el que se comparan las actividades de medición en la zona de Calama, Huasco y Coronel.

A continuación se realiza la evaluación de cada categoría por separado para los cinco operarios, con el fin de aclarar las posibles diferencias de funcionamiento entre ellos. Las principales conclusiones y recomendaciones se subrayan, y las más importantes se indican en **negrita**, y suelen estar relacionadas directamente con la veracidad de los datos de medición.

A continuación se presenta la evaluación de cada operario (por orden alfabético) por separado. En este informe no se ha evaluado todo el sistema de gestión de la calidad (SGC), sino los documentos prioritarios relacionados con las mediciones de la calidad del aire. Cada capítulo específico del operario incluye la evaluación de los PNT, los procedimientos de GC/CC, el mantenimiento y las calibraciones, y la trazabilidad y la incertidumbre en las mediciones como subcapítulos separados. El término PNT (procedimiento normalizado de trabajo) se considera un documento que incluye instrucciones sobre cómo realizar actividades específicas relacionadas con las mediciones de la calidad del aire y no es necesario que sea un procedimiento normalizado oficial. La información sobre los procedimientos de GC/CC, el mantenimiento y las calibraciones se evaluó a partir de los PNT, los programas/planes de mantenimiento y calibración y los cuadernos/diarios/hojas de datos de mantenimiento y calibración. La trazabilidad y la incertidumbre en las mediciones se evaluaron a partir de los certificados de los estándares (por ejemplo, las botellas de gas utilizadas para el span y la calibración, los caudalímetros).

PNT

En general, los PNT de los operarios eran detallados y estaban bien elaborados. Parecían formar parte de los sistemas oficiales de gestión de la calidad (SGC), pero esto no se confirmó en este estudio. Para la evaluación, no se entregaron algunos de los PNT solicitados, por lo que las conclusiones de este informe se basan únicamente en la documentación entregada.

Procedimientos de GC/CC: Mantenimiento y calibraciones

La evaluación de las actividades de mantenimiento y calibración se basó en la documentación recibida de los operarios, así como en los cuadros de resumen proporcionados por el MMA. En general, los documentos evaluados incluían diarios de calibración y mantenimiento, registros de la estación, certificados y planes de calibración y mantenimiento.

En general, los operarios deben prestar atención a los términos *calibración* y *comprobación*. El término *calibración* se utiliza de manera generalizada incluso cuando la actividad ha sido más bien una *comprobación*. Por ejemplo, cuando los operarios dan instrucciones para realizar una *calibración de cero y span*, la actividad es

en realidad una comprobación si el instrumento no está ajustado (lo que está muy bien en una base semanal siempre que la comprobación haya dado resultados aceptables).

Una conclusión común fue que los operarios realizan calibraciones de flujo de los analizadores de gas con frecuencia. En las normas EN no se indica la frecuencia de dicha calibración o verificación y, además, el procedimiento ni siquiera se menciona en las normas EN. En cambio, se menciona que el mantenimiento preventivo y de rutina de los componentes del analizador se indica con el objetivo de que se haga según lo requerido por el fabricante. Por lo general, no es necesario realizar la calibración de flujo a menos que el analizador solicite tal actividad con alarmas. En el caso de tal alarma, normalmente el problema es con la bomba (la membrana de la bomba está rota o la válvula tiene una fuga) o hay una fuga en los conductos de escape. Por lo tanto, no se evaluó la documentación de calibración del flujo, y se recomienda encarecidamente considerar si es necesario realizarla en absoluto a menos que el analizador solicite una alarma al respecto.

Otro hallazgo general fue que los operarios realizan mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5} con dos métodos: muestreo de filtros durante 24 h y posterior análisis gravimétrico en el laboratorio, y medición continua con analizadores de MP. De acuerdo con la normativa de la UE, es necesario realizar pruebas de equivalencia de los analizadores continuos con el método de referencia (muestreo de filtro de 24 h y análisis gravimétrico) y calcular los factores de corrección para las mediciones continuas de acuerdo con los resultados de las pruebas. Los factores de corrección deben utilizarse en la validación de los datos. Como las mediciones paralelas de los filtros de MP y los analizadores continuos se realizan en varios lugares de la zona estudiada, esto ofrece una oportunidad muy valiosa para calcular los factores de corrección y validar los datos en consecuencia. Sin embargo, **no se ha resuelto si se han realizado tales actividades.** Además, cabe mencionar que la legislación debería permitir el uso de factores de corrección para los analizadores continuos de MP.

Trazabilidad e incertidumbre de la medición

Es fundamental que las mediciones realizadas sean trazables para que los datos sean precisos. Esto significa que el equipo y los instrumentos utilizados han sido calibrados por el fabricante, otro laboratorio o en la propia empresa. Los gases de calibración siempre son certificados por el fabricante y, especialmente si se utilizan durante períodos prolongados, deben ser verificados periódicamente por un laboratorio de calibración reconocido (por ejemplo, acreditado). Cabe destacar aquí que, aunque los certificados de los gases de calibración tienen fecha de caducidad después de muchos años, se aplican a los cilindros de gas que no se han visto afectados (=abiertos); por lo tanto, no son válidos hasta la fecha de caducidad si los cilindros han estado en uso durante ese tiempo.

Además, los calibradores también deben calibrarse y esto puede realizarse en un laboratorio de calibración, o para el flujo, incluso internamente con caudalímetros trazables. Los caudalímetros que también se utilizan para calibrar las mediciones de MP son calibrados por el fabricante y deben ser recalibrados periódicamente por el fabricante o por un laboratorio de calibración reconocido. En este informe, se examina la trazabilidad de las mediciones de calidad del aire de todos los operarios.

La incertidumbre en la medición es un valor de gran importancia, ya que expresa la exactitud de los resultados notificados. **Con la documentación disponible, no se facilitó ninguna información, ni siquiera observaciones, sobre las incertidumbres de las mediciones de gas o MP.** En el reglamento de la UE se dan límites estrictos para la incertidumbre en la medición, como se informa en el capítulo 4.2.1.

Además, no se proporcionó información sobre los límites de detección de ninguna de las mediciones y no quedó claro si se habían calculado siquiera. **Debe comprobarse que los límites de detección se han calculado y son apropiados.**

Se recomienda que todos los operarios sigan trabajando en estos temas. Además, sería valioso que las redes de monitoreo de calidad del aire recibieran instrucciones generales y/o formación sobre estos temas.

1.3.1 Algoritmos

A modo de resumen, el operario ha preparado cuidadosamente y en su mayoría con mucho detalle los PNT que instruyen al personal para llevar a cabo las tareas. Algunos procedimientos de GC/CC se desvían de las normas EN y faltan algunos detalles en los PNT. La documentación de los procedimientos de GC/CC, el mantenimiento y las calibraciones parece estar bien hecha en su mayor parte, pero más adelante en este capítulo se dan algunas recomendaciones de mejora.

1.3.1.1 PNT de Algoritmos

Los PNT evaluados parecen formar parte de un SGC oficial. Los PNT son fáciles de rastrear ya que incluyen un título claro, el código de identificación del documento, los números de página, el número de versión, la fecha de preparación y las revisiones, y una marca clara de los cambios implementados en el documento. También incluyen información sobre quién (con nombre y cargo) ha revisado y aprobado el documento. Sin embargo, no estaba claro si la persona que revisó el documento también había aplicado los cambios o fue otra persona.

La lista de PNT entregados y evaluados se presenta en la Tabla 10. En total, sólo se recibieron para su evaluación tres PNT relativos a las mediciones en las estaciones operadas por Algoritmos. En cuanto a los documentos solicitados, faltaban los siguientes:

- Instrucciones generales (P-6001)*.
- PNT para otros analizadores de gases que no sean Teledyne (si se utilizan otras marcas de instrumentos en Coronel Sur y Huasco)
- un PNT para el método de medición de bajo volumen de MP10 y MP2,5 (si se utiliza)
- un POE para el método de medición de alto volumen de MP10 (si se utiliza)
- un PNT para el método de medición de alto volumen de MP2,5 (si se utiliza)
- un PNT para la validación de datos
- un PNT para el pesaje de filtros en el laboratorio*

Los PNT marcados arriba con un asterisco (*) son los que se puede suponer que existen pero no se han entregado, ya que se incluyeron en la evaluación de un proyecto similar anterior (*Evaluación y recomendaciones técnicas para los procedimientos de garantía y control de calidad (GC/CC) y documentación conexas de la red de supervisión de la calidad del aire en la zona industrial de Quintero-Puchuncaví y Concón, informe N° 3, 2020*). En general, los PNT incluyen una gran cantidad de instrucciones sobre cómo realizar las mediciones de la calidad del aire o los procedimientos relacionados con ellas. Los PNT evaluados en este informe son los mismos que los del proyecto anterior, aunque faltan algunos. Se han aplicado nuevos números de versión de los PNT. Por lo tanto, las recomendaciones siguen siendo aproximadamente las mismas que en el proyecto anterior. A continuación se ofrecen varias recomendaciones para aclarar y describir temas específicos en los PNT.

En general, la numeración de las versiones de los PNT es un poco confusa, ya que todos los PNT evaluados habían sido revisados con números de modificación hasta el 04, y todavía en el encabezamiento de los PNT en todas las páginas, siempre se mencionaba la primera versión 00 en lugar de la versión actual.

Tabla 10: Lista de PNT evaluados por Algoritmos.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Faltan.			
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i>			
I-6000 Instructivo Calibración Analizadores (pdf)	Este instructivo establece la metodología y acciones para realizar una calibración de cero y span a los analizadores de gases utilizados en las estaciones.	PNT	SPA
I-6001 Operación y Mantenimiento Analizadores Teledyne Rev.03 (pdf)	Las instrucciones establecen la metodología y las acciones para el funcionamiento y el mantenimiento básico de los monitores de gas Teledyne.	PNT	SPA (EN)
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
Falta HVS y LVS, falta PNT de laboratorio.			
I-6009 MP-MetOne BAM 1020 Rev.03 (pdf) I-6009 MP-MetOne BAM 1020 Rev.02 (pdf)	Las instrucciones establecen la metodología y las acciones para el funcionamiento y el mantenimiento preventivo y correctivo del monitor BAM de PM _{2,5} y PM ₁₀ . <i>Se proporcionan dos versiones diferentes.</i>	PNT	SPA EN

PNT generales

No se entregaron PNT generales para su evaluación.

Los PNT se relacionan con las mediciones de gas (CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂)

En cuanto al I-6000, este PNT no ha sido evaluado anteriormente, por lo que no se puede realizar una evaluación en este caso.

I-6001 es un PNT para los analizadores de gas de Teledyne. Da instrucciones sobre el rescate de datos, la calibración del cero y del span, la calibración multipunto y otros trabajos de mantenimiento. Este PNT se entregó en inglés en el proyecto anterior, pero desde entonces se ha revisado y hay varias actualizaciones en el documento. A continuación se ofrece una evaluación basada en la versión anterior del PNT, pero puede estar sesgada debido a las dificultades lingüísticas. Sin embargo, parece que no se ha aplicado ningún cambio a las preocupaciones que se plantean a continuación y, además, lamentablemente se ha reducido un criterio.

Para el gas cero, los criterios de aceptación se indican en el PNT. En las normas EN, los criterios de aceptación para el gas cero son ≤ -4.0 o ≥ 4.0 nmol/mol para SO₂, NO y O₃, y ≤ -0.5 o ≥ 0.5 μ mol/mol para CO. En el PNT, los criterios de acción se han modificado en la última revisión, y ahora los criterios para el gas cero se han incrementado a -5 a 5 ppb, lo que supera los criterios para SO₂, O₃ y NO_x de las normas EN. Estos criterios deben revisarse. Para el gas span, el criterio de acción de $\pm 5\%$ es equivalente al requisito de las normas EN. Sin embargo,

el PNT no da instrucciones sobre los tiempos de estabilización, y esto debe añadirse. Por el momento, en el PNT no se dan consejos sobre los criterios de repetibilidad a cero y span del analizador; se aconseja añadirlos. Las normas EN exigen que se compruebe la repetibilidad en la concentración cero y span al menos cada tres meses con 10 mediciones individuales. Además, no se aconseja el intervalo de verificación de los gases utilizados para las comprobaciones del cero y del span; se aconseja añadirlo.

La calibración multipunto se realiza con 4 puntos; esto es adecuado; sin embargo, el punto de calibración del 80% debería incluirse en la calibración multipunto (actualmente 0-60%). Las instrucciones sobre los tiempos de estabilización deben añadirse en el PNT. Se da la determinación de la eficiencia de conversión (NO_x), pero podría describirse con más detalle para asegurar el funcionamiento correcto. Para la linealidad, no se dan instrucciones detalladas en los PNT y esto debería mejorarse. De acuerdo con las normas EN, la linealidad del analizador se probará utilizando como mínimo las siguientes concentraciones: 0%, 60%, 20% y 95% del máximo del rango de certificación del gas (por ejemplo, SO₂). En cada concentración (incluido el cero) se realizarán al menos dos lecturas individuales. Después de cada cambio de concentración se tendrán en cuenta al menos cuatro tiempos de respuesta antes de realizar la siguiente medición.

El PNT no indica especificación alguna para el tipo de filtro y esto se le debería añadir. De acuerdo con las normas EN, el material del filtro debe ser politetrafluoroetileno (PTFE) con un tamaño de poro recomendado de 5 µm. El PNT aconseja cambiar el filtro de partículas cada mes; este intervalo es bastante aceptable y se encuentra dentro del criterio de las normas EN. Sin embargo, el PNT no da instrucciones sobre cómo manejar el soporte del filtro. De acuerdo con las normas EN, el alojamiento del filtro debe limpiarse al menos cada seis meses; esto debe indicarse en el PNT y en el trabajo real realizado en el lugar.

El PNT aconseja limpiar los conductos neumáticos una vez al año en el punto 5.12 y dos veces al año en el punto 5.16 (y el calendario de mantenimiento); esto debe aclararse. Si esta limpieza se refiere a los conductos de muestreo (y no a las líneas dentro del analizador), se recomienda un intervalo de 6 meses, ya que es conforme a las normas EN, puesto que éstas exigen que los conductos de muestreo se cambien o se limpien al menos cada seis meses. Además, las normas EN aconsejan que el sistema de muestreo y el filtro de partículas se acondicionen (en la instalación inicial y después de cada limpieza) para evitar disminuciones temporales de las concentraciones medidas tomando muestras del aire ambiente durante un período de al menos 30 minutos a la velocidad de flujo de muestra nominal (el acondicionamiento también puede hacerse en el laboratorio antes de la instalación); este procedimiento no se menciona en el PNT.

Los PNT no mencionan el tiempo de residencia en el sistema de muestreo que se relaciona directamente con la longitud del conducto de muestra. Esto es sobre todo importante para la medición del NO. Dado que el O₃ está normalmente presente en el aire muestreado, se producirá un cambio en las concentraciones de NO y NO₂ debido a la reacción del NO con el O₃ en la entrada y conducto o colector de muestreo, y en el analizador. En la práctica, puede evitarse un cambio significativo en las concentraciones de NO y NO₂ cuando el tiempo de residencia en el sistema de muestreo es ≤ 3 s. El requisito para el tiempo de residencia en el analizador es ≤ 3 s (normas EN) y para todo el sistema, generalmente menos de 6 s para evitar, por ejemplo, la formación significativa de dióxido de nitrógeno. Se evaluará el tiempo de residencia para el canal de NO. No es necesario evaluar el tiempo de residencia para el canal de NO_x (en el que está presente el convertidor) ya que todo el NO₂ se convierte en NO en el convertidor. Por lo tanto, la longitud máxima permitida del conducto de muestra podría añadirse a los PNT.

Puesto que el Decreto N.º 61 requiere la calibración del flujo de los analizadores de gas al menos una vez al año, Algoritmos ha instruido esta actividad en los PNT relacionados con esta tarea (dos veces al año). Como se indica previamente, se trata de un procedimiento que normalmente no necesita realizarse como rutina.

PNT relacionados con las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5}

Algoritmos entregó un PNT relacionado con las mediciones de MP para el analizador continuo. Para el HVS y el LVS, no se entregó ningún PNT.

El PNT 'I-6009' da instrucciones para el analizador continuo de MP_{2.5} y MP₁₀ BAM1020. El PNT es generalmente muy bueno con instrucciones detalladas para realizar las actividades. La evaluación que figura a continuación se basa en la versión anterior del PNT y, por tanto, puede estar sesgada. Sin embargo, parece que no se han aplicado cambios a las preocupaciones que se plantean a continuación.

