



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



# **ANÁLISIS DE LA ASOCIACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E INCIDENCIA DE PARTOS PREMATUROS EN CONCEPCIÓN METROPOLITANO**

Habilitación presentada para optar al título de  
**Ingeniera Ambiental**

**ANA MARÍA ESCALONA MORAGA**

**Profesores Guía:**

Dra. Patricia González Sánchez  
MPH. Alan Domínguez Montoya

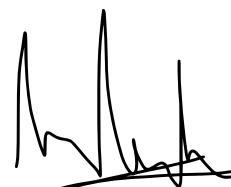
Septiembre 2025  
Concepción (Chile)

## “ANÁLISIS DE LA ASOCIACIÓN ENTRE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA E INCIDENCIA DE PARTOS PREMATUROS EN CONCEPCIÓN METROPOLITANO”

**Profesor Guía: Dra. Patricia González Sánchez**



**Profesor Guía: Ms. Alan Dominguez Montoya**



**Profesor Comisión: Dr. Francisco De La Barrera Melgarejo**



**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad : (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima ( En Escala de 5,7 a 7,0)

**Concepción, septiembre 2025**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primera instancia agradecer a mi profesor Alan Domínguez, quien me enseñó, aconsejó y acompañó con mucha paciencia y sabiduría durante todo este proceso. De la misma forma agradecer a la profesora Patricia, quien me mantuvo motivada y con ánimos de continuar.

A mi mamá, Ana María y mi papá Juan Raúl, quienes desde el día que nací han sido el pilar fundamental de mi vida, y me han acompañado, apoyado y abrazado en cada uno de mis pequeños y grandes pasos. A mi hermano Andrés, por creer en mí, darme ánimos y ayudarme a mantener mis pies sobre la tierra. A mi pareja, Pablo, por ser mi cómplice y compañero.

A mis amigos de la universidad, sin quienes esta experiencia habría sido muy distinta, y a mis amigas del colegio por siempre saber cómo sacarme una sonrisa.

Por último, por prestarme tu estufa regalona que me acompañó todo este tiempo, gracias Tata.

## TABLA DE CONTENIDOS

1. RESUMEN .....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO .....	4
3.1. Contaminación Atmosférica .....	4
3.1.1. Material Particulado 2,5.....	6
3.2. Contaminación Atmosférica y salud humana.....	7
3.3. Partos prematuros.....	9
3.4. Evidencia internacional de estudios de asociación .....	13
3.5. Situación en Latinoamérica y Chile .....	15
3.5.1. Contaminación Atmosférica .....	15
3.5.2. Partos Prematuros en Chile.....	18
4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS .....	21
4.1. Hipótesis .....	21
4.2. Objetivo General .....	21
4.3. Objetivos Específicos.....	21
5. METODOLOGÍA .....	22
5.1. Diseño del estudio.....	22
5.2. Área de estudio .....	23
5.3. Levantamiento de información y bases de datos .....	26
5.3.1. Calidad del Aire .....	26
5.3.2. Partos Prematuros.....	30
5.4. Análisis Estadístico .....	33
5.4.1. Análisis Descriptivo .....	33
5.4.2. Análisis de Asociación .....	37

6.	RESULTADOS.....	39
6.1.	Caracterización de la Calidad del Aire en el Gran Concepción .....	39
6.1.1.	Series de Tiempo.....	39
6.1.2.	Datos Perdidos .....	45
6.1.3.	Imputación de Datos.....	45
6.2.	Evaluación de los Partos Prematuros en Concepción Metropolitano .....	51
6.2.1.	Incidencia de Partos Prematuros .....	52
6.2.2.	Serie de tiempo Partos Prematuros.....	53
6.3.	Análisis de asociación .....	54
6.3.1.	<i>Lag</i> –respuesta.....	54
6.3.2.	Dosis–respuesta.....	56
7.	DISCUSIÓN .....	57
8.	LIMITACIONES Y SUPUESTOS DEL ESTUDIO .....	60
9.	CONCLUSIONES .....	61
10.	REFERENCIAS .....	63
11.	ANEXOS.....	70
11.1.	Glosario .....	70
11.2.	Series de tiempo MP2,5 por año de estudio .....	71
11.3.	<i>Peaks</i> de concentración identificados .....	77
11.4.	Valores porcentuales normativas Calidad del Aire.....	79
11.5.	Concentraciones máximas MP2,5 registradas por comuna.....	80
11.6.	Código en R para análisis de incidencia.....	80
11.7.	Código en R para modelo de asociación .....	81

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Impacto a largo término de los sobrevivientes prematuros. ....	12
Tabla 2. Evidencia internacional de estudios de asociación. ....	14
Tabla 3. Descripción estaciones SINCA Gran Concepción .....	27
Tabla 4. Estaciones SINCA consideradas para el estudio. ....	28
Tabla 5. Formato información obtenida desde SINCA. ....	29
Tabla 6. Formato información nacimientos recibida. ....	31
Tabla 7. Traducción Código Único Territorial para las comunas de estudio. ....	32
Tabla 8. Porcentaje datos perdidos por comuna. ....	45
Tabla 9. <i>Peaks</i> de concentración MP2,5. ....	51
Tabla 10. Incidencia Cruda Partos Prematuros .....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Relación entre el índice de polución de carbono negro, el crecimiento poblacional y el PIB en Santiago.....	6
Figura 2. Muertes por factor de riesgo .....	8
Figura 3. Causas de mortalidad en niños menores de 5 años.....	11
Figura 4. Mortalidad prematura estimada atribuible a MP2,5 en países de Latinoamérica. ....	16
Figura 5. Emisiones de MP2,5 en 2017 en las regiones de Chile. ....	18
Figura 6. Evolución temporal y puntos de cambio en la tasa de parto prematuro. Chile, 1992-2018. .....	19
Figura 7. Serie de tiempo.....	23
Figura 8. Área de estudio.....	24
Figura 9. Área de Estudio con estaciones SINCA .....	25
Figura 10. Estaciones SINCA y su relación con las Áreas Pobladas .....	26
Figura 11. Temperatura media diaria en Concepción.....	30
Figura 12. Partos prematuros diarios por comuna de estudio. ....	33
Figura 13. Datos faltantes de MP 2,5 por comuna. ....	34
Figura 14. Imputación de datos.....	35
Figura 15. Serie de tiempo MP2,5 Chiguayante. ....	40
Figura 16. Serie de tiempo MP2,5 Concepción. ....	41
Figura 17. Serie de tiempo MP2,5 Coronel. ....	42
Figura 18. Serie de tiempo MP2,5 Talcahuano.....	43
Figura 19. Serie de tiempo MP2,5 Tomé.....	44
Figura 20. Serie de tiempo MP2,5 datos imputados Chiguayante. ....	46
Figura 21. Serie de tiempo MP2,5 datos imputados Concepción. ....	47

