



# SMA

Superintendencia del Medio Ambiente  
Gobierno de Chile

**INFORME TÉCNICO  
CUMPLIMIENTO DE NORMA DE CALIDAD DEL AIRE POR  
MP2,5 Y MP10**

**RED DE CALIDAD DEL AIRE DE CALAMA  
REGIÓN DE ANTOFAGASTA**

**SECCIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO**

**DIVISIÓN DE FISCALIZACIÓN Y CUMPLIMIENTO AMBIENTAL**

**DFZ-2022-1307-II-NC  
FEBRERO 2023**

	Nombre	Firma
Aprobado	Juan Pablo Rodríguez	
Revisado	Isabel Leiva Campos	
Elaborado	Karin Salazar N.	

Superintendencia del Medio Ambiente  
Teatinos 280 pisos 7, 8 y 9, Santiago / [contacto.sma@sma.gob.cl](mailto:contacto.sma@sma.gob.cl) / [www.sma.gob.cl](http://www.sma.gob.cl)  
DFZ-2022-1307-II-NC



## TABLA DE CONTENIDOS

<i>Tema</i>	<i>Página</i>
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
4. ALCANCE.....	7
5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS.....	8
5.1. Estaciones declaradas como EMRP-MP2,5 y EMRP-MP10.....	8
5.2. Descripción de equipos de medición Red de Calama.....	10
5.3. Auditoría de datos.....	12
6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUPERACIÓN DE NORMA.....	15
6.1. Evaluación de la norma para MP2,5.....	15
6.1.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP2,5.....	15
6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP2,5.....	16
6.2. Evaluación de la norma para MP10.....	18
6.2.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP10.....	18
6.2.2. Evaluación de la norma anual para MP10.....	19
7. CONCLUSIONES.....	21
8. ANEXOS.....	23



## 1. RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento da cuenta de la evaluación del cumplimiento de las normas de calidad del aire para material particulado fino respirable MP2,5 y MP10, contenidas en el D.S. N° 12/2011, del Ministerio del Medio Ambiente y el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (cabe destacar, que el 4 de junio de 2022, se publicó en el diario oficial el D.S. N° 12/2021 del Ministerio del Medio Ambiente, que establece la norma primaria de calidad ambiental para material particulado respirable MP10, la cual es vigente a partir del día de su publicación en el diario oficial).

Lo anterior de acuerdo con lo establecido en el Artículo 16° del párrafo II, de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente: “Corresponderá a la Superintendencia del Medio Ambiente, fiscalizar el cumplimiento de las normas de calidad y normas de emisión de cada región, incluida la Metropolitana.”

La actividad de fiscalización de la norma primaria de calidad del aire corresponde a un examen de información para MP10, donde se consideró los datos auditados en los informes DFZ-2020-3953-II-NC y DFZ-2021-672-II-NC, los cuales incluyen el análisis de la norma de calidad del aire para el contaminante MP10 para los años 2019 y 2020, respectivamente; utilizando los datos validados proporcionados por el titular CODELCO. Se realizó una auditoría para la validación de los datos enviados por el titular, correspondientes a los datos registrados el año 2021 para MP10, pero además se incorporó en el análisis el parámetro MP2,5 para los años 2019, 2020 y 2021 en las estaciones de monitoreo calificadas como de representatividad poblacional (EMRP) para MP2,5 y MP10. Las 4 estaciones declaradas como EMRP por MP2,5 y MP10, corresponden a: Hospital El Cobre, Colegio Pedro Vergara Keller (en adelante CPVK), Club Deportivo 23 de Marzo (en adelante CD 23 de Marzo) y Centro.

Cabe señalar que mediante Decreto Supremo N° 57, del 20 de abril de 2009, del Ministerio de la Secretaría General de la Presidencia, la comuna de Calama fue declarada zona saturada por material particulado respirable MP10, como concentración anual.

Posteriormente, mediante Decreto Supremo N°5 de fecha 29 de enero de 2021, del Ministerio de Medio Ambiente, se estableció el Plan de Descontaminación Atmosférica para la ciudad de Calama y su zona circundante.

El análisis de datos de MP2,5 y MP10, se realizó con las mediciones correspondientes al periodo comprendido entre el 1° de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2021, periodo durante el cual, las mediciones de las estaciones de monitoreo se realizaron utilizando instrumentos de medición con aprobación EPA.



Para la auditoría de los datos se consideraron los criterios establecidos en la norma primaria de calidad del aire para MP2,5 y MP10, y además se consideraron las pautas del Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos, D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, de Ministerio de Salud. Para el cálculo del promedio diario en equipos de tipo gravimétrico, en el caso del MP2,5 y MP10, se utilizó como criterio lo dispuesto en el decreto antes mencionado, que establece el cálculo diario sobre la base de 18 horas continuas de medición.

### **Norma primaria de calidad del aire para MP2,5**

El análisis de la norma de MP2,5 de 24 horas, que establece como límite una concentración de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , concluyó que los valores correspondientes al percentil 98 de las concentraciones diarias en todas las estaciones no superaron el límite de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los años 2019, 2020 y 2021. Cabe señalar que, para el año 2021 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Hospital El Cobre, 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación CPVK, 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en estación CD 23 de Marzo y 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en estación Centro, las concentraciones obtenidas en todas las estaciones se encontraron por debajo del 40% del límite de la norma de 24 horas.

En relación con la evaluación de la norma anual para MP2,5, mediante el cálculo del promedio trianual de las concentraciones, entre el año 2019 y el año 2021, se concluyó que la norma no fue superada en las estaciones de la Red de Calama, respecto del límite establecido de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones obtenidas como promedio anual fueron de: 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en las estaciones de Hospital El Cobre y Centro; y 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para las estaciones de CPVK y CD 23 de Marzo.

### **Norma de calidad del aire para MP10**

La evaluación de la norma de 24 horas de MP10, para los años 2019, 2020 y 2021, y que fija como límite un valor de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , determinó mediante el análisis de los datos de MP10 y el cálculo del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas en todas las estaciones de la red, que la norma de 24 horas no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red de Calama y las concentraciones obtenidas estuvieron por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas. Cabe señalar que, para el año 2021 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación CD 23 de Marzo, 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación CPVK, 57  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Centro y 53  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Hospital El Cobre.