Para la comprobación de la temperatura y la presión, se describe muy bien el instrumento utilizado y su calibración. Sin embargo, no hay comprobaciones periódicas, sino que se realizan en la instalación y después de los cambios (posiblemente cada 2 meses en relación con la comprobación del flujo) según el PNT, pero cada 6 meses según el calendario de mantenimiento. Además, la calibración de la humedad se realiza una vez al año según el calendario de mantenimiento. En las normas EN, el requisito para la calibración es una vez al año y para el control cada 3 meses. El criterio de acción para la temperatura es $\pm 1^\circ\text{C}$ y ± 5 mmHg en el PNT; esto es casi equivalente a la norma EN (calibración $\pm 1,5^\circ\text{C}$ y ± 4 mmHg, comprobación $\pm 2^\circ\text{C}$ y ± 8 mmHg). Estas comprobaciones/calibraciones van seguidas de una calibración del flujo cada 2 meses con flujos de 15, 16,7 y 18,4 IMP (es probable que BMP sea un error ortográfico y que signifique litros por minuto (Lpm) en lugar de latidos por minuto). El criterio de acción es $\pm 2\%$, lo que es muy bueno ya que en las normas EN el criterio es $\pm 5\%$ para la comprobación trimestral (la calibración anual no tiene criterio, debería ser más o menos exacta). Los sensores del filtro para la temperatura y la HR se comprueban cada 6 meses con criterios de acción de $\pm 1^\circ\text{C}$ y $\pm 4\%$; esto es casi equivalente a la norma EN (calibración $\pm 1,5^\circ\text{C}$ y $\pm 3\%$, comprobación $\pm 2^\circ\text{C}$ y $\pm 5\%$). La prueba de fugas se realiza en conexión con otros trabajos de mantenimiento del analizador o al menos cada 2 meses. Este procedimiento está bien descrito y la frecuencia es adecuada.

Se indica que la calibración de la masa se haga anualmente con el criterio de acción $\pm 4\%$. La frecuencia es equivalente a la norma EN, sin embargo, se recomienda el criterio de $\pm 3\%$. También se recomienda comprobar la masa cada 3 meses. La verificación de fondo cero se realiza una vez al año, lo que equivale a la norma EN. En la norma EN, también se da el criterio de acción de $\pm 3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y es necesario añadir el criterio en el PNT. Se instruye la limpieza de la cabeza y del ciclón y para el MP_{2.5}, la frecuencia se da una vez al mes. **La frecuencia no se da para MP₁₀; esta debe añadirse.**

Además de lo anterior, el PNT da instrucciones relevantes y buenas sobre, por ejemplo, rescate de datos, cambio de filtros (cinta filtrante) y limpieza de boquillas.

1.3.1.2 Procedimientos de GC/CC planificados e instruidos por Algoritmos

Dos estaciones, Coronel Sur y Huasco Sívica, son operadas por Algoritmos. Como estos sitios están ubicados en diferentes áreas, puede haber diferencias en la GC/CC y en la documentación de los planes y acciones.

Los procedimientos de GC/CC instruidos por Algoritmos están documentados en los PNT que parecen aplicarse para ambas áreas, y otros documentos que parecen diferir entre los sitios.

En Coronel Sur, se entregó un calendario oficial de mantenimiento ("Calendario Mantenciones Coronel Sur 2019") con las operaciones de mantenimiento planificadas y realizadas (incluyendo GC/CC). Esto es muy bueno, ya que el programa de GC/CC debe planificarse e incluir todas las acciones relevantes junto con las frecuencias.

En el caso de Huasco Sívica, se entregó una hoja de Excel de acciones de mantenimiento ("Mantenciones Estación Huasco Año 2019"), pero no incluía información sobre la frecuencia con la que se ordena realizar los procedimientos de GC/CC. Además, las actividades se daban en forma de códigos que no podían interpretarse sin explicaciones. Los códigos que se dieron fueron, por ejemplo, MP:CL/CICLON/IV, MP:SACoSDC, CAS:LEI, AA:M, AA:LF, ENT:MANT, EST:RCNE, UOR:MCH etc. **Por lo tanto, no se pudo realizar una evaluación de GC/CC planificados e instruidos en la estación Huasco Sívica y los resultados que se presentan a continuación sólo corresponden a la estación Coronel Sur.**

En la Tabla 11 se resumen los procedimientos de GC/CC instruidos y planificados en Coronel Sur. Además, los procedimientos realizados se comparan con los requisitos de las normas EN y se dan recomendaciones cuando es necesario para que la red mejore el GC/CC o implemente nuevas actividades. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias. La tabla sólo enumera los procedimientos de GC/CC, pero el calendario de mantenimiento incluía también otros trabajos de mantenimiento valiosos, por ejemplo, mantenimiento de los alrededores de la estación, aire acondicionado, UPS y regulador de tensión. Cabe destacar que el PNT y el calendario de mantenimiento eran contradictorios en cuanto a la calibración multipunto de los monitores de SO₂, CO y O₃, ya que uno indicaba una frecuencia anual (PNT) y el otro cada 6 meses (calendario).

Tabla 11: Actividades de GC/CC del operario Algoritmos junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

Actividad	Frecuencia SGS	Recomendaciones
<i>Mediciones de gas</i>		
Calibración del analizador	Calibración multipunto de NOx: Cada 3 meses. Calibración multipunto (O3, SO2 y CO): Cada 6 meses (calendario) y una vez al año (PNT)	Al menos cada 3 meses para todos los gases. Puede extenderse a 6 meses si cero+span ≤2%. (En la práctica, los controles de cero y span se hacen semanalmente y se ajustan cuando es necesario).
Repetibilidad en el cero y el span del analizador	-	La repetibilidad debe calcularse a partir de 10 lecturas.
Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones de cero y de span	-	La frecuencia de la verificación debe implementarse.
Comprobación del cero y del span	Semanalmente.	Los gases de comprobación del cero y del span podrían ser independientes de los gases de calibración.
Falta de comprobación de ajustes	No se menciona en el PNT.	El procedimiento debe ser descrito y la frecuencia (por lo menos una vez al año) indicada.
Eficiencia del convertidor (NO)	Cada 3 meses.	-
Colector de muestras de prueba	Una vez al año.	-.
Cambio de los filtros de partículas del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	Una vez al mes	-
Prueba/limpieza/cambio de los conductos de muestreo	Cada 6 meses.	-
Cambio de consumibles	-	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)

Mantenimiento preventivo/rutinario de componentes del analizador	Por ejemplo, limpieza, T/H, flujos, fugas, bomba, salida analógica, cada 6 meses	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Registro de las condiciones de funcionamiento.	Cada visita.	-
Comprobación de flujo.	Dos veces al año.	Debe considerarse si es necesario regularmente.
<i>Mediciones de MP (con muestreo de filtro, HVS y LVS)</i>		
Faltan.		
<i>Mediciones de MP (con analizador continuo = AMS)</i>		
Calibración de la(s) tasa(s) de flujo de AMS	Cada 6 meses	-
Comprobación de la(s) tasa(s) de flujo de AMS	(Lo mismo que arriba)	Debe realizarse cada 3 meses.
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	-	El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	Cada 6 m.	-
Comprobación cero de la lectura de AMS	Una vez al año	-
Comprobación del sistema de medición de masas AMS	Calibración cada 6 meses	Según lo requiera el fabricante, pero al menos una vez al año.
Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos	-	Debe documentarse diariamente (en días laborables).
Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	Cada 6 meses (temp, p), 12 meses (RH)	-
Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	(Lo mismo que arriba)	La comprobación debe realizarse cada 3 meses
Mantenimiento regular de los componentes del AMS	Comprobación del vacío de la bomba (cada 6 m) Limpieza del ciclón (cada 1 m) Comprobación y lubricación de la junta tórica del cabezal (6 m)	(Según lo requerido por el fabricante.)

1.3.1.3 Procedimientos de GC/CC realizados por Algoritmos

De Algoritmos, se eligieron dos sitios (Coronel Sur y Huaso Sívica) para su evaluación. Los documentos que se refieren a las actividades de GC/CC (principalmente calibración y mantenimiento) y que se recibieron para su evaluación se enumeran en las tablas 12a y 12b por separado para las estaciones.

Tabla 12a. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por Algoritmos en la estación Coronel Sur.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Calendario de mantenimiento ("Calendario Mantenciones Coronel Sur 2019")	Plan de mantenimiento de gases y PM, etc. Incluye los intervalos de calibración y mantenimiento previstos.	Hoja del plan de mantenimiento	SPA
Registros de la estación ("Bitácoras")	Escaneos mensuales de las tareas de mantenimiento y de GC/CC en el emplazamiento, tanto de las mediciones de gas como de PM	Hojas de mantenimiento y calibración, escritas a mano	SPA
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO2, NOx, O3, CO)</i>			
Certificados de calibración	Recopilaciones mensuales de certificados de calibradores y generadores de aire cero	Certificados de calibración y mantenimiento (internos)	SPA
	Recopilaciones mensuales de certificados de caudalímetros	Certificados de calibración (externos)	EN
Certificados de calibración ("Certificado Gas EPA")	Recopilaciones mensuales de certificados de estándares de gas.	Certificados de calibración y mantenimiento (externos)	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de MP</i>			
Incluidos arriba en los documentos generales.			

Tabla 12b. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por Algoritmos en la estación Huasco Sívica.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Lista de mantenimiento ("Mantenciones Estación Huasco Año 2019 Mes Todos")	Hoja Excel de acciones de mantenimiento presentadas como códigos (no comprensibles sin explicaciones)	Lista de mantenimiento	SPA
Registros de la estación ("Registros")	Escaneos diarios de las tareas de mantenimiento y de GC/CC en el emplazamiento, tanto de las mediciones de gas como de PM	Hojas de mantenimiento y calibración, escritas a mano	SPA
Certificados de flujo ("Patrones Flujos")	Certificados de calibración externa de flujo	Certificado de calibración (ext)	EN
Certificados de sensores de temperatura y humedad ("Patrones Humedad")	Comprobación del sensor de temperatura y humedad	Hoja de mantenimiento (int)	SPA
	Comprobación del sensor de temperatura y humedad (2 uds)	Hoja de comprobación de fábrica (ext)	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO2, NOx, O3, CO)</i>			
Incluidos arriba en los documentos generales.			
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
Incluidos arriba en los documentos generales.			

Tabla 13. Acciones de calibración y mantenimiento y frecuencias recomendadas para las mediciones de gas por operarios Algoritmos (ref: P-6001, I-6001, I-6009).

Elemento	Descripción	Periodicidad
Analizador de CO, O3, SO2	Calibración multipunto	Una vez al año
Analizador de NOx	Calibración multipunto	Cada 3 meses
Analizador de NOx	Eficiencia del convertidor (NO)	Cada 3 meses
Analizador de CO, NOx, O3, SO2	Calibración de cero y span	Semanalmente
	Mantenimiento general, p. ej. bomba	12 meses
	Limpieza del colector de muestras	Una vez al año
	Cambio de los filtros de partículas	Una vez al mes
	Limpieza de conductos neumáticos	Una vez al año.
	Limpieza de orificios fundamentales	Dos veces al año
	Calibración de flujo	Dos veces al año (PNT), o sin mención (calendario).
Analizador continuo de PM	Calibración de la(s) tasa(s) de flujo de AMS	Cada 2 meses
	Comprobación de fugas del sistema de muestreo	Al menos cada 2 m
	Comprobación cero de la lectura de AMS	Una vez al año
	Comprobación del sistema de medición de masas AMS	Una vez al año
	Mantenimiento general: Cambio del filtro Limpieza de la boquilla Comprobación del vacío de la bomba Limpieza del ciclón MP2.5 Bomba Tubo de muestra	Cada dos 2 meses más o menos si el filtro cambia/tiene fugas Cada 6 meses Una vez al año Cada 2 años Cada año

En Coronel Sur, faltaban los registros de la estación para enero y febrero de 2019. Igualmente, faltaban los certificados del sitio en el período enero-marzo de 2019. Se entregaron los certificados de calibración de los caudalímetros, pero no estaba claro si los instrumentos se utilizaban para los monitores de gases o de MP. No se entregaron hojas de mantenimiento para las mediciones de MP.

En Huasco Sívica, se entregaron los registros de las estaciones para 13 visitas diarias a las estaciones en enero, marzo, mayo, junio, julio, septiembre, noviembre y diciembre. No quedó claro si estas fueron todas las visitas de mantenimiento de la estación realizadas en 2019, o solo ejemplos de actividades semanales entregadas para la mayoría de los meses (pero no todos).

La evaluación continuará después de que se entregue la documentación solicitada.

1.3.1.4 Trazabilidad e incertidumbre de la medición por parte de Algoritmos

Para la evaluación de la trazabilidad en la sede de Coronel Sur, se entregaron 13 certificados de gases de calibración, 2 certificados de calibrador (diluidor) y ningún certificado de generador de aire cero.

En lo que respecta a los gases, las incertidumbres de medición de los estándares de gases se mantuvieron en el rango de 0,7-1,4%, lo que puede considerarse muy bueno. Para todos los estándares, el proveedor fue Airgas, y

los estándares eran cilindros de un solo gas (SO₂) o multigás (NO, NO_x, CO). Las concentraciones fueron las siguientes: SO₂, 50 ppm; NO y NO_x, 50 ppm; y CO 3000 ppm. Estas concentraciones se diluyeron para las comprobaciones de calibración y span. Los certificados no fueron acreditados. La trazabilidad era con el NIST, que es excelente. Los cilindros sin abrir tienen la fecha de caducidad en 2020-2027, sin embargo, hay que recordar que tan pronto como se abre la botella, la validez del estándar de gas depende del usuario y la fecha del certificado ya no es válida, por lo tanto, el usuario necesita confirmar la validez periódicamente (para el gas span, cada 6 meses según las normas EN). En general, los gases son válidos para la calibración; y se han utilizado para comprobaciones de span o calibraciones reales en la estación de calidad del aire estudiada (Coronel Sur). En un incidente (02/04/2019), faltaba el número de cilindro (quizás accidentalmente) en el registro de la estación, por lo que la comprobación de span no era trazable.

Para los diluidores (s/n 7453 y 9999), se entregaron dos certificados de calibración interna. Para el MGC101 (s/n 9999), se realizó una verificación de flujo en 01/2019. Para el Environics 6103 (s/n 7453), se realizó una verificación de ozono en 07/2018, pero es de suponer que la verificación no incluyó la comprobación de flujo ya que el instrumento estaba en garantía en ese momento. Además, se entregaron cinco informes de mantenimiento interno de diluidores (cuatro unidades distintas). Además, se entregaron cinco informes de mantenimiento interno de los generadores de aire cero (cuatro unidades distintas). Como estaban en español, los detalles no se evaluaron aquí. Con el material disponible, parece que Algoritmos no utiliza servicios externos para los diluidores y los generadores de aire cero.

En cuanto a las calibraciones de O₃, la trazabilidad no quedó clara, ya que la única documentación sobre el O₃ fue una comparación interna de dos unidades de Environics Calibrator (véase el capítulo anterior), para la que no se documentó la trazabilidad a un estándar. El operario debe comprobar que se ha conseguido la trazabilidad a unidades del SI.

En el caso de los caudalímetros, se entregaron dos certificados de calibración de fábrica de caudalímetros TetraCal (s/n 160658 y 167504) con muy buena incertidumbre en la medición y trazabilidad al NIST. Las calibraciones fueron realizadas por MesaLabs. Los certificados no fueron acreditados. No estaba claro si estos caudalímetros se habían utilizado para comprobar el flujo de los monitores de gas, los muestreadores de bajo volumen de MP o los monitores de MP. Los certificados de calibración y la trazabilidad eran un poco confusos, y habría que asegurarse de que el usuario entiende su significado.

Para la evaluación de la trazabilidad en la planta de Huasco Sívica, sólo se entregaron cuatro certificados de calibración de caudal junto con los certificados de los sensores de temperatura y humedad.

En el caso de los caudalímetros, se entregaron tres certificados de calibración de fábrica de caudalímetros TetraCal y DeltaCal (s/n 162609 y 170373) con muy buena incertidumbre en la medición y trazabilidad al NIST. Las calibraciones fueron realizadas por MesaLabs. Los certificados no fueron acreditados. No estaba claro si estos caudalímetros se habían utilizado para comprobar el flujo de los monitores de gas, los muestreadores de bajo volumen de MP o los monitores de MP. Los certificados de calibración y la trazabilidad eran un poco confusos, y habría que asegurarse de que el usuario entiende su significado. Además, el caudalímetro DeltaCal se contrastó una vez con el TetraCal (s/n 162609) en Algoritmos. Los errores de los diferentes caudales estaban en el rango de 0,2-1% con una media de 0,5%, y los resultados se aceptaron. El criterio de aceptación en la hoja se mencionaba como 0,75%, pero no estaba claro si se aplicaba para la media (aprobado, como está escrito en el documento) o para los valores individuales (suspense).