Figura 22. Serie de tiempo MP2,5 datos imputados Coronel. ....	48
Figura 23. Serie de tiempo MP2,5 datos imputados Talcahuano.....	49
Figura 24. Serie de tiempo MP2,5 datos imputados Tomé.....	50
Figura 25. Serie de tiempo agregada Partos Prematuros. ....	53
Figura 26. Variación estacional de Partos Prematuros a lo largo de un año.....	54
Figura 27. Gráfico <i>Lag</i> –respuesta por incremento de 10 $\mu\text{g}/\text{m}$ .....	55
Figura 28. Gráfico Dosis–respuesta para el <i>lag</i> 1 .....	56

## 1. RESUMEN

Los partos prematuros, definidos como aquellos que ocurren antes de las 37 semanas de gestación, representan un problema de salud pública debido a su impacto en la mortalidad infantil y en el desarrollo del ser humano a largo plazo. Al respecto, la contaminación atmosférica, en particular el MP2,5, ha sido identificado como un posible factor de riesgo de este fenómeno, sin embargo su impacto a nivel local no ha sido estudiado previamente.

La investigación realizada tiene como objetivo analizar la asociación entre la Contaminación Atmosférica e incidencia de Partos Prematuros en las comunas de Concepción Metropolitana, durante un espacio temporal de 10 años.

Esta se basa en un diseño epidemiológico de series de tiempo, donde se utilizaron datos diarios de calidad del aire provenientes del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA) y registros de partos prematuros diarios proporcionados por el Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud. Se seleccionaron cinco comunas del Gran Concepción, por la disponibilidad y calidad de datos, y su representatividad poblacional.

Para abordar los vacíos de información de las bases de datos de MP2,5 se realizó una Imputación Múltiple por Ecuaciones Encadenadas, y el análisis de asociación se realizó mediante un modelo de retardo distribuido (DLNM), controlando variables como la temperatura y la tendencia temporal.

Los resultados obtenidos muestran que las concentraciones de MP2,5 presentan una tendencia estacional, donde Talcahuano registró globalmente las concentraciones más elevadas. De la misma forma, tras la implementación de la Norma Primaria de Calidad Ambiental en 2012, se observó una reducción en las concentraciones de MP2,5 en todas las comunas. En cuanto a los partos prematuros, la incidencia anual promedio en el Gran Concepción fue de 7,65 por cada 100 nacimientos, con variaciones significativas entre comunas: Chiguayante y Concepción presentaron las tasas más altas (9,28% y 9,0%, respectivamente).

El análisis estadístico reveló que un aumento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de MP2,5 se asoció con un incremento del 1,10% en el riesgo relativo (RR) de parto prematuro al día siguiente de la exposición (*lag* 1), con un intervalo de confianza del 95% (IC95%: 1,005–1,018). No se encontraron efectos significativos en otros días (*lags* 0 y 2-7). Estos hallazgos sugieren que la exposición a MP2,5 tiene un efecto agudo sobre el riesgo de parto prematuro en el Gran Concepción.

## 2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la contaminación del aire es la mayor amenaza ambiental para la salud humana, y, paradójicamente, su generación e incremento a través del tiempo está fuertemente asociado a las actividades antrópicas, principalmente las de tipo industrial, energéticas, de calefacción domiciliar y de transporte.

La contaminación atmosférica presente en Chile se debe, principalmente, al gran crecimiento demográfico e industrial ocurrido durante el último tiempo, ya que este conlleva un aumento en la utilización de combustibles fósiles y la quema indiscriminada de leña como método de calefacción en las ciudades, a lo que se suma que la contaminación atmosférica presente, también tiene una directa relación con el tipo de combustible utilizado por las industrias existentes, en las que predomina principalmente el uso de carbón y otros combustibles líquidos derivados del petróleo (Mardones et al., 2012).

Los partos prematuros están definidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como aquellos nacimientos que ocurren antes de las 37 semanas de gestación. Este fenómeno es una de las principales causas de muerte en menores de 5 años y una importante causa de pérdida de años de vida potencial a largo plazo en todo el mundo. En el año 2022 murieron en todo el mundo 2,3 millones de niños en los primeros 28 días de vida (muerte neonatal), lo que corresponde a un 47% de todas las muertes de niños menores de 5 años (OMS, 2024). Las complicaciones del parto prematuro son la principal causa directa de muerte neonatal y corresponden a la segunda causa más común de muerte después de la neumonía. (Blencowe et al., 2012). En 2013 se produjeron 965.000 muertes en todo el mundo debido a complicaciones relacionadas con el parto prematuro, lo que representa el 35 % de todas las muertes neonatales (hasta 27 días después del nacimiento) y el 15 % de todas las muertes de niños menores de 5 años. (Liu et al., 2015; Li et al., 2021).

Un parto prematuro implica que el recién nacido no pudo terminar su desarrollo gestacional, lo cual tiene importantes repercusiones para la salud, los niños que nacen prematuros se ven afectados por diferentes complicaciones y enfermedades asociadas, que se extienden a través de los años de vida, afectando incluso su etapa adulta. Por estas razones, lograr un crecimiento adecuado en el periodo gestacional es un ámbito de especial interés en la salud pública. (Blanco, 2021)

El fenómeno del parto prematuro cuenta con una amplia variedad de causas, las cuales pueden ser clasificadas en dos subtipos: rotura prematura espontánea de membranas e indicación médica por complicaciones tanto maternas como fetales.

El parto prematuro espontáneo es un proceso multifactorial, resultante de la interacción de factores que hacen que el útero pase de la inactividad a las contracciones activas y al nacimiento antes de las 37 semanas completas de gestación. (Blencowe et al., 2012). Así, existen varios factores de riesgo individuales conocidos para un parto prematuro: embarazo múltiple, infecciones agudas o condiciones crónicas como diabetes y presión arterial alterada. Sin embargo, muchas veces es imposible determinar una causa específica. Dentro de estos factores indeterminados o causa idiopática es que se encuentra la contaminación atmosférica, ya que existe evidencia, aunque escasa, que relaciona la exposición prenatal a contaminación del aire con los partos prematuros (Malley et al., 2017).

En este contexto, existen pocos estudios internacionales que relacionen la exposición prenatal a contaminación atmosférica y la ocurrencia de un parto prematuro, y aún menos estudios nacionales que estudien los impactos. Es aquí, donde recae la importancia de este estudio, ya que en la región del Biobío, y más específicamente en el Gran Concepción, no existen estudios que relacionen estas variables.