Respecto de la norma anual de MP10 que establece como límite una concentración de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , mediante el cálculo del promedio trianual (2019-2020-2021), se determinó que la norma anual de MP10 no fue superada en las estaciones de la Red de Calama. Sin embargo, se aprecia un porcentaje superior al 80% del límite de la norma anual en las estaciones de: CD 23 de Marzo y en CPVK, con una concentración de 46  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y de 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , correspondiente a un 92% y 86%



respectivamente, del valor límite de la norma anual. En el resto de las estaciones las concentraciones como promedio trianual se encontraron por debajo del 80% del límite de la norma anual.



## 2. INTRODUCCIÓN

Considerando lo establecido en el artículo 16°, del Título II de la Ley Orgánica de la Superintendencia del Medio Ambiente, corresponderá a esta Superintendencia fiscalizar el cumplimiento de las normas de calidad. Para lo anterior, la Superintendencia realizó una auditoría y análisis de los datos remitidos para los años 2019, 2020 y 2021, con el fin de obtener información válida que permita evaluar la norma primaria de calidad del aire de MP2,5 y MP10. Cabe señalar que los informes DFZ-2020-3953-II-NC y DFZ-2021-672-II-NC, incluyen el análisis de la norma de calidad del aire para MP10 para los años 2019 y 2020 respectivamente, emitidos por la Superintendencia del Medio Ambiente, contienen la auditoría y validación de los datos generados durante esos años para dicho contaminante. Conjuntamente, la Superintendencia con el fin de obtener información válida que permita evaluar la norma primaria de calidad del aire de MP2,5, realizó una auditoría y análisis de los datos remitidos para los años 2019, 2020 y 2021.

La actividad de fiscalización de la norma primaria de calidad del aire para MP2,5 y MP10 se enmarca en el programa de fiscalización de normas de calidad ambiental de la SMA para el año 2022.

Cabe señalar que, la Superintendencia del Medio Ambiente durante el mes de mayo de 2018 realizó inspecciones a las estaciones de monitoreo de la Red de Calama, con el objeto de evaluar o reevaluar la representatividad poblacional de dichas estaciones para los contaminantes MP10 y MP2,5. La evaluación de la red concluyó que cuatro de las seis estaciones evaluadas cumplían con los criterios establecidos en las normas primarias de MP10 y MP2,5, D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia y el D.S. N° 12/2011 del MMA, respectivamente y con los criterios establecidos en la R.E. N° 106/2013 SMA para MP2,5 y con aquellos establecidos en la R.E. N° 744/2017 SMA para MP10. Las estaciones que fueron calificadas como EMRP por MP10 y EMRP por MP2,5 corresponden a: Hospital El Cobre, Colegio Pedro Vergara Keller (CPVK en adelante), Club Deportivo 23 de Marzo y Centro.

Por lo expuesto anteriormente, se realizó un análisis de la validez de las mediciones de MP2,5 y MP10 para el periodo comprendido entre el año 2019 y el año 2021, y cuyos antecedentes fueron solicitados mediante las Resoluciones Exenta N°925/2015 y N°819/2017, ambas de la SMA. La información solicitada fue remitida por el titular para estaciones de: Hospital El Cobre, CPVK, CD 23 de Marzo y Centro, las que cuentan con calificación de representatividad poblacional (EMRP en adelante) por MP10 y MP2,5.

Para el proceso de auditoría y análisis de los datos se consideró la verificación del cumplimiento normativo de las normas primarias de MP10 y el cumplimiento de las exigencias del D.S. N° 61/2008, modificado por D.S. N°30/2009, del Ministerio de Salud.



Estos antecedentes permitirán al Ministerio del Medio Ambiente activar los instrumentos de política pública que correspondan, de acuerdo con lo establecido en la Resolución Exenta N°503 de 2 de junio de 2021, del Subsecretario del Medio Ambiente, complementa circular N°0001, de 2005, de la comisión nacional del medio ambiente, que instruye sobre procedimiento para la declaración, modificación y derogación de zonas saturadas o latentes de carácter atmosférico, y deja sin efecto la resolución exento N°302, de 2011, y N°1121, de 2020, ambas del Ministerio del Medio Ambiente.

### 3. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente actividad consistió en evaluar el cumplimiento de las normas de calidad del aire primaria para MP2,5 y MP10, en su nivel diario y anual, según corresponda, considerando el período de información comprendido entre el 1° de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2021, en las estaciones que cuentan con representatividad poblacional para material particulado por MP2,5 y MP10.

Por lo anterior, se determinó la validez de las mediciones de MP10 realizadas por la Red de vigilancia de calidad del aire de Calama, en base a una auditoría de los datos del año 2021, para los años 2019 y 2020 se utilizaron los datos validos de los informes DFZ-2020-3953-II-NC y DFZ-2021-672-II-NC. Respecto a la validez de las mediciones de MP2,5 realizadas por la Red Calama, en base a una auditoría de los datos para los años 2019 y 2021, se utilizaron los datos validados proporcionados por el titular.

### 4. ALCANCE

Los datos validados por esta Superintendencia en el presente informe corresponden a los registros de MP2,5 y MP10 de la Red de monitoreo de Calama, para el periodo comprendido entre el 1° de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2021.

Las estaciones utilizadas para la evaluación de datos de MP2,5 y MP10, que cumplen con ser estaciones con EMRP para MP2,5 y MP10 son: Hospital El Cobre, CPVK, CD 23 de Marzo y Centro.