En el caso de los sensores de temperatura y humedad, se facilitaron dos hojas de prueba de comprobación de fábrica junto con una hoja de prueba interna. No estaba claro si estos sensores se utilizan para las condiciones ambientales o interiores, o para la verificación del monitor de MP.

No se encontraron declaraciones sobre las incertidumbres de medición de las mediciones de calidad del aire de CO, NOx, O₃, SO₂, MP₁₀ y MP_{2.5} en la documentación entregada.

1.3.2 [Bureau Veritas](#)

En resumen, el operario proporcionó varios PNT, pero incluían muy pocas tareas de GC/CC. Debe comprobarse si estas actividades se describen con detalle en otro(s) PNT(s) no entregado(s). Además, en el programa anual faltaban muchas tareas esenciales de GC/CC. En general, los documentos entregados eran bastante inadecuados para la evaluación, y no estaba claro si esto se debía a la falta de entrega o a que estas actividades no están documentadas. Más adelante en este capítulo se ofrecen recomendaciones generales de mejora.

1.3.2.1 [PNT de Bureau Veritas](#)

Los PNT evaluados parecen formar parte de un SGC oficial. Los PNT son fáciles de rastrear ya que incluyen un título claro, el código de identificación del documento, los números de página, el número de versión, la fecha de emisión e identifican al productor, al revisor y al aprobador. Sin embargo, no está claro cómo se documentan los cambios aplicados.

La lista de PNT entregados y evaluados se presenta en la Tabla 14. En total, se recibieron para su evaluación seis PNT relativos a las mediciones en las estaciones operadas por Bureau Veritas. En cuanto a los documentos solicitados, faltaban los siguientes:

- un PNT para las tareas de GC/CC distintas de la calibración del cero y del span
- un PNT para la validación de datos
- un PNT para el pesaje de filtros en el laboratorio

En general, los PNT incluyen instrucciones sobre cómo realizar las mediciones de la calidad del aire o los procedimientos relacionados con ellas. A continuación, se ofrecen varias recomendaciones para aclarar y describir temas específicos en los PNT.

Tabla 14. Lista de PNT evaluados por Bureau Veritas.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
PNT no generales entregados.			
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO₂, NOx, O₃, CO)</i>			
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO DS61, PCE 131/806-252	Principio de medición de CO, y calibración de cero, span	PNT	EN
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE OZONO DS61, PCE 131/806-253	Principio de medición de O ₃ , y calibración de cero, span	PNT	EN

PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE DS61, PCE 131/806-250	Principio de medición de SO ₂ , y calibración de cero, span	PNT	EN
PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN PARA LA MEDICIÓN DE DIÓXIDO DE NITRÓGENO DS61, PCE 131/806-251	Principio de medición de NO ₂ , y calibración de cero, span	PNT	EN
COMPROBACIÓN DEL CAUDAL DEL PROCESO EN EL ANALIZADOR DE GAS DE LA MARCA THERMO, PCE 131/806-229	Comprobación del caudal de los analizadores de gas Thermo	PNT	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
USO DE MUESTREADORES DE ALTO VOLUMEN (HV) MP10, PCE- 131/806-222	Manipulación del filtro del HVS	PNT	EN

PNT generales

Se entregó un PNT para instrumentos meteorológicos. No se recibió ningún PNT general relacionado con las mediciones de la calidad del aire para su evaluación.

Los PNT relacionados con las mediciones de gas (CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂)

Según los PNT PCE-131/806-250-253 (SO₂, NO/NO₂/NO_x, CO, O₃), los analizadores de gases deben calibrarse una vez a la semana con cero y span. Los criterios de aceptación son de $\pm 2\%$ para el CO, NO, NO₂ y O₃; por tanto, se ajusta a los criterios de las normas EN (5%). Sin embargo, también se menciona un criterio del 10% que hace referencia al Decreto n° 61; esto podría confundir al usuario y debería aclararse. **Para el SO₂, el criterio de span es de $\pm 10\%$, que no está dentro de los requisitos de la norma EN.** Se indica que la calibración multipunto con al menos 5 puntos debe realizarse una vez al año (excluido el NO₂, para el que es de 3 meses) con un criterio del 10% para cada punto, o cuando se intervenga el instrumento, como se indica en el Decreto n° 61. Una vez más, los PNT también mencionan el uso de 2-3 puntos (+cero) para la calibración multipunto, lo cual es contradictorio con la declaración del Decreto en los PNT. Según las normas EN, es necesario utilizar al menos tres puntos de calibración + cero para la comprobación de la linealidad, y la calibración de dos puntos es suficiente para la calibración trimestral. **En cualquier caso, el criterio del 10% es demasiado laxo;** sin embargo, esto se debe a la legislación nacional y no al operario. En cuanto a la lectura del cero, el PNT no establece un criterio de aceptación exacto, sino que aconseja que la lectura sea cercana a cero. Esto puede estar muy abierto a la interpretación, y deberían establecerse criterios para el cero (como se indica en las normas EN).

En el caso del ozono, el principio de medición es la quimioluminiscencia (como es probable en otros operarios también), mientras que en la legislación de la UE, el método de referencia es la fotometría ultravioleta.

En los PNT para los analizadores de gases faltan varias actividades clave de garantía y control de calidad, como las pruebas de fugas, el cambio de filtros, la comprobación de la linealidad, la prueba de las líneas de muestreo y la eficacia del convertidor de NO_x, etc.

Dado que el Decreto n° 61 requiere la calibración del caudal de los analizadores de gases al menos una vez al año, Bureau Veritas ha indicado esta actividad en el PNT relativo a esta tarea con un criterio más estricto que el del Decreto (PNT 5% frente a Decreto 10%). Como se indica previamente, se trata de un procedimiento que normalmente no necesita realizarse como rutina.

PNT relacionados con las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5}

Sólo se entregó un PNT relativo a las mediciones discretas de MP₁₀ de alto volumen; por lo tanto, no se pudo realizar la evaluación de las instrucciones sobre la medición de MP_{2.5}, la medición discreta de MP₁₀ con muestreador de bajo volumen o la medición continua de MP₁₀. Al parecer, en el emplazamiento de Lo Rojas sólo se realizan mediciones de MP₁₀, pero en el otro emplazamiento evaluado, EME-F, también se miden MP_{2.5}.

La manipulación de los filtros se describe minuciosamente en el PNT. **No se dan instrucciones para la GC/CC, la calibración y el mantenimiento; por lo tanto, no quedó claro cómo se instruyen estas actividades. Es esencial, por ejemplo, comprobar y calibrar el caudal de la muestra a intervalos regulares.**

En las normas EN, sólo se describen muestreadores de bajo volumen (LVS) y analizadores continuos; por lo tanto, los requisitos no se cumplen completamente para los muestreadores de alto volumen (HVS). En cambio, los requisitos para los LVS pueden utilizarse como referencia indicativa. Sin embargo, como no había requisitos para, por ejemplo, la GC/CC en el PNT, no se pudo realizar esta evaluación.

No se entregó ningún PNT para el pesaje de los filtros, por lo que no se confirmó que se hiciera de forma adecuada.

1.3.2.2 Procedimientos de GC/CC planificados e instruidos por Bureau Veritas

Dos estaciones, EME-F en Huasco y Lo Rojas en Coronel, son operadas por Bureau Veritas. Como estos sitios están ubicados en diferentes áreas, puede haber diferencias en la GC/CC y en la documentación de los planes y acciones. En el caso de Lo Rojas, no se entregaron documentos; por lo tanto, las actividades en el emplazamiento no pudieron ser evaluadas de ningún modo. De esta forma, la evaluación que se presenta a continuación es sólo para EME-F.

Los procedimientos de GC/CC instruidos por Bureau Veritas están documentados en su mayor parte en el calendario de control anual, y sólo algunas partes en los PNT (por ejemplo, el cero y el span de los analizadores de gases).

En EME-F se entregó un calendario oficial de mantenimiento ("Programa Revisión/Calibración/Mantenimiento Estación de Monitoreo") con las operaciones de mantenimiento planificadas (incluyendo GC/CC). Esto es muy bueno, ya que el programa de GC/CC debe planificarse e incluir todas las acciones relevantes junto con las frecuencias.

En la Tabla 15 se resumen los procedimientos de GC/CC en EME-F instruidos y planificados. Además, los procedimientos realizados se comparan con los requisitos de las normas EN y se dan recomendaciones cuando es necesario para que la red mejore el GC/CC o implemente nuevas actividades. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias. Cabe destacar que el PNT y el calendario de mantenimiento eran contradictorios en cuanto a la calibración multipunto de los monitores de SO₂, CO y O₃, ya que uno indicaba una frecuencia anual (PNT) y el otro cada 6 meses (programa).

Tabla 15. Actividades de GC/CC del operario Bureau Veritas junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

Actividad	Frecuencia de Bureau Veritas	Recomendaciones
<i>Mediciones de gas</i>		
Calibración del analizador	Calibración multipunto de NO ₂ : Cada 3 meses (PNT y programa) Calibración multipunto (NO, O ₃ , SO ₂ y CO): Cada 6 meses (programa) y una vez al año (PNT) Calibración cero+span semanal	Los gases de calibración y de control de c+s deben ser independientes entre sí. [Calibración, al menos cada 3 meses para todos los gases. Puede extenderse a 6 meses si $\text{cero} + \text{span} \leq 2\%$. (En la práctica, los controles de cero y span se hacen semanalmente y se ajustan cuando es necesario.)]
Repetibilidad en el cero y el span del analizador	-	La repetibilidad debe calcularse a partir de 10 lecturas, y la actividad instruida en el PNT.
Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones de cero y de span	-	La frecuencia de la verificación debe implementarse.
Comprobación del cero y del span	Semanalmente.	Los gases de comprobación del cero y del span deben ser independientes de los gases de calibración.
Falta de comprobación de ajustes	No se menciona en el PNT.	El procedimiento debe ser descrito en el PNT y la frecuencia (por lo menos una vez al año) indicada.
Eficiencia de los convertidores (NO)	-	Deben realizarse al menos una vez al año.
Colector de muestras de prueba	-	Al menos cada 3 años.
Cambio de los filtros de partículas del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	Una vez al mes	-
Prueba/limpieza/cambio de los conductos de muestreo	-	Al menos cada 6 meses e indicarse en el PNT.
Cambio de consumibles	-	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Mantenimiento preventivo/rutinario de componentes del analizador	-	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Registro de las condiciones de funcionamiento.	Cada visita.	-
Comprobación de caudal.	Una vez al año (PNT), dos veces al año (programa)	Debe considerarse si es necesario regularmente.
<i>Mediciones de MP (con muestreo de filtro, HVS)</i>		
Calibración de la tasa de caudal de la muestra	-	Al menos cada año e indicarse en el PNT.
Comprobación de la tasa de caudal de la muestra	Cada 3 meses.	-
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	-	El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	-	Debe indicarse en el PNT y realizarse cada año con un criterio de acción del 1%.
Calibración de los sensores de temperatura y presión en el muestreador	-	Debe realizarse cada año e indicarse en el PNT.
Comprobaciones de los sensores de temperatura y presión en el muestreador	-	Debe realizarse cada 3 meses e indicarse en el PNT.

Mantenimiento regular de los componentes del muestreador	-	(Según lo requerido por el fabricante.)
Limpieza del cabezal	Una vez al mes	-
Almacenamiento de los filtros	-	No inducirán pérdidas adicionales de los componentes semivolátiles de PM. Normalmente, por debajo de 23 °C debería ser suficiente.
Tipo de filtro	No se menciona	El tipo de filtro debe ser indicarse en el PNT.
Calibración de la balanza	Información no disponible.	Cada año
Calibración de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa	Información no disponible.	Cada año
Comprobación de los sensores de la sala de pesaje para la temperatura y la humedad relativa	Información no disponible.	Cada 6 meses
<i>Mediciones de MP (con analizador continuo = AMS)</i>		
Calibración de la(s) tasa(s) de caudal de AMS	-	Al menos cada año e indicarse en el PNT.
Comprobación de la(s) tasa(s) de caudal de AMS	Dos veces al año.	Debe realizarse cada 3 meses e indicarse en el PNT.
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	-	El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	-	Debe indicarse y realizarse cada año con un criterio de acción del 2%.
Comprobación cero de la lectura de AMS	-	Debe indicarse y realizarse cada año con un criterio de acción del 2%.
Comprobación del sistema de medición de masas AMS	Cada 6 meses.	Según lo requiera el fabricante, pero al menos una vez al año.
Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos	Semanalmente.	Debe documentarse diariamente (en días laborables).
Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	-	Al menos cada año.
Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	Cada 6 meses (p).	La comprobación debe realizarse cada 3 meses.
Mantenimiento regular de los componentes del AMS	-	(Según lo requerido por el fabricante.)

1.3.2.3 Procedimientos de GC/CC realizados por Bureau Veritas

De Bureau Veritas se eligieron dos emplazamientos (EME-F y Lo Rojas) para su evaluación; sin embargo, sólo se recibieron documentos de EME-F y, por tanto, la evaluación se basa en los resultados del emplazamiento EME-F. Los documentos que se refieren a las actividades de GC/CC (principalmente calibración y mantenimiento) y que se recibieron para su evaluación se enumeran en la tabla 16.

Tabla 16. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por Bureau Veritas en la estación EME-F.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Calendario de mantenimiento ("Programa Revisión/Calibración/Mantenimiento Estación de Monitoreo")	Plan de mantenimiento de gases y PM, etc. Incluye los intervalos de calibración y mantenimiento previstos.	Hoja del plan de mantenimiento	SPA
Registros de la estación ("Bitácoras"), 12 unidades	Escaneo mensual de los registros de la estación	Registro de la estación, escrito a mano	SPA
Registros de mantenimiento - Hojas de mantenimiento estación EME-F año 2019, 57 páginas	Registro de mantenimiento de gases y PM	Hojas de mantenimiento	SPA
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i>			
Certificados de calibración ("Certificados gases patrones año 2019"), 2 uds	Certificados de gases estándar (CO, NO, NO _x , SO ₂)	Certificados de calibración (externos)	EN
Calibraciones multipunto y de cero+span, 2019	Hojas mensuales para el cero y el span, y hojas anuales para la calibración multipunto	Hoja de calibración (int)	SPA
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
Verificación del Caudal de Aspiración de Aire de Equipos PM ₁₀ H.V."), 10 páginas	Verificación del caudal de aspiración de PM ₁₀ HVS	Hojas de mantenimiento	SPA

Los documentos de los trabajos de mantenimiento y calibración realizados estaban en español (más de 100 páginas), por lo que no pudieron ser evaluados.

1.3.2.4 Trazabilidad e incertidumbre de la medición por parte de Bureau Veritas

Para la evaluación de la trazabilidad en el centro EME-F, se entregaron dos certificados de gases de calibración. No se entregaron certificados para los calibradores (diluyentes), los generadores de aire cero ni los caudalímetros; por lo tanto, no se evaluaron. Tampoco se entregó documentación para la trazabilidad de las mediciones de ozono.

En lo que respecta a los gases, las incertidumbres de medición de los estándares de gases se mantuvieron en el rango de 1,0-1,2%, lo que puede considerarse muy bueno. Para ambos estándares, el proveedor fue Airgas, y los estándares eran mezclas multigás de SO₂, NO, NO_x y CO. Las concentraciones fueron las siguientes: SO₂, 55 ppm; NO y NO_x, 55 ppm; y CO 1000 ppm. Estas concentraciones se diluyeron para las comprobaciones de calibración y span. Los certificados no fueron acreditados. La trazabilidad era con el NIST, que es excelente. Las bombonas sin abrir tienen la fecha de caducidad en 2025-2026, sin embargo, hay que recordar que tan pronto como se abre la botella, la validez del estándar de gas depende del usuario y la fecha del certificado ya no es válida, por lo tanto, el usuario necesita confirmar la validez periódicamente (para el gas span, cada 6 meses según las normas EN). En general, los gases son válidos para la calibración; y se han utilizado para comprobaciones de span o calibraciones reales en la estación de calidad del aire estudiada (EME-F).

En la documentación entregada no se encontraron declaraciones sobre las incertidumbres de las mediciones de la calidad del aire de CO, NO_x, O₃, SO₂, MP₁₀ y MP_{2.5}.

1.3.3 Inerco Enel

En resumen, el operario ha preparado cuidadosamente los PNTs para la documentación, pero no se entregaron los más importantes relativos al funcionamiento y a la GC/CC de los instrumentos para la calidad del aire. Las actividades de GC/CC se enumeran en el plan anual, pero no se indican las frecuencias de las distintas tareas. En general, los documentos entregados eran bastante inadecuados para la evaluación, y no estaba claro si esto se debía a la falta de entrega o a que estos documentos no existen. Si se trata de esto último, el operario necesita una mejora importante de las actividades de GC/CC. En cuanto a la trazabilidad de las mediciones, no se pudo confirmar con la documentación disponible.