### **3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Contaminación Atmosférica**

En Chile, las definiciones de contaminación y contaminante ambiental se encuentran definidas por ley. La Ley N° 19.300 sobre bases generales del medio ambiente, promulgada el 1 de marzo de 1994, define como contaminación “la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente”; y como contaminante a “todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, luminosidad artificial o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental”.

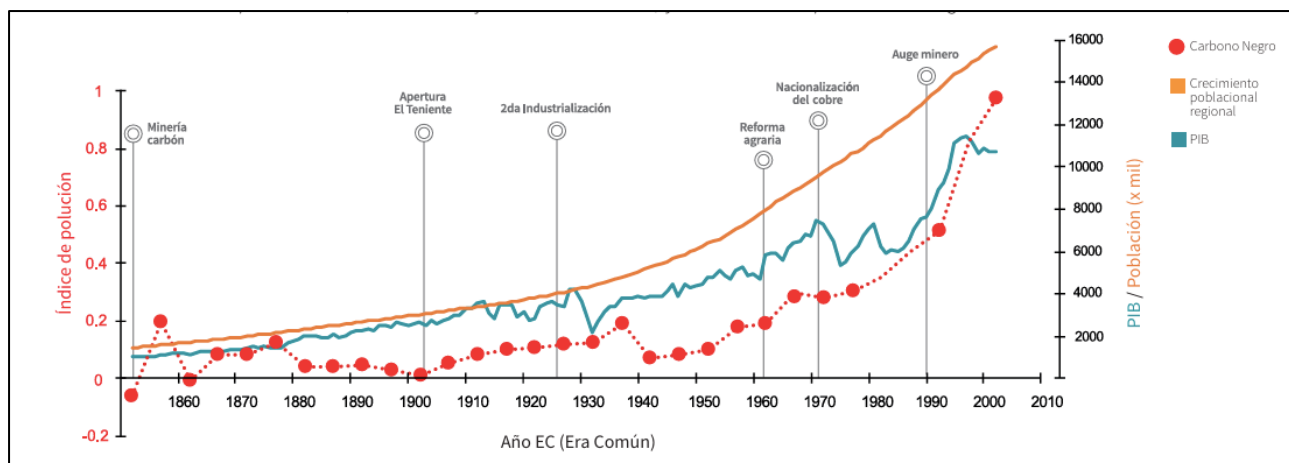
Por otro lado, la OMS define la Contaminación Atmosférica o Contaminación del Aire como la presencia en el aire de agentes químicos, físicos o biológicos que alteran las características naturales de la atmósfera, estos agentes pueden provenir tanto de fuentes antropogénicas como de fuentes naturales. A su vez, declara que las principales fuentes de Contaminación Atmosférica son la combustión doméstica como método de calefacción y cocina, los vehículos motorizados, las instalaciones industriales y en menor proporción, los incendios forestales (OMS, 2023).

En la actualidad la contaminación del aire es la mayor amenaza ambiental para la salud de la población en todos los grupos de edad. Según estimaciones de 2019, la contaminación del aire provoca cada año 4,2 millones de muertes prematuras en el mundo, entendiendo por muerte prematura aquella que ocurre antes de la Esperanza de Vida calculada para la población en un momento definido, ocurriendo el 88% de estas en países de ingresos medios y bajos (OMS, 2022). Por otro lado, la pérdida de años de vida productiva por muerte o discapacidad producto de enfermedades causadas o agravadas por contaminación del aire son anualmente 2.600 años por cada 100.000 habitantes de ambos sexos, siendo esta cifra significativamente mayor en hombres que en mujeres. (Global Health Observatory, OMS 2025). La contaminación del aire es el segundo factor de riesgo al que más muertes se le atribuyen anualmente en el mundo (8,08 millones de muertes), siendo la hipertensión arterial el primer

factor de riesgo (10,9 millones) y el tabaquismo el tercer factor de riesgo (6,18 millones) (IHME, 2024).

Además de lo anterior, se estima que un 99% de la población mundial respira aire que supera los límites establecidos por la guía de calidad del aire de la OMS, que están definidos como el nivel de exposición a la contaminación más bajo por encima del cual se confía que hay un aumento de los efectos adversos para la salud humana.

La contaminación atmosférica es actualmente un problema de salud pública a nivel global, y desde hace décadas este fenómeno se ha acrecentado de manera paulatina, además de la ocurrencia de eventos agudos de contaminación, así lo evidencian distintos desastres ambientales ocurridos alrededor del mundo en la época contemporánea. En 1948 se registró un desastre de contaminación atmosférica en la ciudad de Donora, Pensilvania, que causó la muerte de decenas de personas, problemas respiratorios en casi el 40% de la población de la ciudad y aun décadas más tarde un aumento en la tasa de mortalidad de la población (Jacobs et al., 2018). En diciembre de 1952 ocurre un fenómeno conocido como La Gran Niebla de Londres, uno de los eventos más graves relacionados con contaminación del aire en la historia de esa ciudad, el cual causó aproximadamente 12 mil muertes prematuras y enfermó a más de 10 mil personas. Este fue provocado por una gruesa capa de smog generada por la acumulación de contaminantes atmosféricos provenientes principalmente de la combustión del carbón. Cuatro años después se promulgaba una ley con el objetivo de combatir la contaminación del aire (Polivka, 2018). En Santiago de Chile el aumento de la contaminación del aire se relaciona estrechamente con el aumento de la población, el aumento progresivo del Producto Interno Bruto (PIB) y la aparición de fuentes de emisión producto de la industrialización, especialmente a partir de la década de 1980, lo anterior se evidencia en la Figura 1.



**Figura 1. Relación entre el índice de contaminación de carbono negro, el crecimiento poblacional y el PIB en Santiago.**

*Fuente: Huneeus et al., 2020*

Cabe destacar que el carbono negro es un contaminante que afecta la salud de las personas, los ecosistemas y también un precursor del cambio climático. Es un aerosol que contiene partículas sólidas en suspensión y forma parte del material particulado fino (MP2,5) que empobrece la calidad del aire en las ciudades, la salud humana, los cultivos, entre otros. El carbono negro proviene de la combustión incompleta de combustibles que tienen carbono en su estructura química, como el carbón, el petróleo, el gas y la leña (entre otras biomásas) (Tondreau, 2019). En base a lo anterior es que el carbono negro es considerado un índice de los procesos propios de la industrialización, y se relaciona directamente con el crecimiento poblacional y el desarrollo industrial.

### 3.1.1. Material Particulado 2,5

Es posible clasificar los contaminantes atmosféricos de diversas formas: antropogénicos, que corresponden a aquellos generados por actividades humanas, tanto industriales como de carácter domiciliario; y contaminantes atmosféricos naturales, que son aquellos que provienen de actividades propias de la naturaleza, como erupciones volcánicas, polen proveniente de las plantas, polvo suspendido por acciones del viento o los incendios forestales (Aránguez et al., 1999).