El presente informe técnico evaluó el cumplimiento de las normas primarias de calidad vigentes para el periodo evaluado entre el 1° de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2021. A continuación, en la Tabla 1 se muestran los valores límite a nivel diario y anual, por contaminante y cuerpo normativo:



**Tabla 1 Normas de calidad del aire vigente a nivel horario, diario y anual**

Norma	Descripción	Contaminante	Límite Concentración Horaria	Límite Concentración 24 horas	Límite Concentración Anual
Primaria	D.S. N° 59/1998, modificado por D.S. N° 45/2001, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia de la República.	MP10	No aplica	150 µg/m <sup>3</sup> N	50 µg/m <sup>3</sup> N
Primaria	D.S. N° 12/2011 del Ministerio del Medio Ambiente.	MP2,5	No aplica	50 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>

## 5. EVALUACIÓN DE VALIDEZ DE LOS DATOS

La información de las mediciones para los años 2019, 2020 y 2021, fue remitida por el titular responsable de la Red de Calama, los antecedentes fueron solicitados mediante las Resoluciones Exenta N°925/2015 y N° 819/2017 de la SMA. La información de calidad del aire recepcionada corresponde a los datos crudos (diario), datos validados (diario) y sus respectivos códigos de invalidación. Adicionalmente, el titular remitió las calibraciones y mantenciones realizadas a los instrumentos de medición durante el periodo de evaluación del presente informe. Cabe señalar que, la información enviada se reportó de acuerdo con el formato establecido por la SMA, el cual incluye los códigos de invalidación establecidos en el D.S. N° 61/2008, modificado por el D.S. N° 30/2009, del MINSAL.

Los datos evaluados de MP2,5 y MP10, corresponden a las mediciones realizadas en las estaciones declaradas con representatividad poblacional para material particulado, indicadas a continuación en el punto 5.1 de este documento.

### 5.1. Estaciones declaradas como EMRP-MP2,5 y EMRP-MP10

En la Tabla 2 se describen las estaciones de la Red de Calama, y sus respectivas resoluciones que las califican como estación de monitoreo con representatividad poblacional (EMRP) para material particulado MP2,5 y MP10.

**Tabla 2 Estaciones declaradas como EMRP-MP2,5 y EMRP-MP10**

Red	Estación de Monitoreo	Resolución que otorga EMRP para MP2,5	Resolución que otorga EMRP para MP10
Calama	Hospital El Cobre	R.E. N° 968 del 8 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 969 del 8 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente
	CPVK	R.E. N° 914 del 1 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 915 del 1 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente





Red	Estación de Monitoreo	Resolución que otorga EMRP para MP2,5	Resolución que otorga EMRP para MP10
	CD 23 de Marzo	R.E. N° 928 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 930 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente
	Centro	R.E. N° 931 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente	R.E. N° 929 del 3 de agosto de 2018, de la Superintendencia del Medio Ambiente

Por su parte, en la Tabla 3 se describe la ubicación de las estaciones de la Red de Calama, cuya representación gráfica se ilustra en la Figura 1.

**Tabla 3 Ubicación de las estaciones de la Red de Calama**

Red	Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (m) Datum WGS84, Huso 19 S*	
		E	N
Calama	Hospital El Cobre	509.239 E	7.516.917 N
	Colegio Pedro Vergara Keller	506.893 E	7.518.227 N
	Club Deportivo 23 de Marzo	506.399 E	7.516.241 N
	Centro	507.389 E	7.516.053 N

\*Referencia de las resoluciones EMRP.