1.3.3.1 PNT de Inerco Enel

Los PNT evaluados parecen formar parte de un SGC oficial. Los PNT son fáciles de rastrear ya que incluyen un título claro, el código de identificación del documento, los números de página, el número de versión, la fecha de preparación y un lugar para marcar los cambios aplicados en el documento. Todos los PNT se han elaborado en septiembre de 2019 y estas versiones son válidas, es decir, no se han aplicado las revisiones. Los PNT también incluyen información sobre quién (con nombre y cargo) ha elaborado, revisado y aprobado el documento. Sin embargo, en todos los PNT faltaba la persona encargada de la aprobación.

La lista de PNT entregados y evaluados se presenta en la Tabla 17. En total, se recibieron para su evaluación ocho PNT relativos a las mediciones en las estaciones operadas por Inerco Enel. En cuanto a los documentos solicitados, faltaban los siguientes:

- PNT para el funcionamiento, el mantenimiento y la calibración de los analizadores de gases, incluida la GC/CC
- PNT para el funcionamiento, el mantenimiento y la calibración de los muestreadores secuenciales de PM, incluida la QC/QC (si se utilizan muestreadores de filtro secuencial)
- PNT para el funcionamiento, el mantenimiento y la calibración de los analizadores de PM, incluida la GC/CC
- un PNT para la validación de datos
- un PNT para el pesaje de filtros en el laboratorio (si se utilizan muestreadores de filtros secuenciales)

En general, los PNT entregados incluyen información detallada sobre cómo documentar diferentes actividades o elementos. Sin embargo, faltaban todos los PNT más importantes relacionados con la QC/QC, el mantenimiento, la calibración y el funcionamiento de la instrumentación de la calidad del aire. Por lo tanto, no se puede confirmar si estas actividades se llevan a cabo de forma adecuada. La principal recomendación es que se compruebe la existencia de estos PNT y que las actividades de GC/CC se realicen de acuerdo con las tablas 7 y 8 del capítulo 4.2.2. Por lo demás, sólo se ofrecen recomendaciones menores.

Tabla 17. Lista de PNT evaluados por Inerco Enel.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
ENEL-P-ECA-01-LD, CONTROL DOCUMENTOS DE CALIDAD Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE --- CONTROL OF QUALITY DOCUMENTS AND MAINTENANCE OF THE AIR QUALITY STATIONS	Instrucciones generales para la elaboración de los diferentes documentos.	PNT	EN

ENEL-P-ECA-02-PCM, PLAN ANUAL DE CALIDAD Y MANTENIMIENTO DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE DE ENEL. CT BOCAMINA --- ANNUAL PLAN OF QUALITY AND MAINTENANCE OF ENEL'S AIR QUALITY STATIONS. CT BOCAMINE	Instrucciones sobre cómo preparar el plan anual de GC/CC y mantenimiento.	PNT	EN
ENEL-P-ECA-03-AS, PROCEDIMIENTO DE ACTIVIDAD SEMANAL PARA LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CT BOCAMINA DE ENEL --- WEEKLY ACTIVITY PROCEDURE FOR THE AIR QUALITY STATIONS OF THE BOCAMINA DE ENEL CT	Instrucciones sobre cómo documentar las actividades diarias en el emplazamiento	PNT	EN
ENEL-P-ECA-04-AT, PROCEDIMIENTO DE ACTIVIDAD TRIMESTRAL PARA LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CT BOCAMINA DE ENEL --- QUARTERLY ACTIVITY PROCEDURE FOR THE AIR QUALITY STATIONS OF THE BOCAMINA DE ENEL CT	Igual que el anterior, la única diferencia es que éste es para actividades trimestrales.		EN
ENEL-P-ECA-06-CE, PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE LOS EQUIPOS DE LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CT BOCAMINA DE ENEL --- PROCEDURE FOR CONTROLLING THE EQUIPMENT OF THE AIR QUALITY STATIONS OF THE ENEL BOCAMINA CT	Describe la forma de registro de los equipos.	PNT	EN
ENEL-P-ECA-08-CSR, PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE REPUESTOS DE USO EN LAS ESTACIONES DE CALIDAD DEL AIRE DE LA CT BOCAMINA DE ENEL --- PROCEDURE FOR THE CONTROL OF SPARE PARTS FOR USE IN THE AIR QUALITY STATIONS OF THE ENEL BOCAMINA CT	Describe la forma de registro de repuestos.		EN
ENEL-P-ECA-09-IF, PROCEDIMIENTO DE INFORMES DE FALLA EN LAS ESTACIONES DE CALIDAD DE ENEL DE LA CT BOCAMINA DE ENEL --- FAILURE REPORTING PROCEDURE IN ENEL QUALITY STATIONS OF THE ENEL BOCAMINA CT	Describe cómo elaborar un expediente de mantenimiento o informe de avería		EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i>			
ENEL-P-ECA-07-CSC, PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE CILINDROS DE USO EN LAS ESTACIONES DE CALIDAD DE ENEL DE LA CT BOCAMINA DE ENEL --- USE CYLINDER CONTROL PROCEDURE IN ENEL QUALITY STATIONS OF THE ENEL BOCAMINA CT	Describe el registro de los bombonas de gas utilizadas, por ejemplo, para el span.	PNT	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de MP</i>			
No se han entregado documentos.			

PNT generales

El PNT ENEL-P-ECA-01-LD indica cómo preparar los documentos, y es un PNT general esencial que garantiza que todos los documentos se preparen de forma sistemática. El PNT carece del nombre de la persona que ha aprobado el documento, ya que sólo documenta el nombre y el cargo del productor. Esta constatación es coherente con los demás PNT.

ENEL-P-ECA-02-PCM describe cómo preparar el plan anual de GC/CC y mantenimiento. No enumera las frecuencias, sino que da instrucciones sobre cómo preparar el documento de forma sistemática. El PNT es claro. ENEL-P-ECA-03-AS y ENEL-P-ECA-04-AT describen de forma general cómo preparar los documentos sobre el mantenimiento de los equipos y el registro de actividades en el emplazamiento. Las actividades descritas parecen

suficientes. La primera se refiere a las actividades diarias y la segunda a las trimestrales. Parecen muy similares, y podría considerarse si estos dos PNT pueden combinarse.

ENEL-P-ECA-06-CE describe la información que debe incluirse en el registro de equipos (contaminante, marca, modelo, s/n, fecha de calibración, rango, principio de funcionamiento). Se podría considerar si el registro necesita información sobre la ubicación del instrumento (requisito en la norma ISO 17025:2017). Debería comprobarse que la información sobre el mantenimiento externo también se reconoce y documenta sistemáticamente si se produce. ENEL-P-ECA-08-CSR es bastante similar, y describe la información incluida en el registro de piezas de repuesto.

ENEL-P-ECA-09-IF describe cómo documentar el mantenimiento de los equipos averiados y el mantenimiento preventivo de los equipos. La información recopilada parece suficiente; sin embargo, indica que debe documentarse el nombre de la empresa, el laboratorio o el personal que realiza la actividad, aunque es aconsejable incluirlos todos.

PNT relacionados con las mediciones de gas (CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂)

ENEL-P-ECA-07-CSC describe lo que debe incluirse en el registro de las bombonas de gas: denominación, concentración de gas, presión, certificado, incertidumbre, s/n, gas de llenado (por ejemplo, N₂), datos de caducidad, ubicación de la bombona, proveedor del gas y tipo (nacional/EPA). Las bombonas tienen incluso un código de colores para indicar su estado (en uso/expirado/vacío/retirado). Este PNT parece muy válido.

No se entregaron instrucciones sobre el funcionamiento, el control de calidad, la calibración y el mantenimiento de las mediciones de gas. Por lo tanto, no se puede confirmar si estas actividades se llevan a cabo de forma adecuada.

PNT relacionados con las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5}

No se entregaron PNT relacionados específicamente con las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5}. Se supone que los PNT generales se aplican también a las mediciones de MP.

No se entregaron instrucciones sobre el funcionamiento, el control de calidad, la calibración y el mantenimiento de las mediciones de MP. Por lo tanto, no se puede confirmar si estas actividades se llevan a cabo de forma adecuada.

1.3.3.2 Procedimientos de GC/CC planificados e instruidos por Inerco Enel

Una estación, Lota Rural en Coronel, es operada por Inerco Enel. Los procedimientos de GC/CC instruidos por Inerco Enel están documentados en las hojas Excel "Plan anual de calidad y mantenimiento" y "Lista de actividades". Sin embargo, no quedó claro con qué frecuencia se instruye la realización de estas actividades de GC/CC y, por lo tanto, la evaluación aquí se concentra en la cobertura de los temas de GC/CC. No obstante, debe comprobarse que las frecuencias de las actividades de GC/CC se planifican y ejecutan como se aconseja en la Tabla 18.

A continuación, en la Tabla 18, se resumen los procedimientos de GC/CC instruidos y planificados por Inerco Enel. Además, los procedimientos realizados se comparan con los requisitos de las normas EN y las recomendaciones dadas sobre las frecuencias. También se dan recomendaciones para que la red mejore la GC/CC o ponga en marcha nuevas actividades. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias. La tabla enumera únicamente los procedimientos de GC/CC, pero el plan

anual incluía también otros elementos valiosos, por ejemplo, el mantenimiento de los equipos meteorológicos, la inspección de los alrededores y del interior de la estación, el control de las piezas de recambio, el registrador de datos y la elaboración de informes.

Una conclusión positiva es que la red no parece indicar que se ajuste el caudal de los analizadores de gases de forma frecuente.

Tabla 18. Actividades de GC/CC del operario Inerco Enel junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

Actividad	Actividad de Inerco Enel (<i>frecuencia no documentada en los documentos entregados</i>)	Recomendaciones
<i>Mediciones de gas</i>		
Calibración del analizador	Incluido.	Al menos cada 3 meses para todos los gases. Puede extenderse a 6 meses si cero+span \leq2%.
Repetibilidad en el cero y el span del analizador	No se menciona.	La repetibilidad debe calcularse a partir de 10 lecturas.
Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones de cero y de span	No se menciona.	Debe aplicarse una frecuencia de verificación (al menos cada 6 m).
Comprobación del cero y del span	Incluido.	Al menos cada dos semanas. Los gases de comprobación del cero y del span deben ser independientes de los gases de calibración.
Falta de comprobación de ajustes	No se menciona.	El procedimiento debe ser descrito y la frecuencia (por lo menos una vez al año) indicada.
Eficiencia de los convertidores (NO)	Incluido.	Al menos una vez al año.
Colector de muestras de prueba	No se menciona.	Al menos cada 3 años.
Cambio de los filtros de partículas del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	Examen incluido (cambio no mencionado).	Al menos cada 3 meses (dependiendo de los niveles de contaminación, a menudo es necesario con mucha más frecuencia).
Prueba/limpieza/cambio de los conductos de muestreo	Incluido.	Al menos cada 6 meses.
Cambio de consumibles	No se menciona.	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Mantenimiento preventivo/rutinario de componentes del analizador	Algunos incluidos.	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Registro de las condiciones de funcionamiento.	Cada visita de acuerdo con el PNT.	-
<i>Mediciones de MP (con muestreo de filtro, HVS y LVS)</i>		
No se menciona en la documentación entregada.		
<i>Mediciones de MP (con analizador continuo = AMS)</i>		
Calibración de la(s) tasa(s) de caudal de AMS	No se menciona.	Debe realizarse cada año.
Comprobación de la(s) tasa(s) de caudal de AMS	No se menciona.	Debe realizarse cada 3 meses.
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	No se menciona.	El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser \leq1.0% para la calibración y \leq2.0% para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	No se menciona.	Debe realizarse cada año.

Comprobación cero de la lectura de AMS	No se menciona.	Debe realizarse cada año.
Comprobación del sistema de medición de masas AMS	No se menciona.	Según lo requiera el fabricante, pero al menos una vez al año.
Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos	Incluido.	Debe documentarse diariamente (en días laborables).
Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	No se menciona.	Debe realizarse cada año.
Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	No se menciona.	La comprobación debe realizarse cada 3 meses
Mantenimiento regular de los componentes del AMS	No se menciona.	(Según lo requerido por el fabricante.)

1.3.3.3 Procedimientos de GC/CC realizados por Inerco Enel

De Inerco Enel, se eligió un emplazamiento (Lota rural en Coronel) para su evaluación. Los documentos que se refieren a las actividades de GC/CC (principalmente calibración y mantenimiento) y que se recibieron para su evaluación se enumeran en la tabla 19.

Tabla 19. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por Inerco Enel en la estación de Lota Rural.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Documentos no generales entregados.			
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO2, NOx, O3, CO)</i>			
Registros de cero y span, 15 uds	Actividades semanales en el emplazamiento para CO, NOx, O3 y SO2.	Registros de cero y span (internos)	SPA
Calibration file (Ficha de Calibración: Lota Rural 24-11-2020-ENEL-CTBM-RVC-CA-02_O3)	Calibración multipunto de O3	Certificado de calibración (interno)	SPA
Certificado de calibración para bombona de gas ("Certificado Cilindro Gases")	Certificado para NOx, SO2, CO	Certificado de calibración (externo)	EN
Certificado de Calibración para el diluidor (Certificado de Calibración), 3 uds	Certificado de calibración de Environics (O3 y caudal)	Certificado de calibración (externo)	SPA
Registro de mantenimiento y reparación (14062020 ENEL-R-ECA-09-12-IF Lota Rural NO NO2 NOx)	Informe de mantenimiento para resolver el problema del enfriador/ventilador.	Registro de mantenimiento (interno)	SPA
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
Certificado de calibración de GRIMM	Certificado de calibración del analizador de PM10 y PM2.5 (y PM1) en 05/2019	Certificado de calibración (externo)	EN
Registro de mantenimiento y reparación (16052020 ENEL-R-ECA-09-17-IF-Lota Rural MP10_MP2.5)	Informe de mantenimiento para resolver el problema de registro de datos.	Registro de mantenimiento (interno)	SPA

En cuanto a las mediciones de gases, los documentos entregados no eran muy numerosos y **faltaban muchas actividades esenciales de GC/CC; para los temas, consulte la tabla 18.**

Se entregaron los registros de cero y span para todos los gases, incluyendo las actividades semanales en el emplazamiento. De acuerdo con los documentos, se indica que se realice el cero y el span semanal. Sin embargo, **parece que el criterio de actuación para el span es del 10%, mientras que, según las normas EN, debería ser más estricto, del 5%**. Se han producido desviaciones entre el 5-10% (pero en otro emplazamiento: Lagunillas). **Para cada gas, sólo se entregaron 2-5 registros, por lo que no se pudo confirmar si el cero y el span se han realizado semanalmente (o sólo 2-5 veces al año). Además, los resultados eran idénticos en los registros del 24/01 y del 17/02/2020, lo que hace pensar que los dos registros diarios presentan en realidad resultados del mismo día; esta conclusión es válida para todos los gases en esas fechas.** Para resumir los documentos de los registros de cero y span:

- Para el SO₂, se han utilizado dos modelos Thermo 43i (s/n 915535987, 915535988) con gases de span separados (s/n E B0120580, EB0120591). Se entregaron registros para el 24/01, 17/02 (idénticos), 24/08 y 09/10/2020.
- Para el CO, se ha utilizado un modelo Thermo 48i (s/n 915535990) con gas span (s/n EB0120591). Sólo se entregaron registros para el 24/01 y el 17/02/2020 (idénticos).
- Para los NO_x, se ha utilizado un modelo Thermo 42i (s/n 915535985) con gas span (s/n EB0120591). Sólo se entregaron registros para el 24/01 y el 17/02/2020 (idénticos).
- Para el O₃, se ha utilizado un modelo Thermo 49i (s/n 915535981) con el mismo generador de ozono (Environics 6100, s/n 4505). Se entregaron los registros correspondientes a los días 24/01, 17/02 (idénticos), 24/08, 10/09 y 09/10/2020.

Para el NO₂, se ha realizado una comprobación de la eficiencia del convertidor, lo cual es bueno.

Para el O₃, se ha realizado una calibración multipunto en 11/2020. En el archivo de calibración, se menciona la bombona de gas utilizada para el CO, NO_x y SO₂ como estándar de referencia, lo cual es obviamente erróneo ya que el estándar de referencia para el ozono es el diluidor (Environics 6100) con generador de ozono.