Así mismo, es posible diferenciarlos por su tamaño, ya que según este varía su capacidad de transporte desde la fuente de emisión. Dependiendo del tamaño y peso de la partícula, esta puede caer más o menos cerca de su fuente de emisión e incluso, si es lo suficientemente pequeña, puede quedar suspendida en las masas de aire y moverse con ellas, siendo transportada por grandes distancias.

Dentro de estas partículas muy pequeñas con capacidad de suspensión encontramos aquellas que se denominan como respirables, o material particulado respirable. Estas corresponden a las partículas sólidas o líquidas, tales como polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento, polen, entre otras, dispersas en la atmósfera, cuyo diámetro aerodinámico es inferior o igual a 10 micrones ( $\mu\text{m}$ ) (MP10) (MMA, 2024). Estas partículas pueden penetrar a lo largo de todo el sistema respiratorio hasta los pulmones, produciendo irritaciones e incidiendo en diversas enfermedades, sin embargo, son aquellas que se encuentran dentro de la fracción fina, que corresponde a la fracción del MP10 con un diámetro aerodinámico  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  (MP2,5), las cuales representan un mayor riesgo para la salud, ya que, cuanto más pequeñas son las partículas, mayor es su capacidad de penetración en el árbol respiratorio. Las partículas finas alcanzan fácilmente los bronquiólos terminales y los alvéolos, desde donde pueden ser fagocitadas por los macrófagos alveolares y atravesar la barrera alvéolo-capilar para ser transportadas hacia otros órganos por la circulación sanguínea (Morales, 2006). Además, se ha demostrado que las partículas MP2,5 pueden atravesar la barrera placentaria y llegar al feto en desarrollo (Kaur et al., 2022).

### **3.2. Contaminación Atmosférica y salud humana**

A lo largo de los años la contaminación del aire tanto por emisión de gases como partículas a la atmósfera ha ido en notorio aumento, principalmente por la acción antropogénica. Este fenómeno ha significado no solo un efecto negativo al medio ambiente y sus componentes, sino que también ha generado múltiples consecuencias en la salud de la población expuesta a estas emisiones.

En el documento “Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire 2021” se indica que la carga mundial de morbilidad<sup>1</sup> asociada con la exposición a la contaminación del aire tiene un enorme impacto para la salud humana en todo el mundo, se calcula que esta exposición causa cada año millones de muertes y de años de vida saludable perdidos. Actualmente se calcula que esta carga de morbilidad es comparable a la de otros riesgos importantes para la salud a nivel mundial, como la dieta malsana y el tabaquismo; y se ha reconocido que este tipo de contaminación constituye la amenaza medioambiental más peligrosa para la salud humana.

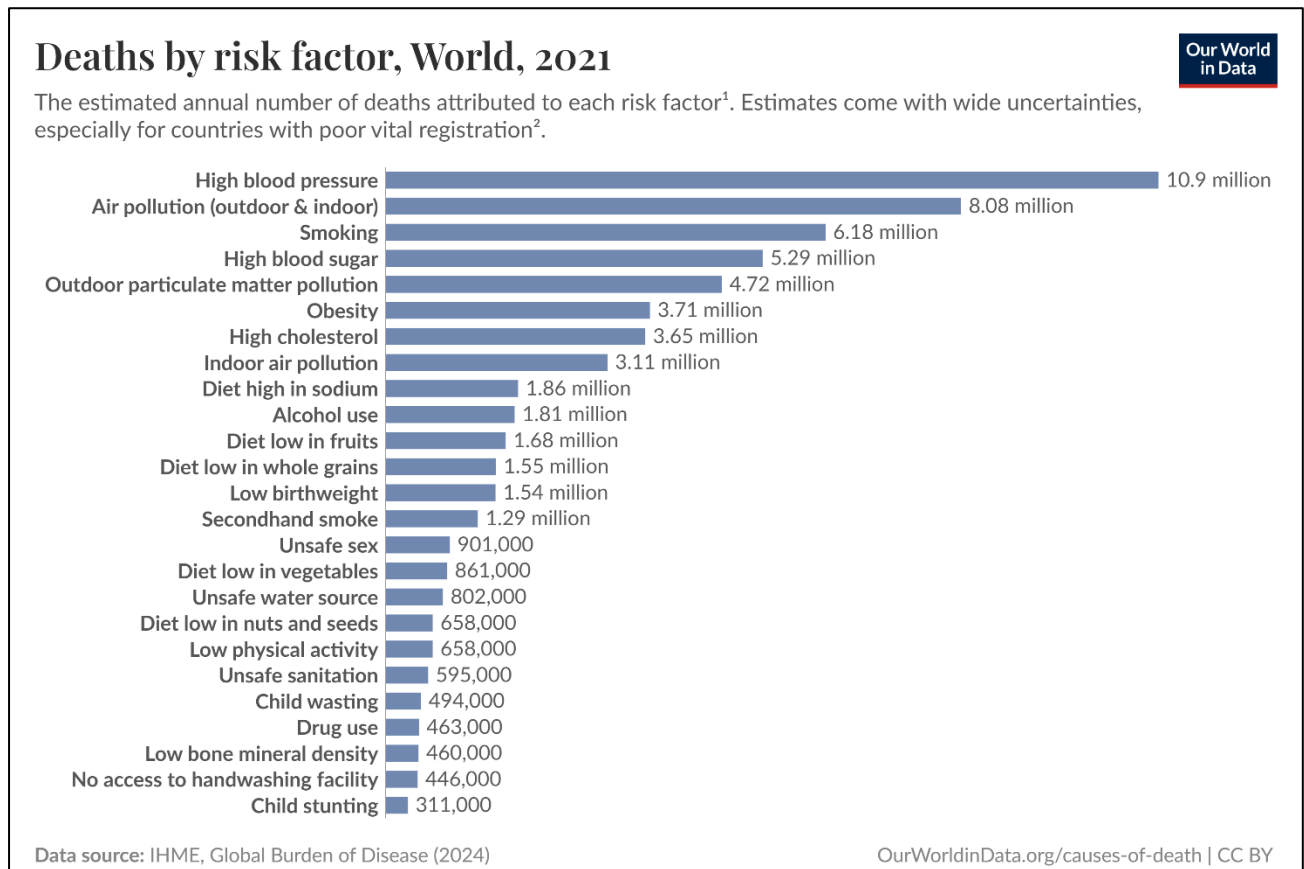
Las estimaciones de la OMS muestran que alrededor de 7 millones de muertes, principalmente por enfermedades no transmisibles, son atribuibles a los efectos conjuntos de la contaminación

---

<sup>1</sup> Morbilidad: Se refiere a la presentación de una enfermedad o síntoma de una enfermedad, o a la proporción de enfermedad en una población. (National Cancer Institute, USA)

atmosférica ambiental y doméstica. Específicamente, en el año 2015, 9 millones de muertes prematuras fueron causadas por problemas de polución, lo que equivale a un 16 % a nivel mundial, siendo tres veces más que las causadas por SIDA, tuberculosis y malaria combinadas (Huneus et al., 2020). Por otro lado, la OMS estima que en el año 2019, el 99% de la población vivía en lugares donde no se cumplen los límites establecidos por la Guía de Calidad del Aire 2006, lo que significa que casi toda la población mundial se encuentra expuesta a los impactos de la contaminación en su salud y calidad de vida.