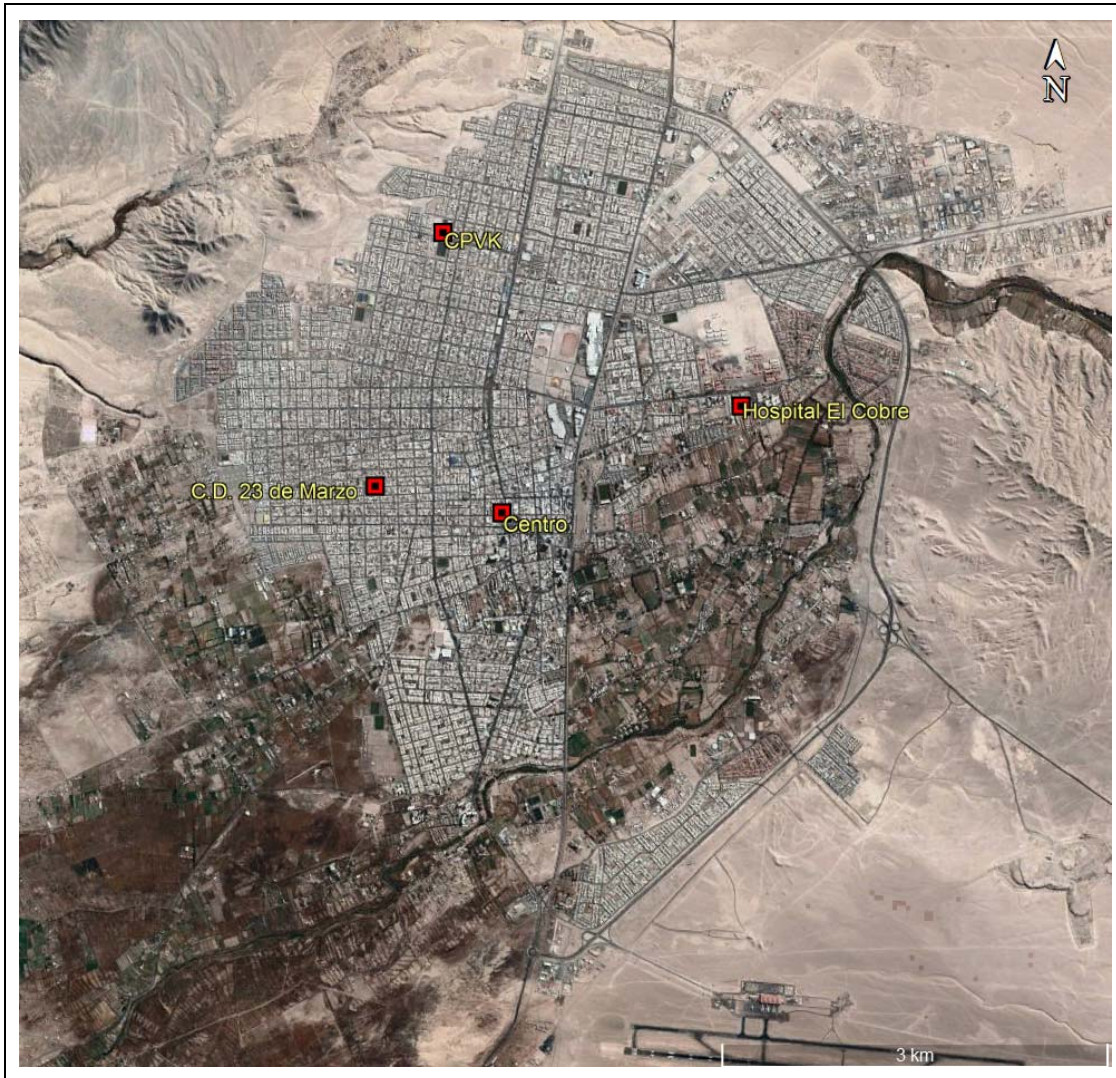


Figura 1 Ubicación de estaciones de calidad del aire de la Red de Calama

## 5.2. Descripción de equipos de medición Red de Calama

De acuerdo con los antecedentes entregados por el titular de la Red de Calama para los años 2019, 2020 y 2021, los instrumentos de medición utilizados para el monitoreo de MP10 en las estaciones evaluadas, cumplen con el requisito de emplear equipos con aprobación USEPA, establecido en la norma primaria. A continuación, en la Tabla 4 se describen los instrumentos y métodos de medición de MP10, utilizados en las estaciones de calidad del aire analizadas, durante el año 2021.



**Tabla 4 Listado de estaciones, instrumento y método de medición**

Red	Estación de Monitoreo	Parámetro	Método de Medición	Marca/Modelo	Método de Referencia o Equivalente EPA
Red de Calama	Hospital El Cobre	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	BGI / PQ200	EQPM-0202-142
	Hospital El Cobre	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Graseby Andersen / GMW 1200	RFPS-1287-063
	Colegio Pedro Vergara Keller	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	Thermo Scientific / Partisol 2025i-D	EQPS-0509-180
	Colegio Pedro Vergara Keller	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	Thermo Scientific / Partisol 2025i-D	EQPS-0311-198
	Club Deportivo 23 de Marzo	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	Thermo Scientific / Partisol 2000i	EQPM-0202-143
	Club Deportivo 23 de Marzo	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de bajo Volumen	BGI / PQ-200	RFPS-1298-125
	Centro	MP2,5	Método Gravimétrico de Muestreador de Bajo Volumen	BGI / PQ-200	EQPM-0202-142
	Centro	MP10	Método Gravimétrico de Muestreador de Alto Volumen	Thermo Scientific / HIVOL GUY15H1	RFPS-1287-063



### 5.3. Auditoría de datos

Los datos de MP2,5 y MP10 para los años 2019, 2020 y 2021, validados previamente por el titular, fueron sometidos a una revisión usando como criterio lo establecido en la norma primaria de ambos contaminantes. Además, se evaluó el comportamiento de los datos para el periodo en estudio, a través de gráficas de series de tiempo para cada una de las estaciones.

La auditoría de los datos consideró una revisión de los códigos de invalidación de datos reportados para el contaminante MP2,5 y MP10, de las estaciones correspondientes a: Hospital El Cobre, CPVK, CD 23 de Marzo y Centro. Para el caso de los datos diarios de MP2,5 y MP10, medidos con equipos de tipo discreto, se evaluó el número de días sin dato o dato inválido. De este análisis se presentó el siguiente porcentaje de datos inválidos (Tabla 5):

**Tabla 5. Porcentaje de datos inválidos diarios por contaminante, para el periodo de 2019 al 2021**

Estación	2019		2020		2021	
	MP2,5 % Diario	MP10 % Diario	MP2,5 % Diario	MP10 % Diario	MP2,5 % Diario	MP10 % Diario
Hospital El Cobre	4	3	2	1	3	2
Colegio Pedro Vergara Keller	14	14	7	2	0	1
Club Deportivo 23 de Marzo	3	3	2	1	2	6
Centro	3	4	3	2	4	1

La invalidación de datos para el contaminante MP2,5 (discreto) se debió principalmente a cortes de energía eléctrica, valores fuera de rango, por exceso de tiempo de muestreo, por tiempo mínimo de muestreo y fallas en los equipos. Por otro parte, la invalidación de datos para el contaminante MP10 (discreto) se debió principalmente a cortes de energía eléctrica y fallas en los equipos. De acuerdo con la Tabla 5, se observa que para el año 2019 solo la estación CPVK presentó el porcentaje más alto de datos inválidos con un 14%, para MP10 y MP2,5.

Mediante el análisis estadístico se determinó la cantidad de datos disponible para el cálculo de los promedios diarios respecto de los contaminantes. La construcción de los promedios diarios (24 horas) se realizó en base a la disponibilidad de datos horarios por día, considerando como mínimo el 75% de datos efectivamente medidos de acuerdo con lo descrito en el D.S. N° 61/2008, modificado por D.S N° 30/2009 de MINSAL. Para los datos obtenidos de equipos gravimétricos se consideró la cantidad de horas de funcionamiento del equipo de alto volumen, MP10, con un mínimo de 18 horas continuas de medición.

En las tablas siguientes, se resumen los días y porcentaje de datos válidos por año de cada estación para los contaminantes MP2.5 y MP10. Se puede observar un porcentaje de datos válidos superior



al 75% para los contaminantes de MP2,5 y MP10, en las estaciones de la Red en análisis para los años 2019, 2020 y 2021.

El resumen de datos disponibles permite concluir que se dispone de la información suficiente para realizar un análisis estadístico, aplicando los criterios especificados en la norma primaria de calidad del aire.