En cuanto a las mediciones de MP, el GRIMM 180 (s/n 18A19023) fue calibrado para la masa por el fabricante Grimm Aerosol Technik en Alemania en 05/2019. No está claro si este instrumento ha sido utilizado en Lota Rural. Además, otro instrumento GRIMM 180 (s/n 18A19024) ha experimentado un mantenimiento interno el 05-07/2020. Este instrumento ha estado en uso en Lota Rural. El trabajo de mantenimiento se debió a problemas en el registro de datos, por lo que no incluyó actividades de GC/CC. **Estos documentos no revelan si las actividades de GC/CC han sido adecuadas en el sitio de Lota Rural, y no se puede dar un resumen sobre la idoneidad de GC/CC para las mediciones de MP.**

1.3.3.4 Trazabilidad e incertidumbre de la medición por parte de Inerco Enel

Para la evaluación de la trazabilidad en el emplazamiento de Lota Rural, se entregó un certificado de gases de calibración, 3 certificados de calibrador (diluidor) y ningún certificado de generador de aire cero.

En lo que respecta a los gases, las incertidumbres de medición de los estándares de gases se mantuvieron en el rango de 0,9-1,4%, lo que puede considerarse muy bueno. El proveedor fue Airgas, y el estándar fue una bombona de mezcla multigás (SO₂, NO, NO_x, CO). Las concentraciones fueron las siguientes: SO₂, 25 ppm; NO y

NO_x, 25 ppm; y CO 2500 ppm. Estas concentraciones se diluyeron para las comprobaciones de span. El certificado no fue acreditado. La trazabilidad era con el NIST, que es excelente. La bombona sin abrir tiene la fecha de caducidad en 2022, sin embargo, hay que recordar que tan pronto como se abre la bombona, la validez del estándar de gas depende del usuario y la fecha del certificado ya no es válida, por lo tanto, el usuario necesita confirmar la validez periódicamente (para el gas span, cada 6 meses según las normas EN). En general, el gas es válido para la calibración; y se ha utilizado para las comprobaciones reales de span en la estación de calidad del aire estudiada (Lota Sur).

Para un calibrador/diluidor (s/n 4504), se entregaron tres certificados de calibración acreditados para caudal (2 uds. en dos rangos) y ozono (1 ud.). La trazabilidad del certificado es un poco confusa, ya que no documenta el sistema de calibración con total claridad (=sólo menciona la marca Environics pero no el modelo, por ejemplo, Environics 6100) ni la cadena de trazabilidad a las unidades del SI (sólo se menciona el número de certificado), y la incertidumbre para el cero se da incorrectamente como un porcentaje (siempre debe ser un valor absoluto ya que no se puede dar un porcentaje a cero); sin embargo, estos son mayormente problemas del laboratorio de calibración (AyT Servicios LTd) y no de Inerco Enel, aunque se aconseja que Inerco Enel tenga en cuenta estas conclusiones. La incertidumbre en la medición de la calibración fue muy alta, del 14,6%, aunque podría ser el resultado de una larga cadena de trazabilidad. En la normativa de la UE, se permite una incertidumbre de medición del 15%, y es evidente que la red no puede alcanzarla si la incertidumbre del diluyente ya está en el nivel de los criterios. Sin embargo, en Lota Rural se han utilizado unidades calibradoras diferentes (s/n 4503 y 4505) según los registros de cero y span, por lo que no se ha entregado información sobre la trazabilidad de las mediciones de ozono y caudal en Lota Rural.

En el caso de los caudalímetros, no se entregaron certificados de calibración, por lo que no se pudo evaluar la trazabilidad de las mediciones de MP.

En cuanto a los instrumentos meteorológicos, se entregaron cinco certificados de calibración.

En la documentación entregada no se encontraron declaraciones sobre las incertidumbres de las mediciones de la calidad del aire de CO, NO_x, O₃, SO₂, MP₁₀ y MP_{2.5}.

1.3.4 [Serpram-Suez](#)

Como resumen, el sitio evaluado incluyó sólo mediciones de MP₁₀ realizadas con el instrumento TEOM. **No se entregaron PNT y, por tanto, no se evaluaron en este estudio.** El operario entregó algunos documentos de GC/CC, pero con la falta de muchos documentos esenciales (PNT, certificados, registros comprensibles de la estación) la evaluación no puede completarse totalmente, y los resultados que se presentan a continuación pueden ser incompletos. En resumen, los documentos entregados eran bastante inadecuados para la evaluación, y no estaba claro si esto se debía a la falta de entrega o a que estos documentos no existen. Si se trata de esto último, el operario necesita una mejora importante de las actividades de GC/CC.

1.3.4.1 [PNT de Serpram-Suez](#)

No se entregó ningún PNT y, por tanto, no se evaluaron en este estudio.

1.3.4.2 Procedimientos de GC/CC planificados e instruidos por Serpram-Suez

Una estación, FCP en Coronel, es operada por Serpram-Suez.

Los procedimientos de GC/CC indicados por Serpram-Suez fueron evaluados de acuerdo al calendario anual (programa de funcionamiento) para el año 2020, ya que no se entregaron PNT.

A continuación, en la Tabla 19, se resumen los procedimientos de GC/CC instruidos y planificados en FCP. Además, los procedimientos realizados se comparan con los requisitos de las normas EN y se dan recomendaciones cuando es necesario para que la red mejore el GC/CC o implemente nuevas actividades. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias. En la tabla siguiente sólo se enumeran los procedimientos de GC/CC, pero el programa anual incluye también otros trabajos de mantenimiento valiosos, por ejemplo, la observación e inspección de los alrededores de la estación y de las condiciones en el interior, el mantenimiento del aire acondicionado, las comprobaciones de los equipos meteorológicos y las copias de seguridad de los datos.

Tabla 19. Actividades de GC/CC del operario Serpram-Suez junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

Actividad	Frecuencia de Serpram-Suez	Recomendaciones
<i>Mediciones de MP (con analizador continuo = AMS)</i>		
Calibración de la(s) tasa(s) de caudal de AMS	-*	La calibración debe realizarse cada año.
Comprobación de la(s) tasa(s) de caudal de AMS	Cada mes.	-
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	-	El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	-*	La comprobación debe realizarse cada año.
Comprobación cero de la lectura de AMS	-	La comprobación debe realizarse cada año, si procede.
Comprobación del sistema de medición de masas AMS	-*	Según lo requiera el fabricante, pero al menos una vez al año.
Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos	Semanalmente.	Debe documentarse diariamente (en días laborables).
Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	-*	La calibración debe realizarse cada año.
Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	-*	La comprobación debe realizarse cada 3 meses
Mantenimiento regular de los componentes del AMS	Limpieza del ciclón (cada 1 m). Mantenimiento del colector (una vez al año).	(Según lo requerido por el fabricante.)
* No está en el programa pero se han realizado según la documentación recibida de calibraciones y mantenimiento.		

En general, las actividades planificadas carecen de muchos procedimientos esenciales de GC/CC. Sin embargo, en la documentación proporcionada (informes de mantenimiento y calibración), algunos de los procedimientos esenciales de GC/CC que no están documentados en el programa del operario (arriba), se han realizado en el laboratorio. Éstos están marcados con un asterisco (*) en la Tabla 19.

1.3.4.3 Procedimientos de GC/CC realizados por Serpram-Suez

De Serpram-Suez, se eligió un emplazamiento (FCP) para su evaluación. Los documentos que se refieren a las actividades de GC/CC (principalmente calibración y mantenimiento) y que se recibieron para su evaluación se enumeran en la tabla 20.

Tabla 20. Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por Serpram-Suez en la estación de FCP.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Calendario anual (*Programa de funcionamiento de estaciones 2020*)	Plan de mantenimiento de PM, etc. Incluye algunos de los intervalos de calibración y mantenimiento previstos.	Plan de mantenimiento y calibración	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
Informe de verificación (Verificación de masa, presión, flujo y salidas analógicas)	Verification of mass, pressure, flow, and analogy output. Prueba de fugas.	Informe de calibración interna	EN
Orden de mantenimiento (Orden de Trabajo), 2 uds	Verificación de flujo, p, temp, KO, salida analógica. Tareas de mantenimiento teniendo en cuenta los desecadores, el filtro del refrigerador, el ventilador, la tubería, la bomba de vacío, la válvula, la comprobación de fugas.	Informe de mantenimiento interno	EN, SPA
Registros de la estación, 12 unidades	Escaneos mensuales de las tareas de mantenimiento y GC/CC en el emplazamiento	Cuaderno de mantenimiento, escrito a mano	SPA (EN)

Según la documentación disponible, se han utilizado dos unidades TEOM diferentes. Para el TEOM 1405DF s/n 231821509 (TEOM-13), se ha realizado una verificación en 11/2020. Para el TEOM 1405DF s/n 235251602 (TEOM-14), se ha realizado una verificación en 07/2019.

El programa anual parece incluir sólo las tareas que se realizan en la estación, mientras que el informe de verificación incluye información sobre, por ejemplo, los controles de flujo que se realizan en el laboratorio de Serpram-Suez. A continuación se ofrece un resumen de las actividades de GC/CC más esenciales de la norma EN:

- Calibración anual del caudal: la verificación del caudal se ha realizado en 07/2019 y 11/2020. No hubo necesidad de ajustar el caudal entonces. **No se ha indicado la frecuencia y es necesario documentarla.**
- Comprobación trimestral (al menos) del caudal: **no está claro si se ha realizado.** Algunas marcas en el cuaderno sugieren que se ha realizado, pero no se ha podido confirmar. **No se ha indicado la frecuencia y es necesario documentarla.**

- Calibración anual de la presión, la temperatura y la humedad relativa: la verificación de la presión se ha realizado en 07/2019 y 11/2020, y la de la temperatura sólo en 07/2019. **No se ha indicado la frecuencia y es necesario documentarla. La temperatura debe verificarse cada año.**
- Verificación trimestral (al menos) de la presión, la temperatura y la humedad relativa: **sigue sin estar claro si esto se ha realizado.** Algunas marcas en el cuaderno sugieren que se ha realizado, pero no se ha podido confirmar. **No se ha indicado la frecuencia y es necesario documentarla.**
- Revisión anual de fugas del sistema de muestreo: se ha realizado en 07/2019 y 11/2020. **No se ha indicado la frecuencia y es necesario documentarla.**
- Comprobación anual del sistema de medición de masa AMS: probablemente se ha realizado (K0).
- Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos: Parece que se realiza semanalmente. Con respecto a la norma EN 16450, **debería realizarse cada día de la semana**, aunque este requisito hace referencia a una comprobación realizada a distancia. Parece que los parámetros operativos se comprueban en las visitas in situ.

Debe comprobarse que la frecuencia de los controles de laboratorio no supera los 12 meses. En el caso del TEOM-13, hay una ligera superación de <1 mes según el informe de verificación. En el caso del TEOM-14, la superación es menor (unos 10 días). Además, debe comprobarse que las actividades de GC/CC in situ, como la comprobación del caudal y la comprobación de los sensores (temperatura, presión atmosférica, humedad relativa), se realizan al menos cada 3 meses; con la documentación disponible, esto parece haberse llevado a cabo.

Se proporcionaron los registros de la estación para todos los meses de 2020, sin embargo, como estaban escritos a mano en español en un cuaderno (con algunos de los datos no visibles debido a problemas en el escaneo), no fue posible hacer un análisis de los mismos. Brevemente, se puede mencionar que los registros de la estación enumeran actividades como la medición de la temperatura, la presión y el flujo, la saturación del filtro y el estado del monitor y de la estación. No se puede realizar un análisis sobre la frecuencia de estas tareas, pero parece que hay actividades semanales y mensuales. Según las observaciones del MMA, faltan algunas de las fechas en el cuaderno de mantenimiento; esto debería corregirse, y notificarse a los técnicos para que recuerden rellenar esta información esencial.

1.3.4.4 Trazabilidad e incertidumbre de la medición por parte de Serpram-Suez

El operario había utilizado el caudalímetro Mesalabs Tetracal (s/n 172354) en la verificación del caudal según el informe de verificación para el TEOM-13 en 11/2020. En el caso del TEOM-14, esta información no se facilitó en el informe de verificación, por lo que la trazabilidad era totalmente inexistente. El operario no facilitó los certificados de calibración solicitados para, por ejemplo, el caudalímetro, por lo que no se confirmó la trazabilidad de las mediciones.

En la documentación entregada no se encontraron declaraciones sobre la incertidumbre de las mediciones de calidad del aire de MP₁₀.

1.3.5 SGS

A modo de resumen, el operario ha preparado cuidadosamente y en su mayoría con mucho detalle los PNT que instruyen al personal para llevar a cabo las tareas. Algunos procedimientos de GC/CC se desvían de las normas

EN y faltan algunos detalles en los PNT. La documentación de los procedimientos de GC/CC, el mantenimiento y las calibraciones parece estar bien hecha en su mayor parte, pero más adelante en este capítulo se dan algunas recomendaciones de mejora.

1.3.5.1 PNT de SGS

Los PNT evaluados parecen formar parte de un SGC oficial. Los PNT son fáciles de rastrear ya que incluyen un título claro, el código de identificación del documento, los números de página, el número de versión, la fecha de preparación y las revisiones, y una lista de los cambios implementados en el documento. También incluyen información sobre quién ha producido, revisado y aprobado el documento, sin embargo, sólo se menciona el título y no la persona.

La lista de PNT evaluados se presenta en la Tabla 21. En total, se evaluaron 10 PNT del SGS para este informe. En cuanto a los documentos solicitados, se recibieron todos los documentos excepto los siguientes:

- PNT específicos para diferentes analizadores de gas, por ejemplo, Thermo, Environnement, Ecotech => Si los usuarios están familiarizados con los manuales de los analizadores, puede que no sean necesarios. Sin embargo, a menudo estos tipos de PNT se prepara para facilitar las actividades del personal de campo.
- PNT para la validación de datos*
- PNT para la calibración multipunto de los analizadores de gases*
- PNT para el mantenimiento y el funcionamiento de los instrumentos de MP TEOM y Partisol Thermo 2000i (instrumentos mencionados en los registros de control de flujo)
- PNT para el pesaje de filtros*

Los PNT marcados con un asterisco (*) son los que se puede suponer que existen pero no se han entregado, ya que se incluyeron en la evaluación de un proyecto similar anterior (*Evaluación y recomendaciones técnicas para los procedimientos de garantía y control de calidad (GC/CC) y documentación conexas de la red de supervisión de la calidad del aire en la zona industrial de Quintero-Puchuncaví y Concón, informe N° 3, 2020*). En general, los PNT incluyen una gran cantidad de instrucciones sobre cómo realizar las mediciones de la calidad del aire o los procedimientos relacionados con ellas. Los PNT evaluados en este informe son idénticos a los del proyecto anterior, e incluso los números de versión de los PNT han permanecido inalterados. Por lo tanto, las recomendaciones siguen siendo aproximadamente las mismas que en el proyecto anterior. A continuación se ofrecen varias recomendaciones para aclarar y describir temas específicos en los PNT.

En general, debería introducirse una numeración más cuidadosa de las versiones de los PNT, ya que muchos de los PNT evaluados presentaban imprecisiones en la numeración de las versiones. En los PNT EHL-L3-SAM(CL)-CA-01 y EHS-L3-SAM(CL)-CA-07, los números de versión deberían corregirse por n° 01 y 02, respectivamente, ya que actualmente se presentan como versiones anteriores (n° 00) en la portada. En el PNT EHS-L3-SAM(CL)-CA-13I, la segunda versión (12/2018) permanece incorrectamente como N° 00, similar a la versión inicial N° 00 (09/2015). También debe comprobarse que todas las cabeceras de los PNT tienen la versión correcta (números de revisión y edición) y que las tablas "Control de cambios" de la portada utilizan formas idénticas de enumerar los números de versión revisados. En el PNT EHS-L3-SAM(CL)-CA-05, las fechas de versión del n° 01 no coinciden en la portada (10/2015 frente a 11/2018).