En el Global Burden of Disease de 2024 se publican las muertes atribuidas a distintos factores de riesgo, situando a la contaminación del aire en segundo lugar, con 8,08 millones de muertes anuales, en primer lugar la hipertensión arterial y en tercer lugar el tabaquismo. El gráfico de resultados de este estudio se presenta en la Figura 2.



**Figura 2. Muertes por factor de riesgo**

*Fuente: Our World In Data*

Centrándose en la contaminación por material particulado, la evidencia epidemiológica indica que un aumento en  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en las partículas MP10 está asociado a un aumento de alrededor del 1% en la

mortalidad por todas las causas (OMS, 2006). De la misma forma, un estudio de 2011 publicado en *The American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* rastreó 1,2 millones de estadounidenses desde 1982 hasta 2008, donde cada aumento de 10 microgramos por metro cúbico ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en las concentraciones de MP2,5 se asoció con un aumento del 15-27% en la mortalidad por cáncer de pulmón (Turner et al., 2011). También, en Dinamarca, la contaminación atmosférica por MP2,5 se ha vinculado a un mayor riesgo de asma en niños pequeños según un estudio de 2020 publicado en el *British Medical Journal*. En este estudio se encontró que los niños expuestos a niveles más altos de material particulado tenían más probabilidades de desarrollar asma que los niños que no se encontraban expuestos (Holst et al., 2020).

De esta forma, tal como demuestran los estudios, es posible observar que los efectos negativos en la salud de la población expuesta a la contaminación atmosférica y particularmente al material particulado son múltiples, y puede afectar de diversas maneras al organismo humano.

### **3.3. Partos prematuros**

Un parto prematuro se define por la OMS como aquel que ocurre antes de cumplir las 37 semanas de gestación. El límite inferior de edad gestacional que establece la separación entre parto prematuro y aborto es de: 22 semanas de gestación, 500 gramos de peso fetal, o 25 cm de longitud. Los recién nacidos (RN) prematuros se pueden clasificar de acuerdo a la edad gestacional en tres niveles de severidad: moderado 32 a 37 semanas, severo 28 a 32 semanas y parto prematuro extremo menos de 28 semanas (Carvajal et al., 2025).

La incidencia de parto prematuro es de alrededor del 10% de los partos a nivel mundial, esto significa alrededor de 13 millones cada año, el 85% de ellos ocurren en África y Asia. En Estados Unidos los partos prematuros representan el 12,5% del total de nacimientos (OMS 2022). El porcentaje de nacimientos prematuros en Latinoamérica va entre 13,6% en Costa Rica y 5,1%, en Ecuador (Matos-Alviso et al., 2020)

El riesgo de enfermar y morir de los RN prematuros ha ido disminuyendo, sin embargo, esta reducción no se debe a una mejora en la prevención, sino que a los avances tecnológicos que posibilitan un mejor cuidado neonatal en estos RN, y debido a que el acceso a la tecnología no es igual en todo el mundo esta disminución en el riesgo de enfermar y morir por parto prematuro presenta inequidades a nivel

global. El riesgo de enfermar de un recién nacido de término (37 semanas o más de gestación) es de 1%, en cambio en un prematuro esa cifra se eleva a 8% (Carvajal et al., 2025).

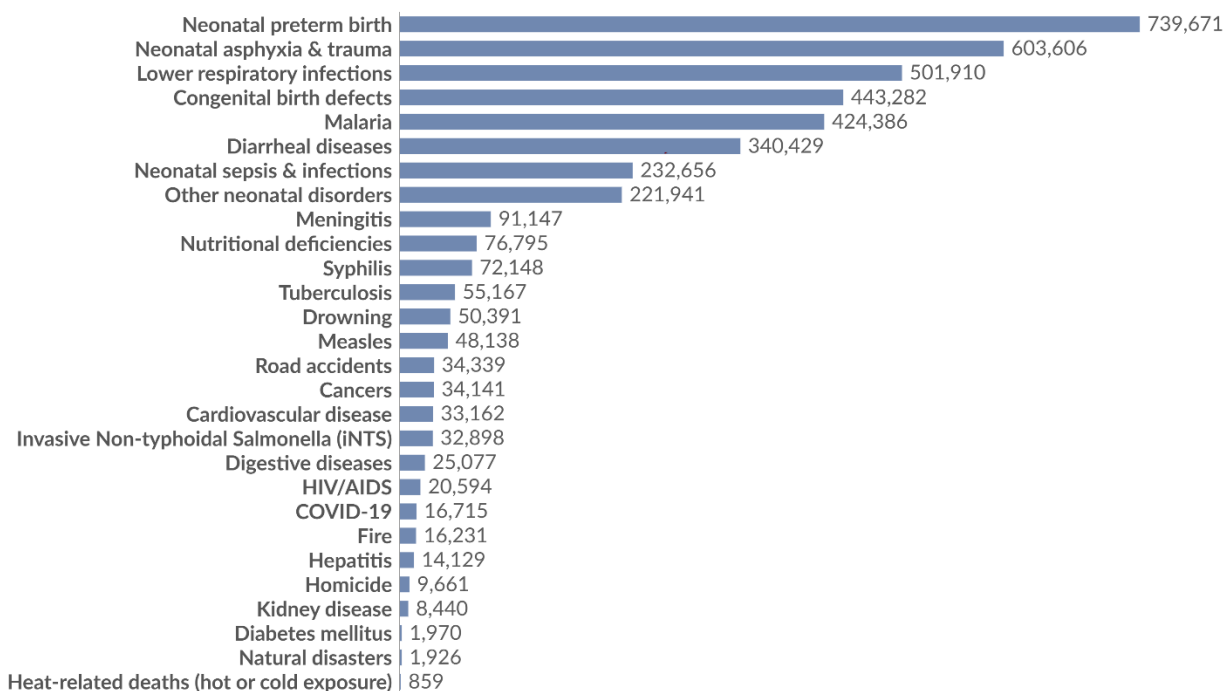
Los factores de riesgo de los partos prematuros son variados y pueden abarcar factores maternos como la edad por debajo de los 15 o por sobre los 35 años, antecedentes previos de parto prematuro, embarazo gemelar, desnutrición, enfermedades crónicas como hipertensión o diabetes. Pueden ser también factores socioeconómicos como nivel educacional bajo o condiciones de vida desfavorables. Factores conductuales como consumo de drogas como tabaco o cocaína, estrés físico o psicológico. Factores ambientales como la exposición a contaminación del aire o tóxicos como plomo o pesticidas. (Carvajal et al.,2025)

Las complicaciones secundarias al parto prematuro son la causa directa más importante de mortalidad neonatal (antes de cumplir 28 días de vida) siendo responsables del 35% de estas muertes en el mundo, y además son la principal causa de mortalidad en los niños menores de 5 años. Esto es posible de evidenciar en la Figura 3.