**Tabla 6. Estación Hospital El Cobre, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2019-2020-2021)**

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos (%)
Hospital El Cobre	2019	116	96	117	97
	2020	120	98	121	99
	2021	119	97	120	98

**Tabla 7. Estación Colegio Pedro Vergara Keller, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2019-2020-2021)**

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos (%)
Colegio Pedro Vergara Keller	2019	104	86	104	86
	2020	114	93	120	98
	2021	122	100	121	99

**Tabla 8. Estación Club Deportivo 23 de Marzo, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2019-2020-2021)**

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos MP10 (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos MP10 (%)
Club Deportivo 23 de Marzo	2019	117	97	117	97
	2020	119	98	121	99
	2021	120	98	116	94

**Tabla 9. Estación Centro, porcentaje de datos válidos por contaminantes y por años (2019-2020-2021)**

Estación	Año	N° de Datos Disponibles (Días) MP2,5	Porcentaje de datos MP10 (%)	N° de Datos Disponibles (Días) MP10	Porcentaje de datos MP10 (%)
Centro	2019	117	97	116	96
	2020	118	97	120	98
	2021	117	96	121	99

Para efectos de la evaluación anual de las normas respectivas, a continuación, en la Tabla 10 se resume el porcentaje de datos disponibles a nivel mensual, de las estaciones de la red de Calama, observándose una disponibilidad superior al 75% en la mayoría de los datos mensuales para el



contaminante MP2,5, exceptuándose la estación Hospital El Cobre en el mes de diciembre 2019, y la estación CPVK en octubre de 2019 y enero 2020, donde presentó un 0% y 64%, respectivamente. Dado que el porcentaje de dato es menor al requerido en la norma, estos meses no fueron considerados para el cálculo de la concentración anual.

**Tabla 10 Porcentaje de datos válidos de MP2,5 mensuales por estación para los años 2019, 2020 y 2021**

MESES (%)													
Red Calama													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Hospital El Cobre	2019	100	100	91	100	90	100	100	100	100	100	100	70
	2020	91	100	100	90	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	90	91	91	100	100	100	100	100	90
CPVK	2019	100	89	91	100	90	100	100	100	100	0	80	80
	2020	64	89	100	90	90	90	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	91	100	100	100	100	100	100
CD 23 de Marzo	2019	100	89	100	100	80	100	100	100	100	90	100	100
	2020	91	100	100	100	100	90	100	91	100	100	100	100
	2021	91	100	90	100	100	91	100	100	100	100	100	100
Centro	2019	100	89	100	100	90	90	100	100	100	100	90	100
	2020	82	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100	90
	2021	91	100	100	100	100	91	90	100	80	100	100	90

Para efectos de la evaluación anual de las normas respectivas, a continuación, en la Tabla 11 se resume el porcentaje de datos disponibles a nivel mensual, de las estaciones de la red de Calama, observándose una disponibilidad superior al 75% en la mayoría de los datos mensuales para el contaminante MP10, exceptuándose la estación CPVK en el mes de octubre de 2019, donde presentó un 0%, y la estación CD 23 de Marzo con un 40% de datos disponibles en el mes de diciembre de 2021. Dado que el porcentaje de dato es menor al requerido en la norma, estos meses no fueron considerados para el cálculo de la concentración anual.

**Tabla 11 Porcentaje de datos válidos de MP10 mensuales por estación para los años 2019, 2020 y 2021**

MESES (%)													
Red Calama													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Hospital El Cobre	2019	90	100	100	100	90	100	100	100	100	100	100	80
	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	91	100	100	100	100	91	100	100
CPVK	2019	100	89	91	100	90	100	100	100	100	0	80	80
	2020	100	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	91	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
CD 23 de Marzo	2019	100	89	100	100	80	100	100	100	100	90	100	100
	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	2021	100	100	100	100	100	100	91	100	100	100	100	40
Centro	2019	100	89	100	100	90	100	100	100	100	80	100	90



MESES (%)													
Red Calama													
Estación	Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
	2020	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	90
	2021	100	100	100	100	100	100	100	100	90	82	90	90

## 6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUPERACIÓN DE NORMA

### 6.1. Evaluación de la norma para MP2,5

#### 6.1.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP2,5

El periodo de evaluación de superación de la norma para MP2,5, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2019 y el día 31 de diciembre de 2021. En la Tabla 12, se presenta un resumen de los valores calculados del percentil 98 de la concentración 24 horas de la norma de MP2,5, para los años 2019, 2020 y 2021, de las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo con el límite establecido en el D.S. N° 12/2011 del MMA, se considerará sobrepasada la norma para MP2,5 cuando el percentil 98 de los promedios diarios registrados durante un año, sea mayor a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en cualquier estación monitorea calificada como EMRPMP2,5.

Tabla 12 Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP2,5 para los años 2019, 2020 y 2021

Red	Estación	Percentil 98 Año 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% de la Norma 24 horas 2019 50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Percentil 98 Año 2020 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% de la Norma 24 horas 2020 50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Percentil 98 Año 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% de la Norma 24 horas 2021 50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Red de Calama	Hospital El Cobre	19	38	22	44	20	40
	Colegio Pedro Vergara Keller	21	42	19	38	18	36
	Club Deportivo 23 de Marzo	20	40	21	42	17	34
	Centro	20	40	16	32	15	30

De acuerdo con el análisis efectuado y la determinación del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas para los años 2019, 2020 y 2021, se determinó que el valor de la norma de 24 horas para MP2,5 correspondiente a 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red de Calama para el periodo en estudio y las concentraciones obtenidas estuvieron muy por debajo del



80% del límite de la norma de 24 horas. Cabe señalar que, para el año 2021 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Hospital El Cobre, 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación CPVK, 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en estación CD 23 de Marzo y 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en estación Centro, las concentraciones obtenidas en todas las estaciones se encontraron por debajo del 40% del límite de la norma de 24 horas.

El Gráfico 1 muestra los valores obtenidos del cálculo del percentil 98 de las concentraciones diarias para el contaminante MP2,5, por estación, para los años 2019, 2020 y 2021.