Tabla 21: Lista de PNT evaluados por SGS.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
EHS-L3-SAM(CL)-CA-01 Proced. Gral. Ope Est - Rev.01_english (doc)	describe cómo debe llevarse a cabo el funcionamiento de las estaciones de calidad del aire, así como establecer las metodologías de medición de las concentraciones de contaminantes ambientales en la atmósfera de referencia o equivalente. <i>Un documento general sobre:</i> - <i>Técnicas de medición (por ejemplo, UV)</i> - <i>Selección de emplazamientos</i> - <i>Requisitos de documentación</i>	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-07_english (doc)	entrega las directrices para realizar los informes de calidad del aire de forma ordenada y estandarizada para toda la zona	PNT	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO₂, NO_x, O₃, CO)</i>			
EHS-L3-SAM(CL)-CA-14I Calibración de Cero Span-english (doc)	describe los pasos para comprobar el valor cero y el valor de span de un monitor de gas continuo y ajustar estos valores de acuerdo con los valores de referencia	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I Inst Gral de Monitoreos-Rev01 (pdf)	El propósito de esta instrucción es describir el proceso de supervisión de la calidad del aire para los monitores de gases (CO, SO ₂ , NO ₂ , HCT y O ₃). Facilita recomendaciones para la instalación de los equipos, la captura de datos, el mantenimiento de los equipos, las calibraciones, las validaciones y los informes que deben llevarse a cabo en el marco de cualquier programa de supervisión.	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-13I	describe la metodología para comprobar el comportamiento del flujo volumétrico y estándar en un monitor de gas continuo	PNT	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
EHS-L3-SAM(CL)-CA-01I CALIBRA. MUEST ALTO VOL-english (doc)	describe los pasos para comprobar la estanqueidad y el flujo de funcionamiento del muestreador de alto volumen	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-02 Muestreadores de Alto Volumen_english	describe las etapas de instalación, funcionamiento y mantenimiento de los muestreadores de gran volumen.	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-05I Proced Traslado de Filtros-english (doc)	describe cómo deben transferirse los filtros asociados al muestreo de partículas MP10, MP2.5, incluidos los contenedores correspondientes al muestreo. de partículas sedimentables (MPS), y los filtros de partículas de Higiene Industrial	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-25I Mantén y Opera. Eq PQ200-english (doc)	describe la metodología a seguir para realizar el mantenimiento y la operación para los instrumentos de medición de partículas MP10, MP 2,5 de bajo volumen marca BGI modelo PQ200.	PNT	EN
EHS-L3-SAM(CL)-CA-26I Cambio de Motor y Carbones de Muestreador Alto Volumen_english	describe las directrices generales para cambiar el motor y los carbones a los muestreadores gravimétricos de alto volumen.	PNT	EN

PNT generales

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-01' describe cómo debe llevarse a cabo el funcionamiento de las estaciones de calidad del aire, y establece las metodologías para medir las concentraciones de los contaminantes atmosféricos. Además, incluye las responsabilidades del personal, los criterios para la selección del emplazamiento, los requisitos para el equipo y la instrumentación, la descripción de los métodos de medición y una breve parte sobre la calibración y el mantenimiento. En lo que respecta a la selección del emplazamiento, el PNT da instrucciones sobre cómo situar las estaciones a distancias especificadas de la calle (al menos 10 m de distancia de la acera, y distancia creciente con el aumento del flujo diario de vehículos), sin embargo, de acuerdo con los reglamentos europeos, los sitios de tráfico deben establecerse en un radio de 10 m de la carretera. De acuerdo con nuestras observaciones, el PNT sigue los requisitos del Decreto nacional N.º 61, y las preocupaciones planteadas previamente son válidas para este PNT. El PNT aporta instrucciones generales de GC/CC.

El mismo PNT enumera los métodos de referencia que se consideran métodos de referencia para los gases también en la UE, excepto para el ozono. Para el ozono, el PNT describe un método de quimiluminiscencia con etileno de acuerdo con la norma ISO 10313:1993 y el método EPA 40 CFR Parte 50 Apéndice D, mientras que en la UE el método de referencia es la fotometría ultravioleta. Sin embargo, el PNT establece este método como el método principal de calibración del O₃, así como un método equivalente. Además, en el PNT se enumeran otros métodos equivalentes, por ejemplo, el método de espectroscopia de absorción óptica diferencial (DOAS). Además, el método de referencia de MP difiere del método de referencia de la UE. En el PNT se describe un método de referencia de alto volumen, mientras que en la UE el método de referencia es un método de bajo volumen bastante similar, que a su vez en el PNT se considera un método equivalente. Para la medición continua de MP, el PNT enumera dos métodos equivalentes: la microbalanza oscilante de elemento cónico (TEOM) y la atenuación de rayos beta. Estos se utilizan como métodos equivalentes también en la UE cuando se prueban con pruebas de equivalencia. En el PNT se describe también brevemente el uso de muestreadores pasivos y activos y de sensores remotos como los satélites, y en gran medida el uso de equipo meteorológico.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-07' da instrucciones sobre el procedimiento general de preparación de informes de calidad del aire. Es una buena señal que el PNT informe sobre cómo copiar los datos en bruto y trabajar en ellos como promedios por hora, ya que es esencial guardar los datos en bruto tal como están, y los datos por hora es el formato ideal para los informes. Además, es bueno utilizar el factor de corrección basado en las calibraciones. Sin embargo, el PNT es de carácter muy general y se debe estimar si es suficiente para que el personal lleve a cabo la validación de los datos de manera sistemática. No se menciona la aplicación utilizada para el procesamiento de los datos (programa oficial de procesamiento de datos, Excel), dónde obtener los factores de calibración y cómo utilizarlos en detalle, qué hacer cuando el cero y el span están fuera de los criterios, dónde guardar los datos validados y dónde documentar cómo, cuándo y quién ha validado los datos.

Los PNT se relacionan con las mediciones de gas (CO, NO/NO₂/NO_x, O₃, SO₂)

En cuanto a las mediciones de gas, se facilitó un PNT con instrucciones muy generales ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-12'), un PNT para la calibración de cero y span ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-14') y un PNT para las comprobaciones de flujo ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-13'). Los PNT entregados no incluían instrucciones para la calibración multipunto, que es un procedimiento de GC/CC muy importante, sin embargo, según las observaciones del proyecto anterior, dichas instrucciones existen aunque no se hayan entregado para su evaluación.

El PNT ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I') ofrece recomendaciones generales para la instalación del equipo, la captura de datos, el mantenimiento del equipo, las calibraciones, las validaciones y los informes de información que deben llevarse a cabo bajo cualquier programa de supervisión. Además de las instrucciones generales, hace referencia a los Manuales del Fabricante para acciones específicas de calibración y mantenimiento y a otros PNT, por ejemplo, para la comprobación del cero y del span (-CA-14I), la comprobación multipunto (-CA-15I), la comprobación del flujo (-CA-13I) y la prueba de fugas (-CA-11I).

El PNT no indica especificación alguna para el tipo de filtro y esto se le debería añadir. De acuerdo con las normas EN, el material del filtro debe ser politetrafluoroetileno (PTFE) con un tamaño de poro recomendado de 5 µm. El PNT aconseja cambiar el filtro de partículas cada 2 semanas o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante); este intervalo es bastante aceptable y se encuentra dentro del criterio de las normas EN. Sin embargo, el PNT no da instrucciones sobre cómo manejar el soporte del filtro. De acuerdo con las normas EN, el alojamiento del filtro debe limpiarse al menos cada seis meses; esto debe indicarse en el PNT y en el trabajo real realizado en el lugar. El PNT aconseja limpiar los conductos neumáticos cada mes o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante); si son los mismos que los conductos de muestreo (y no los conductos internos del analizador), esto se hace conforme a las normas EN, ya que éstas exigen que los conductos de muestreo se cambien o se limpien al menos cada seis meses. Además, las normas EN aconsejan que el sistema de muestreo y el filtro de partículas se acondicionen (en la instalación inicial y después de cada limpieza) para evitar disminuciones temporales de las concentraciones medidas tomando muestras del aire ambiente durante un período de al menos 30 minutos a la velocidad de flujo de muestra nominal (el acondicionamiento también puede hacerse en el laboratorio antes de la instalación); este procedimiento no se menciona en los PNT.

Los PNT no mencionan el tiempo de residencia en el sistema de muestreo que se relaciona directamente con la longitud del conducto de muestra. Esto es sobre todo importante para la medición del NO. Dado que el O₃ está normalmente presente en el aire muestreado, se producirá un cambio en las concentraciones de NO y NO₂ debido a la reacción del NO con el O₃ en la entrada y conducto o colector de muestreo, y en el analizador. En la práctica, se puede evitar un cambio significativo en las concentraciones de NO y NO₂ cuando el tiempo de residencia en el sistema de muestreo es ≤3s. El requisito para el tiempo de residencia en el analizador es ≤3s (normas EN) y para todo el sistema, normalmente menos de 6s para evitar, por ejemplo, la formación significativa de dióxido de nitrógeno. Se evaluará el tiempo de residencia para el canal de NO. No es necesario evaluar el tiempo de residencia para el canal de NO_x (en el que está presente el convertidor) ya que todo el NO₂ se convierte en NO en el convertidor. Por lo tanto, la longitud máxima permitida del conducto de muestra debe añadirse a los PNT.

Puesto que el Decreto N.º 61 requiere la calibración del flujo de los analizadores de gas al menos una vez al año, SGS tiene un PNT relacionado con esta tarea. Como se indica previamente, se trata de un procedimiento que normalmente no necesita realizarse como rutina. El PNT 'EHS-L3_SAM(CL)-13I' no reconoce el hecho de que el flujo de los analizadores de NO/NO₂/NO_x cambia periódicamente entre los modos de medición (entre NO y NO_x) y, por lo tanto, dependiendo del momento de la comprobación, los resultados del flujo pueden ser muy diferentes. Cabe señalar que el PNT no indica cómo ajustar el flujo, sino que da instrucciones para enviar el equipo a corregir/repara. Tampoco indica la frecuencia de las comprobaciones, sin embargo, en los PNT 'EHS-L3_SAM(CL)-CA-01I' y 'EHS-L3_SAM(CL)-12I' se indica que se haga anualmente o cuando se cambie un componente en el analizador u otra intervención hecha al analizador.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-14I' explica el procedimiento de comprobación de cero y span con aire cero y una concentración de span (80% del rango establecido en el equipo) con 10 min de tiempo de estabilización para cada uno (o como se determine en el manual del fabricante).

El PNT da opciones para realizar la comprobación del cero y el span ya sea manual o automáticamente. El PNT indica cómo usar el 10 % como criterio de aceptación para la calibración e informa sobre cómo ajustar el cero y el span después de la comprobación manual cada vez independientemente de los resultados (si están dentro del criterio del 10 % o no). Esto debería aclararse en el PNT: cuál es el criterio de acción después de la comprobación manual, es decir, si existe un criterio del 10 % (recomendamos el 5 %) o si el ajuste debe realizarse en cualquier caso. **En el caso del gas cero, los criterios de aceptación no se indican en ningún punto del PNT.** En las normas EN, se da un criterio de acción del 5 % para el gas span y otro valor (p. ej. SO₂, NO, O₃: $\leq -4,0$ o $\geq 4,0$ nmol/mol) para el gas cero. Para las comprobaciones automáticas de cero y de span, se da una opción para la calibración en el PNT, sin embargo, se menciona que la calibración con comprobaciones automáticas no cumple con los métodos de la EPA. En las normas EN, no deben utilizarse para la calibración las comprobaciones automáticas del cero y del span, por lo que se desaconseja la calibración automática. Por el momento, en el PNT no se dan consejos sobre los criterios de repetibilidad a cero y span del analizador; se aconseja añadirlos. Las normas EN exigen que se compruebe la repetibilidad en la concentración cero y span al menos cada tres meses con 10 mediciones individuales. Además, no se aconseja el intervalo de verificación de los gases utilizados para las comprobaciones del cero y del span; se aconseja añadirlo. En las normas EN, el intervalo requerido para el SO₂, NO y CO es de seis meses para los gases de comprobación de cero y de span y de tres meses para el ozono; sin embargo, no se recomienda para los gases de calibración. Además, las normas EN establecen que los gases de calibración deben ser diferentes de los utilizados para las comprobaciones de cero y de span.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-15I' describe la calibración multipunto y la prueba de linealidad. Para la calibración multipunto, el PNT da instrucciones para usar 10 min de tiempo de estabilización, lo cual es bueno, sin embargo, sólo indica usar dos concentraciones de span mientras que el PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-01' recomienda usar cuatro spans y el PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I' usar tres spans. **Los PNT deben corregirse para informar de la calibración multipunto de manera unificada. Para la calibración multipunto, se recomienda una calibración de al menos 4 puntos.**

Para la linealidad, no se dan instrucciones detalladas en los PNT y esto debería mejorarse. De acuerdo con las normas EN, la linealidad del analizador se probará utilizando como mínimo las siguientes concentraciones: 0%, 60%, 20% y 95% del máximo del rango de certificación del gas (por ejemplo, SO₂). En cada concentración (incluido el cero) se realizarán al menos dos lecturas individuales. Después de cada cambio de concentración se tendrán en cuenta al menos cuatro tiempos de respuesta antes de realizar la siguiente medición.

En lo que respecta a las mediciones de NO_x, **no se han encontrado instrucciones relacionadas con la comprobación de la eficiencia de la conversión, por lo que el operario deberá comprobar si estas existen.** De acuerdo con la norma EN (EN 14211), esto debe realizarse una vez al año. Se hará una corrección matemática de la concentración de NO₂ cuando la eficiencia del convertidor esté entre el 95-98%. Si la eficiencia es menor del 95%, el convertidor debe cambiarse.

PNT relacionados con las mediciones de MP₁₀ y MP_{2.5}

En la red, existen dos métodos diferentes para medir MP₁₀ y MP_{2.5}. Se trata de los métodos de muestreo con filtro, con muestreo de bajo o alto volumen. Así pues, existen varios PNT relacionados con la medición de MP.

En la UE, hoy en día no existe un método de referencia para el muestreo de alto volumen, sin embargo, solía ser un método de referencia antes de las grandes actualizaciones en la normalización de las MP en 2014. Por lo tanto, los PNT de alto volumen de MP se evalúan aquí de forma general, sin un estándar de referencia. Las normas EN retiradas son las siguientes: (A) para MP₁₀: *EN 12341:1998 Air Quality. Determinación de la fracción de MP₁₀ de las partículas en suspensión. Método de referencia y procedimiento de prueba de campo para demostrar la equivalencia de referencia de los métodos de medición.* Y (b) para MP_{2.5}: *EN 14907:2005. Calidad del aire ambiente. Método de medición gravimétrica estándar para la determinación de la fracción de masa MP_{2.5} de materia particulada en suspensión.*

En general, el PNT "EHS-L3-SAM(CL)-CA-02" relativo a la toma de muestras de MP de alto volumen (HVS) está bien preparado. La frecuencia de muestreo es de 24 h o un mínimo de 18 h. En las normas EN, el tiempo de muestreo debe ser de 24±1 h. **El criterio de control del flujo es de ±10% (1.017–1.243 m³/min) del flujo deseado (1,13 m³/min, o 68 m³/h), mientras que en las normas EN el criterio es más estricto, con ±5%.** El PNT hace referencia al programa de mantenimiento para la calibración del flujo y los intervalos de comprobación en los que se indica que la actividad se realiza cada 3 meses.

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-01' explica la calibración del flujo de MP y la prueba de fugas. Según el PNT, el resultado de la prueba de fugas parece estar basado en una observación de un sonido extraño en lugar de un registro numérico real que puede ser de la instrucción del manual del instrumento. Si las instrucciones del PNT se entienden correctamente, la calibración de flujo se realiza en 5 puntos de presión cada 3 años a menos que se observen resultados desviados en las comprobaciones de flujo regulares ('...debe completar los 5 puntos de presión de la hoja de cálculo multipunto... La validez de los patrones de flujo utilizados será de 3 años después de la última calibración realizada.'). En las normas EN, la calibración del flujo se realiza **al flujo nominal una vez al año, mientras que los controles de flujo deben realizarse cada 3 meses.** En los controles, el valor instantáneo estará dentro del criterio del ±5%, mientras que en la calibración, el flujo estará dentro del ±1% según la norma EN (para el método LVS). Además, el caudalímetro debe ser trazable y la incertidumbre relativa ampliada del caudalímetro (confianza del 95%) será ≤2% (verificación del caudal) o bien ≤1% (calibración del caudal) en condiciones de laboratorio. **El PNT no ofrece criterios para la variación del flujo o la exactitud y trazabilidad del caudalímetro; éstos deben añadirse.**

El PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-05' sobre filtros indica cómo enviar las muestras de MP₁₀ y MP_{2.5} semanalmente o al menos en un plazo de 20 días al laboratorio; esto se considera un buen intervalo. Sin embargo, no establece ningún requisito para las condiciones ambientales, por ejemplo, criterios de temperatura o protección contra el sol, ya que las altas temperaturas pueden afectar a las pérdidas de partículas volátiles o semivolátiles. **Las condiciones de temperatura adecuadas para el almacenamiento de los filtros muestreados deben tenerse en cuenta minuciosamente y aplicarse** de manera que la pérdida de materiales volátiles y semivolátiles se reduzca al mínimo durante el período de almacenamiento. En el PNT también se enumeran los tipos de filtros; sin embargo, **no se especifican los filtros que se utilizan para el muestreo de MP₁₀ y MP_{2.5} (y los que se utilizan para la higiene industrial o el material particulado sedimentado que no forman parte de la evaluación); esto debería aclararse.** Por lo tanto, no se puede realizar ningún análisis sobre la idoneidad del tipo de filtro.