## Causes of death in children under five, World, 2021

Our World  
in Data

The estimated annual number of deaths from each cause. Estimates come with wide uncertainties especially for countries with poor vital registration<sup>1</sup>.



Data source: IHME, Global Burden of Disease (2024)

OurWorldinData.org/causes-of-death | CC BY

**Figura 3. Causas de mortalidad en niños menores de 5 años.**

*Fuente: Our World In Data*

De todas las muertes neonatales en la primera semana de vida y que no se relacionan con malformaciones congénitas, 28% están asociadas a prematuridad. En la mayoría de los países de ingresos medios y altos del mundo, la prematuridad es la principal causa de muerte infantil. Un 75-80% de las muertes perinatales ocurren en <37 semanas de edad gestacional y aproximadamente 40% de estas muertes ocurren en <32 semanas, siendo la sepsis y otras enfermedades infecciosas las principales causas de muerte neonatal (Tascón et al., 2016).

Los niños/as que nacen prematuramente tienen mayores complicaciones a corto, mediano y largo plazo. Estos se ven afectados por diferentes complicaciones y enfermedades asociadas al parto prematuro y que se extienden a través de los años de vida, afectando la niñez y la etapa adulta, resultando en enormes costos físicos, psicológicos y económicos como los que se presentan en la Tabla 1. Las estimaciones indican que en 2005 los costos para Estados Unidos solamente en términos de gastos médicos, educativos y pérdida de productividad asociada al parto prematuro, fueron superiores a US\$ 26,2 mil millones. Para este mismo año, los promedios de los costos médicos del

primer año de atención hospitalaria y ambulatoria eran cerca de 10 veces mayor para prematuros (US\$32.325) que para neonato a término (US\$ 3.325). La hospitalización media fue 9 veces más larga para un neonato prematuro (13 días), que uno a término (1,5 días) (Tascón et al., 2016).

**Tabla 1. Impacto a largo término de los sobrevivientes prematuros.**

Impacto a largo término de los sobrevivientes prematuros		Compromisos	Frecuencia en sobrevivientes
Resultado a largo término	Deterioro visual	Ceguera o alta miopía después de la retinopatía de la prematuridad. Hipermetropía	25% de todos los prematuros extremos. También afecta a otros prematuros pobremente monitorizados en las terapias de oxígeno.
	Deterioro auditivo	Pérdida auditiva de diferente grado	5-10% de los prematuros extremos.
	Enfermedad pulmonar crónica de la prematuridad	Alta o moderada dependencia al oxígeno en casa	40% de los prematuros extremos.
	Enfermedad cardiovascular	Incremento de la presión arterial; reducción de la función pulmonar; incremento de los índices de asma; falla en el crecimiento en la infancia, ganancia de peso acelerada en la adolescencia.	Pendiente determinar la magnitud de la carga.
Neurodesarrollo/efectos conductuales	Trastornos de ejecución de la marcha leve	Impedimentos específicos del aprendizaje, dislexia, disminución de logros académicos.	Pendiente determinar la magnitud de la carga.
	Moderado a severo retardo global del desarrollo	Deterioro cognitivo moderado a severo; deterioro motor y parálisis cerebral.	Dependientes de la edad gestacional y calidad de los cuidados neonatales.
	Secuelas psiquiátricas y conductuales	Desorden de hiperactividad y déficit de atención; aumento de trastorno de ansiedad y depresión.	Pendiente determinar la magnitud de la carga.
Efectos familiares, económicos y sociales	Impacto sobre la familia; impacto sobre los servicios de salud; intergeneracional	Compromiso psicosocial, emocional y económico; costos de la atención en salud; riesgo de parto	Variación de acuerdo a los riesgos, factores de la atención, discapacidad y estado socioeconómico.

		premature en la descendencia.	
--	--	-------------------------------	--

*Fuente: Tascón et al., 2016.*

### 3.4. Evidencia internacional de estudios de asociación

La relación entre el parto prematuro y la contaminación del aire se ha estudiado ampliamente, y la evidencia sugiere una asociación significativa entre la exposición materna a contaminantes del aire y un mayor riesgo de parto prematuro, especialmente con MP2,5.

Una revisión sistemática y un meta-análisis han demostrado que la exposición materna a MP2,5 durante el segundo trimestre se asocia con un mayor riesgo de rotura prematura de membranas, que puede provocar un parto prematuro (Liang et al., 2024). Otra revisión general de revisiones sistemáticas y metaanálisis encontró asociaciones más consistentes entre la exposición prenatal a MP2,5 y los resultados adversos del parto, incluido el parto prematuro, a lo largo de todo el período del embarazo (Nyadanu et al., 2022).

Una investigación en China, utilizando modelos de regresión logística, obtuvo como resultado un incremento de riesgo de parto prematuro en 1,160 (95% CI: 1,134–1,186) debido a la exposición a MP2,5 durante distintas etapas del embarazo, acentuándose durante el primer trimestre (Zhou et al., 2021). También en China, un estudio multicéntrico de cohorte de nacimientos confirmó la relación entre la exposición a MP2,5 durante el embarazo y un mayor riesgo de parto prematuro, en particular con la exposición durante el primer trimestre (Chu et al., 2021).

En España, un estudio del año 2019 en cada una de sus provincias, mediante análisis de series de tiempo, considerando como unidad de estudio las semanas, y utilizando modelos lineales generalizados con enlace Poisson, estableció que existe una asociación estadísticamente significativa entre la prematuridad y el MP10 en 16 provincias (Arroyo et al., 2019).

Por otro lado, para poder relacionar resultados con el presente estudio, se buscaron investigaciones con metodologías similares, donde se encontraron dos estudios, realizados en distintos países, que se presentan en la Tabla 2.