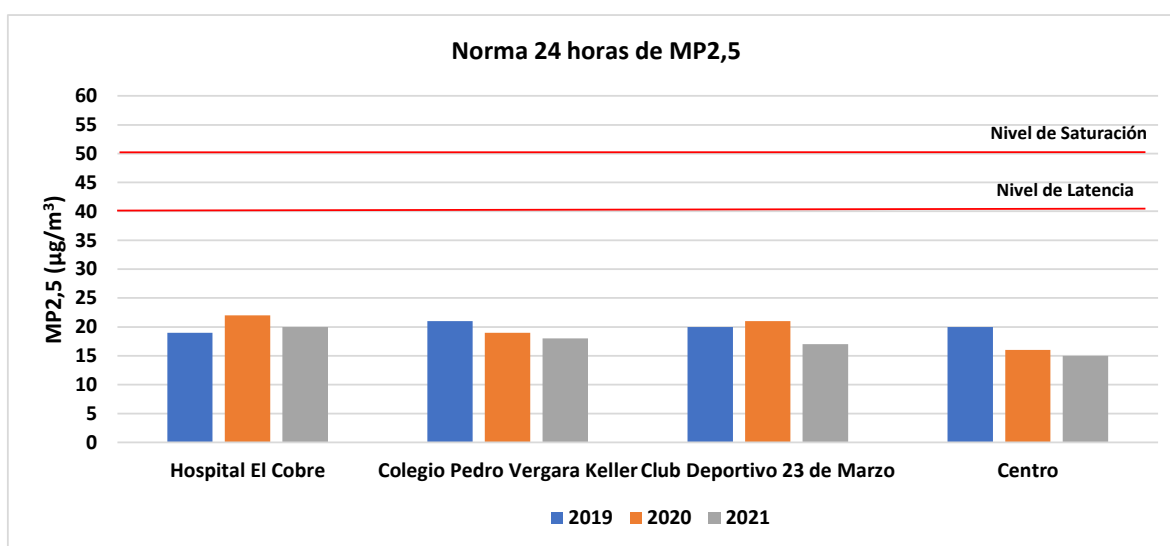


Gráfico 1 Norma 24 horas para MP2.5 por año

### 6.1.2. Evaluación de la norma anual para MP2,5

El periodo de evaluación de superación de la norma para MP2,5, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2019 y el día 31 de diciembre de 2021. En la Tabla 13, se presenta un resumen de los valores obtenidos, a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2019, 2020 y 2021, para las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo con los límites establecidos en el D.S. N°12/2011 del MMA, la norma para MP2,5 se considerará sobrepasada cuando el promedio trianual de las concentraciones anuales sea mayor a 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , en cualquier estación monitorea calificada como EMRPMP2,5. Cabe señalar que la norma anual para MP2,5 requiere determinar el promedio aritmético de 3 años calendario consecutivos de las concentraciones anuales.



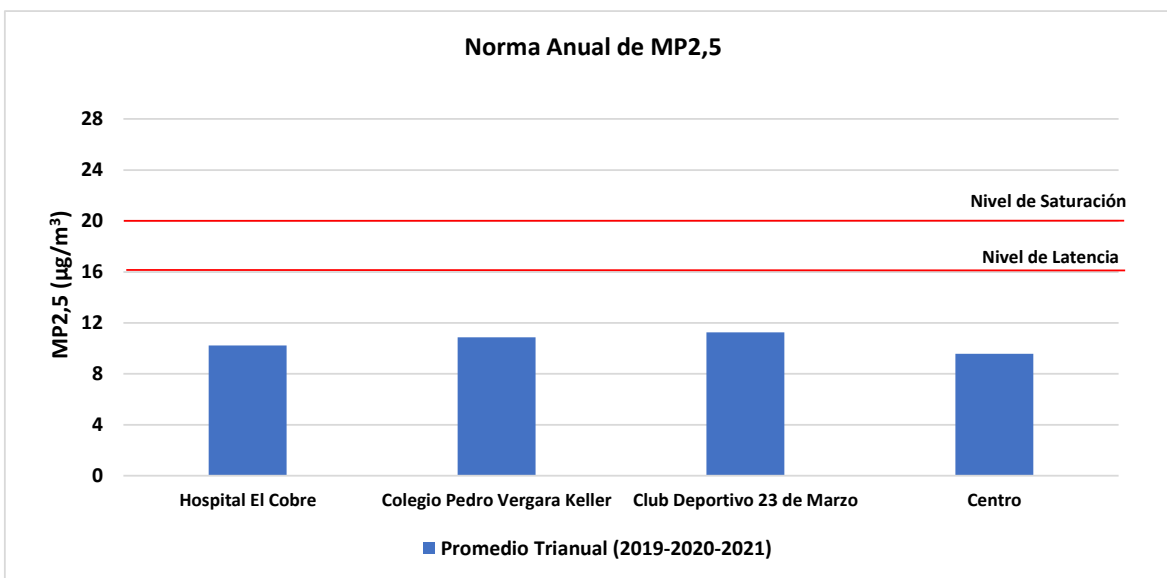


**Tabla 13 Concentración promedio trianual y porcentaje de la norma anual MP2,5**

Red	Estación	Promedio Anual 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio Anual 2020 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio Anual 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Promedio Trianual (2019-2020-2021) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	% de la Norma Anual 20 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
Red Calama	Hospital El Cobre	10	11	10	10	50
	Colegio Pedro Vergara Keller	11	11	10	11	55
	Club Deportivo 23 de Marzo	12	12	10	11	55
	Centro	11	9	9	10	50

El promedio trianual (2019, 2020 y 2021), expresado en porcentaje muestra que en las estaciones de la Red de Calama no superan el límite de la norma anual de MP2,5 establecido en  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , encontrándose por debajo del 80% del límite de la norma anual. Las concentraciones obtenidas como promedio trianual fueron de:  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las estaciones de Hospital El Cobre y Centro; y  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$  para las estaciones de CPVK y CD 23 de Marzo.

Complementariamente, en el Gráfico 2, se pueden observar las concentraciones correspondientes al promedio aritmético de tres años calendario consecutivo, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2019 y el día 31 de diciembre de 2021.



**Gráfico 2 Norma Anual para MP2,5, Promedio trianual periodo 2019 al 2021**



## 6.2. Evaluación de la norma para MP10

### 6.2.1. Evaluación de la norma 24 horas para MP10

El periodo de evaluación de superación de la norma para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2019 y el día 31 de diciembre de 2021. En la Tabla 14, se presenta un resumen de los valores calculados del percentil 98 de la concentración 24 horas de la norma de MP10, para los años 2019, 2020 y 2021, de las estaciones de monitoreo de la Red.