El PNT "EHS-L3-SAM(CL)-CA-25I" da instrucciones para el uso del muestreador de bajo volumen (LVS) con carga de un solo filtro (instrumento BGI PQ200). El caudal nominal de 16,7 LMP (1 m³/h) es el correcto para recoger partículas MP₁₀ con la entrada tipo EPA, y se ha comprobado que funciona en numerosos estudios comparativos (ref: EN 12341), aunque la norma EN indica que se utilice otro tipo de entrada estándar con un caudal de 2,3 m³/h. **Para el muestreo de MP_{2.5}, el PNT no menciona el caudal, y se debería añadir.** En este PNT, el flujo se calibra

cada dos años con 3 valores de flujo (repartidos uniformemente en un rango de $\pm 10\%$ del flujo de operación de 16,7 Lpm). Una vez más, esto difiere de las normas EN como se describe para las HVS. Además, **no ofrece tampoco consejos sobre el intervalo de las verificaciones del flujo (aparte de la calibración cada 2 años) ni la variación aceptada del valor nominal.** Todos estos hechos deben documentarse preferentemente en el PNT (o en otro lugar). Contradictoriamente, el programa de mantenimiento implica que la frecuencia de comprobación puede ser cada 3 meses, lo cual es suficiente según la norma EN. El PNT indica que se utilizan filtros de PTFE (de 47 mm de diámetro); sin embargo, la marca del filtro, el número de serie y el tamaño de los poros deberían especificarse en el PNT. El PNT indica que, de acuerdo con la EPA, el muestreo debe realizarse en un plazo de 24 horas ± 10 min, lo cual es adecuado, pero los criterios de acción podrían establecerse más claramente para aplicarse en la red. El intervalo de muestreo se establece de 00:00 a 00:00, lo cual es bueno. El PNT no da instrucciones para la codificación/identificación de los filtros y esto debería aplicarse para asegurarse de que los filtros no se mezclan.

En los PNT descritos anteriormente se hizo referencia a otros dos PNT. Estos son 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-02I. Cambio del filtro del muestreador de alto volumen' y 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-03I. Mantenimiento del cabezal [entrada de MP]'. Estos no se entregaron, y por lo tanto, no fueron evaluados.

1.3.5.2 Procedimientos de GC/CC planificados e instruidos por SGS

Los procedimientos de GC/CC instruidos por SGS están documentados en los PNT y en el plan de trabajo anual de calibración y mantenimiento (*Carta Gantt de Mantenimiento estaciones Red de Calidad del Aire*). En la Tabla 22 se resumen los procedimientos de GC/CC instruidos y planificados. Además, los procedimientos realizados se comparan con los requisitos de las normas EN y se dan recomendaciones cuando es necesario para que la red mejore el GC/CC o implemente nuevas actividades. Las sugerencias de mejora o nueva implementación se presentan con énfasis en las actividades prioritarias.

Tabla 22: Actividades de GC/CC del operario SGS junto con las sugerencias de mejora e implementación. Las actividades prioritarias para mejorar se presentan en negrita.

Actividad	Frecuencia SGS	Recomendaciones
<i>Mediciones de gas</i>		
Calibración del analizador	Calibración multipunto (O ₃ , SO ₂ y CO): Cada seis meses o cada vez que se intervenga el equipo (PNT), dos veces al año (plan de trabajo anual). Calibración multipunto de NO _x : Trimestralmente o cada vez que se intervenga el equipo (PNT), dos/tres veces al año (plan).	Al menos cada 3 meses para todos los gases. Puede extenderse a 6 meses si $\text{cero} + \text{span} \leq 2\%$.
Repetibilidad en el cero y el span del analizador	-	La repetibilidad debe calcularse a partir de 10 lecturas.
Verificación de los gases utilizados para las comprobaciones de cero y de span	Anualmente (plan de mantenimiento)	Al menos cada 6 meses. La frecuencia de la verificación debe implementarse.

Comprobación del cero y del span	Semanalmente (PNT).	Los gases de comprobación del cero y del span podrían ser independientes de los gases de calibración.
Falta de comprobación de ajustes (linealidad)	Se menciona en el PNT pero no se indica en él la frecuencia. En el plan de mantenimiento, una vez al año.	El procedimiento debe ser descrito y la frecuencia (por lo menos una vez al año) indicada.
Eficiencia del convertidor (NO)	No se menciona en el PNT. En el plan, dos veces al año (septiembre y diciembre).	La actividad debería incluirse en el PNT, al menos cada año.
Colector de muestras de prueba	-	Debe indicarse.
Revisión del filtro de partículas.	Cada visita (PNT), no se menciona en el plan de mantenimiento.	Debe evaluarse si es necesario incluirlo en el plan de mantenimiento.
Cambio de los filtros de partículas del sistema de muestreo en la entrada del muestreo y/o en la entrada del analizador	Cada 2 semanas o cuando sea necesario (PNT), no se menciona en el plan de mantenimiento.	Debe evaluarse si es necesario incluirlo en el plan de mantenimiento.
Prueba/limpieza/cambio de los conductos de muestreo	Limpieza cada mes o cuando sea necesario (PNT), no se menciona en el plan de mantenimiento.	Debe evaluarse si es necesario incluirlo en el plan de mantenimiento. (Al menos cada 6 meses)
Cambio de consumibles	-	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Mantenimiento preventivo/rutinario de componentes del analizador	Revisión del diafragma de la bomba: Cada 12 meses de funcionamiento (como indica el fabricante). Limpieza del filtro óptico: Cuando sea necesario. Limpieza de la cámara de reacción: Cada 12 meses o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante). Prueba de fugas: Cada 2 meses o cuando sea necesario	(Según lo requiera el fabricante o el rendimiento del analizador)
Registro de las condiciones de funcionamiento.	Cada visita.	-
Comprobación de flujo.	Una vez al año o cuando se hace alguna intervención al equipo (PNT), mensualmente (plan de mantenimiento).	Debe considerarse si es necesario regularmente
<i>Mediciones de MP (con muestreo de filtro, HVS y LVS)</i>		
Calibración de la tasa de flujo de la muestra	HVS: 5 puntos de presión cada 3 años LVS: 3 mediciones de flujo cada 2 años	Debe realizarse en el flujo nominal cada año.
Comprobación de la tasa de flujo de la muestra	HVS: 10% de variación aceptada (PNT). Mensualmente (plan). LVS: sólo se menciona la calibración, no se menciona ningún criterio (PNT). Trimestralmente (plan). Se acepta una desviación del 10% (hoja de comprobación del flujo).	Debe realizarse al menos cada 3 meses (como en el plan). Los criterios deben ser más estrictos en $\pm 5\%$.
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	En el plan de mantenimiento se indica el mantenimiento de los caudalímetros Serie 3321/Serie 660 y Tetracal 650 una vez al año, pero no queda claro lo que se hace.	El caudalímetro debe ser trazable y calibrado periódicamente. La MU debe ser $\leq 1.0\%$ para la calibración y $\leq 2.0\%$ para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	HVS: sólo la instrucción se relaciona con el sonido de silbido. LVS: no se menciona.	Debe indicarse y realizarse cada año con un criterio de acción del 1%.
Calibración de los sensores de temperatura y presión en el muestreador	-	Debe realizarse cada año e indicarse en el PNT.

Comprobaciones de los sensores de temperatura y presión en el muestreador	LVS: Se menciona brevemente pero no se indica la frecuencia.	Debe realizarse cada 3 meses e indicarse en el PNT.
Mantenimiento regular de los componentes del muestreador	HVS y LVS: Indicado en PNT. En el plan de mantenimiento, limpiar los ciclones y los cabezales cada 1-2 meses.	(Según lo requerido por el fabricante.)
Almacenamiento de los filtros	-	No inducirán pérdidas adicionales de los componentes semivolátiles de PM. Normalmente, por debajo de 23 °C debería ser suficiente.
Tipo de filtro	Se indican pero no determinan varios tipos indicados en el PNT, que se utilizan para PM10 y PM2.5	El tipo de filtro debe determinarse en el PNT. Para LVS, los filtros serán de fibra de vidrio, fibra de cuarzo, PTFE o fibra de vidrio revestida de PTFE. Los filtros tendrán una eficiencia de separación de al menos el 99,5 % para partículas con un diámetro aerodinámico de 0,3 µm.
<i>Mediciones de MP (con analizador continuo = AMS)</i>		
Calibración de la(s) tasa(s) de flujo de AMS		Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la calibración en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año.
Comprobación de la(s) tasa(s) de flujo de AMS	- Mensualmente en febrero-julio, luego en noviembre (plan).	Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la comprobación en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada 3 meses.
Precisión y trazabilidad del caudalímetro	-	La MU debe ser ≤1.0% para la calibración y ≤2.0% para la verificación.
Comprobación de fugas del sistema de muestreo	-	Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la comprobación en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año.
Comprobación cero de la lectura de AMS	-	Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la comprobación en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año.
Comprobación del sistema de medición de masas AMS		Se recomienda calibrarlo anualmente y revisarlo cada 3 meses.
Comprobaciones de los valores de estado de los parámetros operativos	-	Debe documentarse diariamente (en días laborables).
Calibración de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	-	Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la calibración en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada año.
Comprobaciones de los sensores de temperatura, presión y/o humedad	-	Se deben implementar instrucciones sobre cómo realizar la calibración en la práctica y se debe indicar la frecuencia. Debe hacerse cada 3 meses.
Mantenimiento regular de los componentes del AMS	-	(Según lo requerido por el fabricante.)

1.3.5.3 Procedimientos de GC/CC realizados por SGS

Los documentos que se refieren a las actividades de GC/CC (principalmente calibración y mantenimiento) y que se recibieron para su evaluación se enumeran en la tabla 23. De SGS, se eligió un sitio (Calama Centro) para su evaluación.

Tabla 23: Lista de documentos de calibración y mantenimiento evaluados por operarios SGS.

Documento	Contenido del documento	Forma del documento	Idioma
<i>Documentos generales</i>			
Temp-RH calibration sheet	Calibración del sensor de temperatura (ino está claro para qué uso!)	Hoja de calibración (int)	EN
<i>Documentos relacionados con las mediciones de gases (SO2, NOx, O3, CO)</i>			
Cero span Jan-Dec 2019 (12 pcs)	Hojas de comprobación semanal de cero y span para gases	Documento de GC/CC (int)	EN/SPA
Cert gases standard	Certificados de gases span	Certificado de gas (ext)	EN
Standards cert	Hojas de reparación de equipos para el generador de aire cero Sabio 1001 y el diluidor Environic 6100 (3 unidades)	Informe de mantenimiento (ext)	EN/SPA
	Certificados de O3 (2 unidades), calibraciones de flujo (5 unidades) y multímetro (1)	Certificado de calibración (ext)	EN/SPA
Zero Air Environic	Hoja de reparación del equipo para el generador de aire cero Environic 7000	Informe de mantenimiento (ext)	SPA
Fugas gases	Comprobaciones de fuga, caudal, temperatura y presión de los analizadores de gases	Hoja de mantenimiento (int)	
<i>Documentos relacionados con las mediciones de PM</i>			
Standard high flows	Certificado de calibración para Tisch TE-5028 (HVS?)	Certificado de calibración (ext)	EN/SPA
Variflow (3 pcs)	Certificado de calibración para Tisch TE-5028A (2) y hoja de certificación inicial (1)	Certificado de calibración, hoja de certificación (ext)	EN
Hi Vol Multipunto (12 pcs)	Calibración/comprobación mensual del flujo HVS	Hoja de calibración (int)	SPA
Partisol PQ-200 Flujo Fuga (8 pcs)	Comprobación de fugas y flujo de LVS cada 1-2 meses	Hoja de mantenimiento/calibración (int)	SPA
Teom Flujo Fuga (8 pcs)	Comprobación de fugas y flujo AMS (TEOM 1405DF)	Hoja de mantenimiento/calibración (int)	SPA

A continuación, las acciones de calibración y mantenimiento y las frecuencias recomendadas para las mediciones de gas se dan como se indica en el PNT 'EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I'.

Tabla 24. Acciones de calibración y mantenimiento y frecuencias recomendadas para las mediciones de gas por operarios SGS (ref: EHS-L3-SAM(CL)-CA-12I).

Acción de mantenimiento	Frecuencia
Registro de las condiciones de funcionamiento.	Cada visita.
Revisión del filtro de partículas.	Cada visita
Cambio del filtro de partículas.	Cada 2 semanas o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante).
Revisión del diafragma de la bomba.	Cada 12 meses de funcionamiento (como indica el fabricante).
Comprobación de flujo.	Una vez al año o cuando se hace alguna intervención al equipo.
Limpieza de los conductos neumáticos.	Cada mes o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante).
Limpieza del filtro óptico.	Cuando sea necesario
Limpieza de la cámara de reacción.	Cada 12 meses o cuando sea necesario (según lo indicado por el fabricante).

Prueba de fugas.	Cada 2 meses o cuando sea necesario
Comprobación de cero / span.	Semanalmente
Calibración multipunto (O ₃ , SO ₂ y CO).	Cada seis meses o cada vez que se intervenga el equipo.
Calibración multipunto de NO _x .	Trimestral o cada vez que se intervenga el equipo.

1.3.5.4 Trazabilidad e incertidumbre de la medición por parte de SGS

El PNT general relacionado con los gases ('EHS-L3-SAM(CL)-CA-121') hace referencia a los estándares de calibración trazables. Para la calibración se utilizan tubos de impregnación de SO₂ y NO₂ (y H₂S); para el CO y el NO se utilizan cilindros de gas para la calibración, mientras que para el O₃ se utiliza un fotómetro estándar de UV según el PNT. El PNT establece que el equipo de dilución está calibrado. No establece que el caudalímetro debe ser calibrado, sin embargo, es esencial que el caudalímetro también esté calibrado. El PNT indica que se debe realizar una calibración multipunto en el momento de la instalación, cuando se intervenga en el instrumento y a intervalos regulares según la Tabla 24.

Para la evaluación de la trazabilidad, se entregaron diez certificados de gas relacionados con SO₂, NO/NO_x y CO. Las incertidumbres de medición de estos estándares de gases se mantuvieron en el rango de 0.4– 1.2%, lo que puede considerarse muy bueno. Para todos los estándares, el proveedor fue Airgas, y los estándares eran cilindros de un solo gas o multigás. Las concentraciones fueron las siguientes: NO y NO_x, 70, 100 y 150 ppm; SO₂, 50, 60, 70 y 100 ppm; y CO 250 y 800 ppm. Estas concentraciones se diluyeron para las comprobaciones de calibración y span. Los certificados no fueron acreditados. La trazabilidad era con el NIST, que es excelente. Los cilindros sin abrir tienen la fecha de caducidad en 2024-2027, sin embargo, hay que recordar que tan pronto como se abre la botella, la validez del estándar de gas depende del usuario y la fecha del certificado ya no es válida, por lo tanto, el usuario necesita confirmar la validez periódicamente (para el gas span, cada 6 meses según las normas EN). En general, los gases son válidos para la calibración; y se han utilizado para comprobaciones de span o calibraciones reales en la estación de calidad del aire estudiada (Calama Centro).

No se entregaron certificados para los tubos de impregnación, por lo que se supone que no se han utilizado tubos de impregnación para la calibración de SO₂ y NO₂, pero esto debe comprobarlo el operario.

En cuanto a las calibraciones de O₃, se entregaron dos certificados acreditados de calibración del sistema de calibración (s/n 5036 y 5708) en AyT Servicios LTd. La trazabilidad del certificado es un poco confusa, ya que no documenta el sistema de calibración con total claridad (=sólo menciona la marca Environics pero no el modelo, por ejemplo, Environics 6100) ni la cadena de trazabilidad a las unidades del SI (sólo se menciona el número de certificado), y la incertidumbre para el cero se da incorrectamente como un porcentaje (siempre debe ser un valor absoluto ya que no se puede dar un porcentaje a cero); sin embargo, estos son mayormente problemas del laboratorio de calibración y no de SGS mientras se aconseja que SGS tenga en cuenta estos resultados. La incertidumbre en la medición de la calibración fue bastante alta, del 8,6%, aunque podría ser el resultado de una larga cadena de trazabilidad. El sistema de calibración s/n 5036 se ha utilizado en la estación Calama Centro.

Para los diluidores (s/n 5036 y 5708), se entregaron cuatro certificados de calibración de flujo. Estos incluían certificados para dos diluidores Environics 6100 separados en dos rangos de flujo. En uno de estos certificados, el error del diluyente era bastante elevado (7%) antes de la calibración.