**Tabla 2. Evidencia internacional de estudios de asociación.**

<b>Ciudad, País</b>	Teherán, Irán	Xuzhou, China
<b>Nombre del estudio</b>	Ambient temperature and air pollution, and the risk of preterm birth in Tehran, Iran: a time series study	Long-term impact of ambient air pollution on preterm birth in Xuzhou, China: a time series study
<b>VARIABLES</b>	<p><b>Conteos diarios pp</b></p> <p><b>Niveles diarios:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Monóxido de carbono (CO)</li> <li>- Dióxido de nitrógeno (NO2)</li> <li>- Dióxido de azufre (SO2)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ozono (O3)</li> <li>- Material Particulado 2,5</li> <li>- Temperatura</li> <li>- Humedad relativa</li> </ul>	<p><b>Conteos diarios pp</b></p> <p><b>Niveles diarios:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Monóxido de carbono (CO)</li> <li>- Dióxido de Nitrógeno (NO2)</li> <li>- Dióxido de azufre (SO2)</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ozono (O3)</li> <li>- Material Particulado 2,5</li> <li>- Material Particulado 10</li> <li>- Temperatura (°C)</li> <li>- Humedad relativa (%)</li> </ul>
<b>Obtención de información</b>	<p><b>Partos prematuros:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Oficina de Salud Neonatal, Ministerio de Salud de Irán</li> </ul> <p><b>Contaminantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estaciones activas de la Compañía de Control de Calidad del Aire de Teherán</li> </ul> <p><b>Datos meteorológicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estaciones de la Organización Meteorológica de Irán</li> <li>- Estaciones del Departamento del Medio Ambiente</li> </ul>	<p><b>Partos prematuros:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hospital Materno-Infantil de Xuzhou</li> </ul> <p><b>Contaminantes:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estaciones de monitoreo del departamento local de control del aire, Xuzhou</li> </ul> <p><b>Datos meteorológicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Red de Datos Meteorológicos de China</li> </ul>
<b>Años estudiados</b>	Marzo 2015 - marzo 2018	Enero 2016 - junio 2020
<b>Intervalos (lags)</b>	21 días	40 semanas
<b>Unidad de análisis</b>	Días	Semanas
<b>Metodología</b>	<p>Modelo de regresión cuasi-Poisson en combinación con el DLNM (modelos no lineales de desfase distribuido)</p> <p>Se consideró significativo un p-value <math>\leq 0,05</math></p>	<p>Time series análisis mediante modelo de regresión cuasi-Poisson en combinación con DLNM</p> <p>Se consideró significativo un p-value <math>\leq 0,05</math></p>
<b>Resultados</b>	<p>Sólo el efecto de las MP2,5 en el lag 0 (RR = 1,007) fue significativo. Esto quiere decir que con cada aumento de 10 unidades en la concentración aumenta el riesgo de parto prematuro en menos de un 1%. La asociación entre otros contaminantes atmosféricos y el parto prematuro no fue estadísticamente significativa.</p>	<p>La exposición prenatal a MP2,5 durante las semanas 11 a 22 aumentó significativamente el riesgo de parto prematuro, con el mayor efecto en la semana gestacional 16 (RR = 1,007)</p>

<b>Fuente</b>	Ranjbaran, M., Mohammadi, R., Yaseri, M., Kamari, M., & Yazdani, K. (2020). Ambient temperature and air pollution, and the risk of preterm birth in Tehran, Iran: a time series study. <i>The Journal of Maternal-Fetal &amp; Neonatal Medicine</i> , 35(4), 726–737. <a href="https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1731458">https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1731458</a>	Li, S., Peng, L., Wu, X., Xu, G., Cheng, P., Hao, J., Huang, Z., Xu, M., Chen, S., Zhang, C., & Hao, J. (2021). Long-term impact of ambient air pollution on preterm birth in Xuzhou, China: a time series study. <i>Environmental Science And Pollution Research</i> , 28(30), 41039-41050. <a href="https://doi.org/10.1007/s11356-021-13621-2">https://doi.org/10.1007/s11356-021-13621-2</a>
---------------	---	--

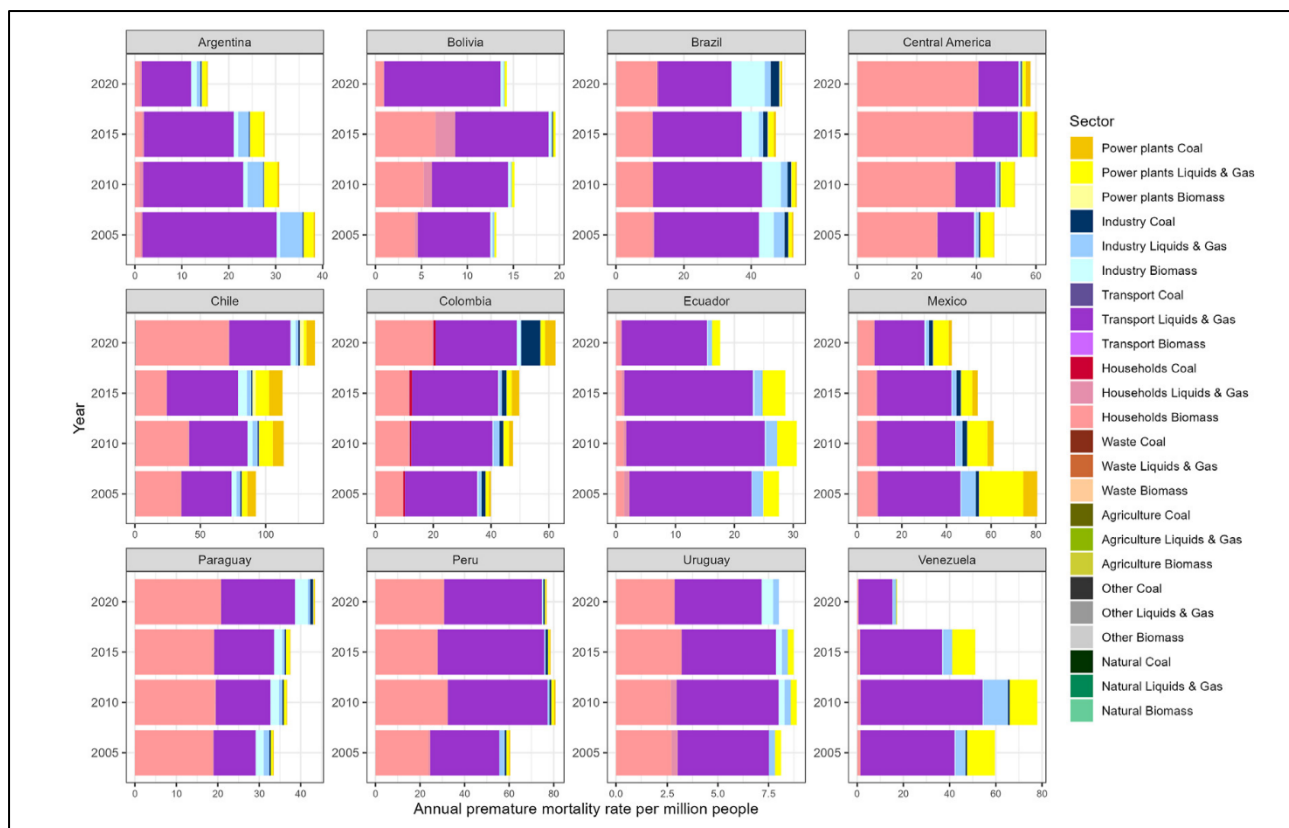
Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Situación en Latinoamérica y Chile

#### 3.5.1. Contaminación Atmosférica

América Latina es una de las regiones del mundo más urbanizadas, con un 80% de la población viviendo en áreas urbanas (Gouveia et al., 2021). Sin embargo, ningún centro urbano cumple con las directrices de calidad del aire establecidas por la OMS, lo que significa que millones de personas están expuestas a niveles de contaminación del aire peligrosos y que ponen en riesgo su salud (Hartinger et al., 2024).