Cabe señalar que, de acuerdo con los límites establecido en el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del MINSEGPRES, la norma de calidad del aire para material particulado respirable (MP10), se considerará sobrepasada en las siguientes condiciones:

- Cuando el percentil 98 de las concentraciones de 24 horas registradas durante un período anual en cualquier estación monitora clasificada como EMRPMP10, sea mayor o igual a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .
- Asimismo, se considerará superada la norma, si antes que concluyese el primer período anual de mediciones certificadas por el Servicio de Salud competente se registrare en alguna de las estaciones monitoras de Material Particulado Respirable MP10 clasificada como EMRP, un número de días con mediciones sobre el valor de 150  $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$  mayor que siete (7).

**Tabla 14 Percentil 98 de las concentraciones de 24 horas de MP10 para los años 2019, 2020 y 2021**

Red	Estación	Percentil 98 Año 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	% de la Norma 24 horas 2019 150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	Percentil 98 Año 2020 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	% de la Norma 24 horas 2020 150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	Percentil 98 Año 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	% de la Norma 24 horas 2021 150 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )
Red de Calama	Hospital El Cobre	48	32	44	29	53	35
	Colegio Pedro Vergara Keller	72	48	77	51	67	45
	Club Deportivo 23 de Marzo	70	47	76	51	81	54
	Centro	57	38	51	34	57	38

De acuerdo con el análisis efectuado y la determinación del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas para los años 2019, 2020 y 2021, se determinó que el valor de la norma de 24 horas para MP10 correspondiente a 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , no fue superado en ninguna de las estaciones de la Red de Calama para el periodo en estudio y las concentraciones obtenidas estuvieron muy por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas. Cabe señalar que, para el año 2021 las concentraciones



obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación CD 23 de Marzo, 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación CPVK, 57  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Centro y 53  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Hospital El Cobre.

El Gráfico 3 muestra los valores obtenidos del cálculo del percentil 98 de las concentraciones diarias para el contaminante MP10, por estación, para los años 2019, 2020 y 2021.

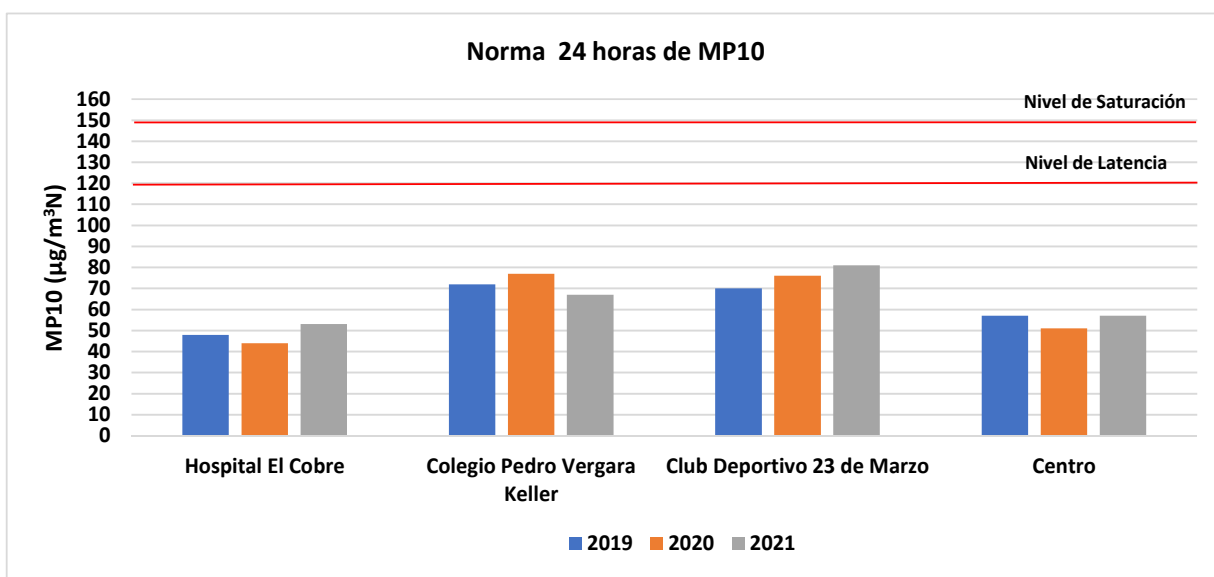


Gráfico 3 Norma 24 horas para MP10 por año

### 6.2.2. Evaluación de la norma anual para MP10

El periodo de evaluación de superación de la norma para MP10, corresponde al comprendido entre el día 1° de enero de 2019 y el día 31 de diciembre de 2021. En la Tabla 15, se presenta un resumen de los valores obtenidos, a través del cálculo del promedio aritmético de las concentraciones de los años 2019, 2020 y 2021, para las estaciones de monitoreo de la Red.

De acuerdo con los límites establecido en el D.S. N° 59/1998, modificado por el D.S. N° 45/2001, del MINSEGPRES, la norma primaria anual de calidad del aire para material particulado respirable MP10, se considerará sobrepasada, cuando la concentración anual calculada, como promedio aritmético de tres años calendario consecutivos en cualquier estación monitorea clasificada como EMRP, sea mayor o igual que 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ .

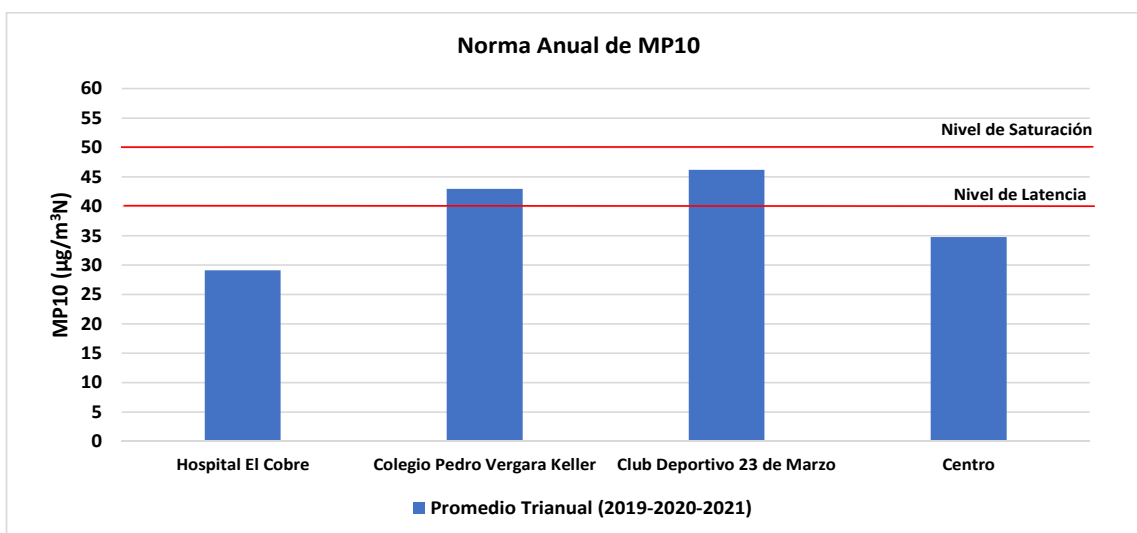


**Tabla 15 Concentración promedio trianual y porcentaje de la norma anual MP10**

Red	Estación	Promedio Anual 2019 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	Promedio Anual 2020 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	Promedio Anual 2021 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	Promedio Trianual (2019-2020-2021) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )	% de la Norma Anual 50 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ )
Red Calama	Hospital El Cobre	29	28	30	29	58
	Colegio Pedro Vergara Keller	45	42	42	43	86
	Club Deportivo 23 de Marzo	45	45	49	46	92
	Centro	36	33	35	35	70

El promedio trianual (2019, 2020 y 2021), expresado en porcentaje muestra que en las estaciones de la Red de Calama no superan el límite de la norma anual de MP10 establecido en  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ . No obstante, lo anterior, se aprecia un porcentaje superior al 80% del límite de la norma anual en las estaciones de CD 23 de Marzo y en CPVK, con una concentración como promedio trianual de  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , correspondiente a un 92% y 86%, respectivamente, del límite de la norma anual; en el resto de las estaciones las concentraciones obtenidas se encontraron por debajo del 80% del límite de la norma anual.

Complementariamente, en el Gráfico 4, se pueden observar las concentraciones correspondientes al promedio aritmético de tres años calendario consecutivo, para el período comprendido entre el día 1° de enero de 2019 y el día 31 de diciembre de 2021.


**Gráfico 4 Norma Anual para MP10, Promedio trianual periodo 2019 al 2021**

Superintendencia del Medio Ambiente  
Teatinos 280 pisos 7, 8 y 9, Santiago / [contacto.sma@sma.gob.cl](mailto:contacto.sma@sma.gob.cl) / [www.sma.gob.cl](http://www.sma.gob.cl)  
DFZ-2022-1307-II-NC



## 7. CONCLUSIONES

La revisión de la norma primaria de calidad del aire para el contaminante MP2,5 y MP10, se realizó en base al periodo comprendido entre el 1° de enero de 2019 y el 31 de diciembre de 2021, considerándose válida la información generada de las mediciones de MP2,5 y MP10, de las 4 estaciones de la Red Calama: Hospital El Cobre, Colegio Pedro Vergara Keller, Club Deportivo 23 de Marzo y Centro. Para verificar el cumplimiento de las normas se tomó en cuenta la representatividad poblacional para material particulado MP2,5 y MP10, el empleo de instrumentos de medición de contaminantes atmosféricos con aprobación USEPA y la constatación por parte de la SMA de la correcta validación de los datos por parte del titular para los años 2019, 2020 y 2021.

### **Norma primaria de calidad del aire para MP2,5**

El análisis de la norma de MP2,5 de 24 horas, que establece como límite una concentración de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , concluyó que los valores correspondientes al percentil 98 de las concentraciones diarias en todas las estaciones no superaron el límite de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en los años 2019, 2020 y 2021. Cabe señalar que, para el año 2021 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación Hospital El Cobre, 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la estación CPVK, 17  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en estación CD 23 de Marzo y 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en estación Centro, las concentraciones obtenidas en todas las estaciones se encontraron por debajo del 40% del límite de la norma de 24 horas.

En relación con la evaluación de la norma anual para MP2,5, mediante el cálculo del promedio trianual de las concentraciones, entre el año 2019 y el año 2021, se concluyó que la norma no fue superada en las estaciones de la Red de Calama, respecto del límite establecido de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Las concentraciones obtenidas como promedio anual fueron de: 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en las estaciones de Hospital El Cobre y Centro; y 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para las estaciones de CPVK y CD 23 de Marzo.

### **Norma de calidad del aire para MP10**

La evaluación de la norma de 24 horas de MP10, para los años 2019, 2020 y 2021, y que fija como límite un valor de 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , determinó mediante el análisis de los datos de MP10 y el cálculo del percentil 98 de las concentraciones de 24 horas en todas las estaciones de la red, que la norma de 24 horas no fue superada en ninguna de las estaciones de la Red de Calama y las concentraciones obtenidas estuvieron por debajo del 80% del límite de la norma de 24 horas. Cabe señalar que, para el año 2021 las concentraciones obtenidas, mediante el cálculo del percentil 98, fueron las siguientes: 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación CD 23 de Marzo, 67  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación CPVK, 57  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Centro y 53  $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  en la estación Hospital El Cobre.



Respecto de la norma anual de MP10 que establece como límite una concentración de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , mediante el cálculo del promedio trianual (2019-2020-2021), se determinó que la norma anual de MP10 no fue superada en las estaciones de la Red de Calama. Sin embargo, se aprecia un porcentaje superior al 80% del límite de la norma anual en las estaciones de: CD 23 de Marzo y en CPVK, con una concentración de  $46 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$  y de  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ , correspondiente a un 92% y 86% respectivamente, del valor límite de la norma anual. En el resto de las estaciones las concentraciones como promedio trianual se encontraron por debajo del 80% del límite de la norma anual.



## 8. ANEXOS

N° Anexo	Nombre Anexo
1	- Resoluciones EMRP.
2	- Datos de calidad del aire para MP2,5, para los años 2019, 2020 y 2021. - Datos de calidad del aire para MP10, para el año 2021.
3	- Carta GS-DN N°076/2021 de titular: “Remite información rectificada de monitoreo calidad de aire Codelco distrito norte”.