En el caso de los caudalímetros, se entregó un certificado de calibración de fábrica de BGI del caudalímetro TetraCal (número de serie 650) con una incertidumbre en la medición y trazabilidad al NIST. Este certificado no fue acreditado. Este caudalímetro se ha utilizado para comprobar el flujo de los monitores de gas, los muestreadores de bajo volumen de MP y los monitores de MP. En las hojas de comprobación de caudal (CHEQUEO DE FUGA Y FLUJO DE EQUIPO CONTINUO MP), **no se incluye el número de serie en la hoja, que debería añadirse para que quede claro qué instrumento exacto se ha utilizado.**

Para las mediciones de muestreo de alto volumen de PM, se entregaron tres certificados de calibración de caudalímetros Tisch TE-5028 (s/n 0660 y 1761). Dos certificados eran de Tisch Environmental (no acreditado), y la fecha de caducidad era en septiembre de 2019. El TE-5028 s/n 1761 ha sido calibrado desde entonces con una incertidumbre de medición del 2,25% en Solmee, que es un laboratorio de calibración chileno para instrumentos meteorológicos y flujos de gas (certificado de calibración no acreditado). Este instrumento con calibración vigente se utilizó en la estación Calama Centro en octubre y noviembre de 2019. Para el s/n 0660, no se entregó un nuevo certificado de calibración aunque se utilizó en la estación Centro en mayo de 2019, cuando parecía tener una calibración obsoleta. Los certificados de calibración y la trazabilidad eran un poco confusos, y habría que asegurarse de que el usuario entiende su significado. En 2019, el TE-5028 con s/n 3321 se utilizó principalmente para calibraciones de flujo (10 veces). Para este instrumento, se entregó una hoja de certificación de Tisch Environment, pero de nuevo el certificado y la cadena de trazabilidad eran un poco confusos.

Para los generadores de aire cero, se entregó una hoja de reparación de equipo (Sabio 1001) y un registro de mantenimiento (Environics 7000). Para los diluidores, se entregó una hoja de reparación de equipo (Environics 6100). Todas ellas se han realizado en la propia empresa SGS.

Además, se entregó el certificado de calibración del sensor de temperatura (Vaisala). Esta calibración se ha realizado internamente en SGS en 2019.

1.4 Conclusiones parciales

En este informe se presentan las conclusiones y recomendaciones de los documentos prioritarios relacionados con las mediciones de la calidad del aire de los contaminantes SO_2 , $NO/NO_2/NO_x$, CO , O_3 , MP_{10} y $MP_{2.5}$ en la región de Calama, Huasco y Coronel. Estos documentos incluían instrucciones pertinentes (denominadas PNT en este informe) sobre cómo realizar las mediciones y ejecutar los procedimientos de GC/CC. Además, se evaluaron los documentos de calibración y mantenimiento, los registros, los planes y los certificados de los sistemas de calibración. La evaluación incluyó siete estaciones de calidad del aire y cinco operarios que se indican a continuación. La evaluación se realizó por separado para los operarios, ya que los procedimientos pueden ser diferentes entre las organizaciones.

1. CALAMA, Centro (operario SGS)
2. HUASCO, Huasco Sívica (operario Algoritmos)
3. HUASCO, EME-F (operario Bureau veritas)
4. CORONEL, Coronel Sur (operario Algoritmos)
5. CORONEL, FCP (operario Serpram-Suez)
6. CORONEL, Lota Rural (operario Inerco)
7. CORONEL, Lo Rojas, (operario Bureau veritas)

La evaluación se asemeja a una auditoría realizada basándose solamente en la documentación. Como el análisis se basa plenamente en la documentación recibida, puede ignorar alguna documentación existente de los operarios que no se entregara o no se pusiera en conocimiento para la evaluación. Las normativas de la UE y las Normas EN se consideran el punto de referencia con el que se comparan las actividades de medición en la zona de Calama, Huasco y Coronel. Existen diferencias entre la normativa chilena y la de la UE, por lo que es evidente que la frecuencia y la forma de llevar a cabo las actividades de GC/CC de los operarios difieren en cierta medida de los métodos normativos europeos. Asimismo, los métodos de referencia difieren de los de la UE para O₃, MP₁₀ y MP_{2.5}.

En general, todos los operarios han entregado una gran cantidad de documentación relativa a las mediciones de la calidad del aire. Algunos de los operarios entregaron la mayor parte de la documentación necesaria, mientras que de otros faltaban varios documentos, y no estaba claro si se debía a que no existían o sólo a la falta de entrega. En general, los operarios de Algoritmos y SGS fueron los que entregaron la mayor cantidad de documentos, posiblemente en parte debido a que habían participado en un proyecto similar anteriormente en las regiones de Concón, Puncuncavi y Quintero. En el caso de los demás operarios, faltaron varios documentos para realizar una evaluación completa.

En general, los documentos eran bien identificables y localizables, y se otorgaban responsabilidades. Algunos operarios indicaron los procedimientos de GC/CC. Parecía que los operadores podían tener Sistemas de gestión de calidad oficiales, aunque no se reveló si esto era un hecho. Algunos de los PNT eran muy detallados, lo que es muy buena señal, mientras que otros no eran tan específicos, pudiendo existir el riesgo de que diferentes técnicos realicen las actividades de manera diferente.

Con la información disponible, parece que no se han evaluado las incertidumbres de medición y los límites de detección. Las mediciones parecen tener trazabilidad a las unidades del SI, sin embargo, se evidenciaron carencias en la trazabilidad o en los documentos entregados. Estos temas deben tratarse con la importancia que corresponde, por ejemplo, en las auditorías de las estaciones.

1.5 Recomendaciones parciales

Prioridades de la primera fase

Las recomendaciones prioritarias para una rápida mejora son válidas para todos los operarios (se explican con más detalle en el informe):

Mediciones de gas

- Se recomienda verificar regularmente los gases cero y span para confirmar la exactitud de las calibraciones.
- Las unidades del cero y los gases de calibración del span deberían ser independientes de los gases y unidades de comprobación.
- Debe verificarse que todos los operarios comprueban la eficacia del convertidor de NO cada año.
- Debe verificarse que todos los operarios comprueban las líneas de muestreo cada 6 meses.

- Se recomienda tener en cuenta si es necesario realizar comprobaciones y ajustes de caudal regulares para los analizadores de gas, ya que la precisión del caudal de los analizadores de gas no es un punto crucial en la medición y los analizadores avisan cuando se necesita dicha calibración.

Mediciones de MP

- Las comprobaciones del caudal de MP deben realizarse al menos cada 3 meses para los muestreos de alto (HVS) y de bajo (LVS) volumen, así como para los analizadores de MP continuos.
- Las comprobaciones de fugas deben realizarse anualmente si aún no se han realizado.
- Deben realizarse comprobaciones de cero y de masa anualmente si aún no se han realizado.
- Se deben indicar las condiciones de almacenamiento de los filtros de MP₁₀ y MP_{2.5} (LVS y HVS) para que muestren pérdidas adicionales de componentes semivolátiles de MP.
- Las balanzas utilizadas para pesar los filtros de MP deben calibrarse completamente al menos una vez al año. Se deben tener en cuenta los criterios de temperatura y humedad relativa y reconocer los tiempos de estabilización de los filtros.

Prioridades de la segunda fase

Cuando se hayan aplicado las recomendaciones prioritarias de la primera fase, las siguientes recomendaciones deberían ser utilizadas por ambos operarios:

Mediciones de gas

- Debe calcularse la linealidad de la calibración al menos una vez al año.
- Debe calcularse la repetibilidad del cero y del span.

Mediciones de MP

- Se debe realizar la calibración y comprobación de los sensores de presión, temperatura y humedad, si aún no se ha hecho.

Prioridades a largo plazo

Recomendaciones prioritarias para mejorar la regulación de la calidad del aire o los procedimientos generales de calidad del aire en Chile, cuya aplicación llevará tiempo:

- Se recomienda poner en práctica auditorías periódicas externas de sistemas y de campo por parte de un Laboratorio nacional de referencia (NRL) o la autoridad correspondiente para confirmar la calidad de las mediciones de la calidad del aire. Al principio, el intervalo podría ser de dos años y más tarde ampliarlo a un máximo de cinco años como se recomienda en las directivas europeas.

- Se recomienda determinar auditorías *internas* para confirmar que las instrucciones de medición son válidas y que las actividades realizadas siguen las instrucciones. Esto puede ser un complemento y, más adelante, posiblemente una alternativa a las auditorías realizadas por el NRL u otra autoridad. Se puede organizar la formación de los operarios locales.
- Se recomienda realizar intercomparaciones periódicas de gases que confirmen la exactitud de los resultados de las mediciones. Esto puede ser llevado a cabo por un laboratorio de calibración nacional o internacional que cuente con sistemas de prueba de competencia trazables a las unidades del SI.
- Se recomienda utilizar los métodos de medición de MP en paralelo (muestreo del filtro LVS y analizador continuo) para las pruebas de equivalencia de MP a fin de calcular los factores de corrección para los analizadores continuos de MP.
- Se recomienda evaluar si la precisión de las balanzas utilizadas para el pesaje de filtros de MP (LVS) son lo suficientemente precisas para este propósito.
- Se recomienda calcular las incertidumbres de medición y los límites de detección de las mediciones si aún no se ha hecho.
- Se recomienda que el reglamento de la calidad del aire defina las metodologías estándar.

Anexo 3: Agenda y registro de actividades de la visita de Katja Loven y Mika Vestenius, expertos en calidad del aire del FMI a las redes de monitoreo de Calama, Huasco y Coronel

Agenda de la visita de Expertos del Finnish Meteorological Institute a Chile del 15 al 23 de noviembre 2021

• **Lunes, 15 de Noviembre 2021**

Sra. Katja Lovén y Sr. Mika Vestenius, expertos en calidad del aire del FMI, llegan al aeropuerto de Santiago a las 9:25 (vuelo AY 4427). Se realiza toma de muestra para ensayo PCR como protocolo COVID-19. Se coordina transporte y alojamiento en el Hotel NODO SANTIAGO. Luego de 12 horas se obtienen los resultados negativos para ambos casos.

• **Martes, 16 de Noviembre 2021**

11:30 -12:00 Transporte Hotel al Aeropuerto de Santiago

14:00-16:15 Vuelo Santiago a Calama

18:00-19:00 Presentación virtual/presencial a autoridades y a la comunidad de Calama
Ubicación: Colegio Pedro Vergara

Participantes:

- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Marcelo Fernández, Jefe de División de Calidad del Aire (MMA)
- Sandra Cortez, Jefa Regional de la Superintendencia del Medio Ambiente.
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Mika Vestenius, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Gonzalo Bravo, SEREMI de Medio Ambiente de la región de Antofagasta
- Representantes de la Comunidad

Objetivos: Presentación del Proyecto, resultados y avances a la fecha.



- **Miércoles, 17 de Noviembre 2021**

10:00 – 13:00 Visita a Estación meteorológica Chiu-Chiu y alrededores para evaluar potenciales nuevos sitios de monitoreo.



13:00-14:00 Almuerzo

14:00-18:00 Visita a estaciones de monitoreo de Calidad del aire de Calama
Location: Centro, Hospital, Complejo Deportivo 23 de Marzo, PVK





- **Jueves, 18 de Noviembre 2021**

11:00 – 12:30 Vuelo Calama a La Serena

12:30-14:00 Almuerzo

14:00 – 17:00 Viaje La Serena – Huasco

18:00 - 19:00 Presentación

Location: Salón multiuso de la Municipalidad de Huasco

Participantes:


- Genaro Briceño, Alcande de Huasco
- Guillermo Ready, SEREMI de Medio Ambiente
- Matias Tagle, Experto Técnico (MMA)
- Katja Lovén, Project Manager, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Mika Vestenius, Finnish Meteorological Institute (FMI)
- Andrea Garcés, Project Manager (Eurochile)
- Representantes de Servicios Públicos y Empresas
- Gobierno Regional
- Sector productivo Industrial, Agrícola y Pesquero y Sociedad Civil

Objetivos: Presentación del Proyecto, resultados y avances a la fecha.



<https://mma.gob.cl/avanza-el-estudio-de-redisenio-y-mejoramiento-de-las-actuales-redes-de-monitoreo-de-calidad-del-aire-en-huasco/>

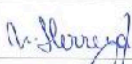


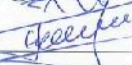
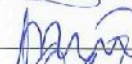

Registro de Asistencia:



Presentación Avance Estudio Rediseño redes Monitorco Huasco

Día : jueves 18 de noviembre de 2021
 Lugar : Salón Auditorio, I. Municipalidad de Huasco
 Hora Inicio: 18:00 hrs.
 Hora Término: 20:00 hrs.

ASISTENCIA


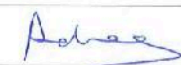

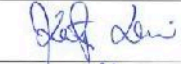



Nombre	Institución/persona	Firma	e-mail/fono
Nataly Herrera	Municipalidad de Huasco		NHERRADAÑO@queval.com / 991783808
Genaro Bucato Torres	Municipalidad de Huasco		buca707@gmail.com
Cristyán Inzunza R.	MUNICIPALIDAD DE HUASCO		INZUNZA.CIR@BMAIL.COM
Heo Joray A	ALCALDIA		HJORA@BUENA.GOB.CL
Miguel Escobar	AEG		Escobar.miguel@gmail.com
Guillermo Greedy S	MMA		GREADY@MMA.GOB.CL



Presentación Avance Estudio Rediseño redes Monitoreo Huasco

Día : jueves 18 de noviembre de 2021
 Lugar : Salón Auditorio, I. Municipalidad de Huasco
 Hora Inicio: 18:00 hrs.
 Hora Término: 20:00 hrs.

ASISTENCIA

Nombre	Institución/persona	Firma	e-mail/fono
MIKA VERZEMUS	FTM		MIKA.VERZEMUS@FTM.PI +569 505241975
ANDREA GARCES	EUROCHILE		AGARCES@EUROCHILE.CL
Mattias Tagle	MAA		mtagle@mma.gob.cl
Katja Lovén	FM1		katja.loven@fmi.fi
MARGOS SARMIENTO	CMP		MSARMIENTO@CMP.CL
Ingrid Ayud	Gobierno Regional DIPLOMA		igrayud@grgoreatama.cl
CRISTIAN RIVEROS	GOBIERNO REGIONAL DIPLOMA		CRIVEROS7@GOREATAMA.CL



Presentación Avance Estudio Rediseño redes Monitoreo Huasco

Día : jueves 18 de noviembre de 2021
 Lugar : Salón Auditorio, I. Municipalidad de Huasco
 Hora Inicio: 18:00 hrs.
 Hora Término: 20:00 hrs.

ASISTENCIA

Nombre	Institución/persona	Firma	e-mail/fono
Felipe Bruneau	Quaco SA		994404983 944507402
Edyaldo Lora	CMP		988077354
Rene Lopez	Guesatola		9021086-6
Wenderson Napuñegui Rojas	ASA-Huasco		7225492-9
Evelyn Ponce	CMP		989086688
Yoshuine Cortes	CMP		999074150
Pauline Andrea	CMP		988832231

- **Viernes, 19 de Noviembre 2021**

09:00 – 13:00 Visita a estaciones de monitoreo de Calidad del aire de Huasco
Ubicación: Estaciones Rurales





13:00-14:00: Almuerzo

15:00 – 18:00 Viaje Huasco - La Serena

- **Sábado, 20 de Noviembre 2021**

Libre

- **Domingo, 21 de Noviembre 2021**

15:30 – 16:30 Vuelo La Serena a Concepción

18:26 – 19:30 Vuelo Santiago a Concepción

- **Lunes, 22 de Noviembre 2021**

10:00-13:00: Visita a estaciones de monitoreo de Calidad del aire de Coronel.

Ubicación: San Pedro de la Paz (MAPAL, Lagunillas, Escuadrón)



13:00-14:00: Almuerzo

14:00-17:00 Visita a estaciones de monitoreo de Calidad del aire de Coronel.

18:00 - 19:00 **Presentación a la Comunidad y autoridades locales**

Ubicación: Instalaciones de Orizon





- **Martes, 23 de Noviembre 2021**

12:40 – 13:40 Vuelo Concepción a Santiago

- **Miércoles, 24 de Noviembre 2021**

08:00 – 09:00 Transporte Hotel al Aeropuerto de Santiago.

11:20 Salida desde Santiago – vuelo KL 704.

Fin de la estadía

Anexo 4: Presentaciones realizadas por el FMI durante su visita a Calama, Huasco y Coronel

Las presentaciones realizadas durante la visita de los expertos a las áreas de Calama, Huasco y Coronel se adjuntan como archivos en formato pdf.

- Presentacion_CORONEL_Katja_Loven_español.pdf
- Presentacion_HUASCO_Katja_Loven_español.pdf
- Presentacion_CALAMA_Katja_Loven_español.pdf