En 2020, 123,5 muertes prematuras por millón de personas fueron atribuibles al MP2,5 en América Latina, lo que representa un aumento del 3,9% con respecto a 2005 (118,9 muertes prematuras por millón de personas). Sin embargo, existen diferencias importantes entre países. La mortalidad prematura atribuible a MP 2,5 ha disminuido en países como Argentina, Brasil, Ecuador, México, Uruguay y Venezuela, mientras que en otros países como los de Centro América, Chile y Colombia ha aumentado notablemente desde el 2005 (Hartinger et al., 2024b). Lo anterior es posible de evidenciar en la Figura 4, donde se muestra la mortalidad prematura estimada atribuible a MP2,5 en distintos países de Latinoamérica, desde el 2005 al 2020, dividiendo acorde al sector o tipo de combustible que emite MP2,5.



**Figura 4. Mortalidad prematura estimada atribuible a MP2,5 en países de Latinoamérica.**

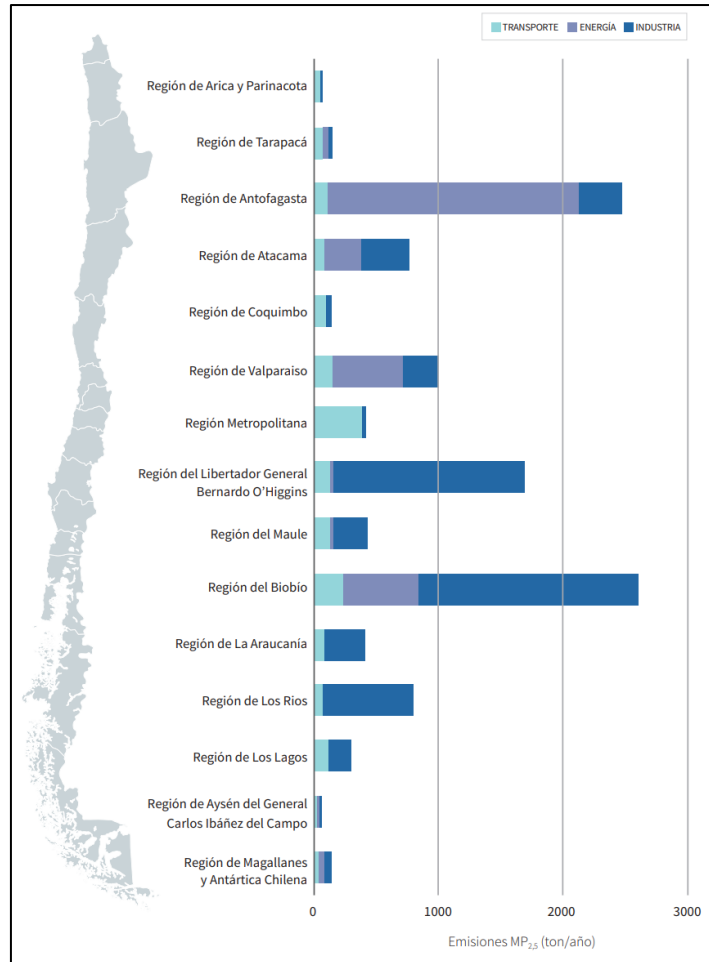
*Fuente: The 2023 Latin America report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for health-centred climate-resilient development.*

En 2022, Perú, Chile, México, Guatemala, Colombia, El Salvador, Brasil, Uruguay, Honduras, Panamá y Nicaragua se encontraban dentro del top 100 de países con mayor contaminación atmosférica en el mundo (Hartinger et al., 2024b). Por otro lado, los países de Latinoamérica con una mayor tasa de mortalidad atribuible a la exposición a MP2,5 son Chile y Perú, con 230 y 176 muertes por millón de habitantes respectivamente. Adicionalmente, en Latinoamérica el costo monetario de las muertes prematuras debido a contaminación del aire son equivalentes al ingreso promedio de 2,9 millones de personas (Hartinger et al., 2023).

Si nos centramos en Chile, se estima que en el año 2018 alrededor de 10 millones de personas estuvieron expuestas a concentraciones promedio diarias de MP2,5 superiores a lo establecido por la norma chilena actual ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y aún más lejos del límite sugerido por la OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Estos niveles de contaminación por MP2,5 tienen múltiples e importantes impactos, destacándose el efecto nocivo sobre la salud, ocasionando más de 3.600 muertes prematuras en 2018 (MMA, 2019). Actualmente, existen trece Planes de Descontaminación Atmosférica (PDA), tres Planes de

Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) y un Plan de Prevención Atmosférica (PPA) vigentes en Chile. De los trece PDA existentes, diez aplican para ciudades en el centro y sur del país, la mayoría de los cuales se centran en la contaminación por MP2,5 vinculada a la calefacción residencial basada en la quema de leña. En siete de estos diez planes queda establecido que la contribución del sector residencial representa más del 90 % de las emisiones totales anuales de MP2,5. Además de la combustión de leña, son múltiples las actividades humanas que influyen sobre los niveles de contaminación por partículas finas. En el norte del país, el sector minero y la generación eléctrica son los principales responsables de la mala calidad del aire, mientras que, en la zona central, las emisiones de los sectores transporte y residencial son las dominantes (Huneus et al., 2020).

En la Figura 5 se presentan las emisiones de MP2,5 por región para el año 2017, divididas además por sector aportante de la emisión, donde destacan particularmente la Región de Antofagasta y la Región del Biobío por sus altos niveles de material particulado.



**Figura 5. Emisiones de MP<sub>2,5</sub> en 2017 en las regiones de Chile.**

*Fuente: El aire que respiramos: pasado, presente y futuro—Contaminación atmosférica por MP<sub>2,5</sub> en el centro y sur de Chile.*

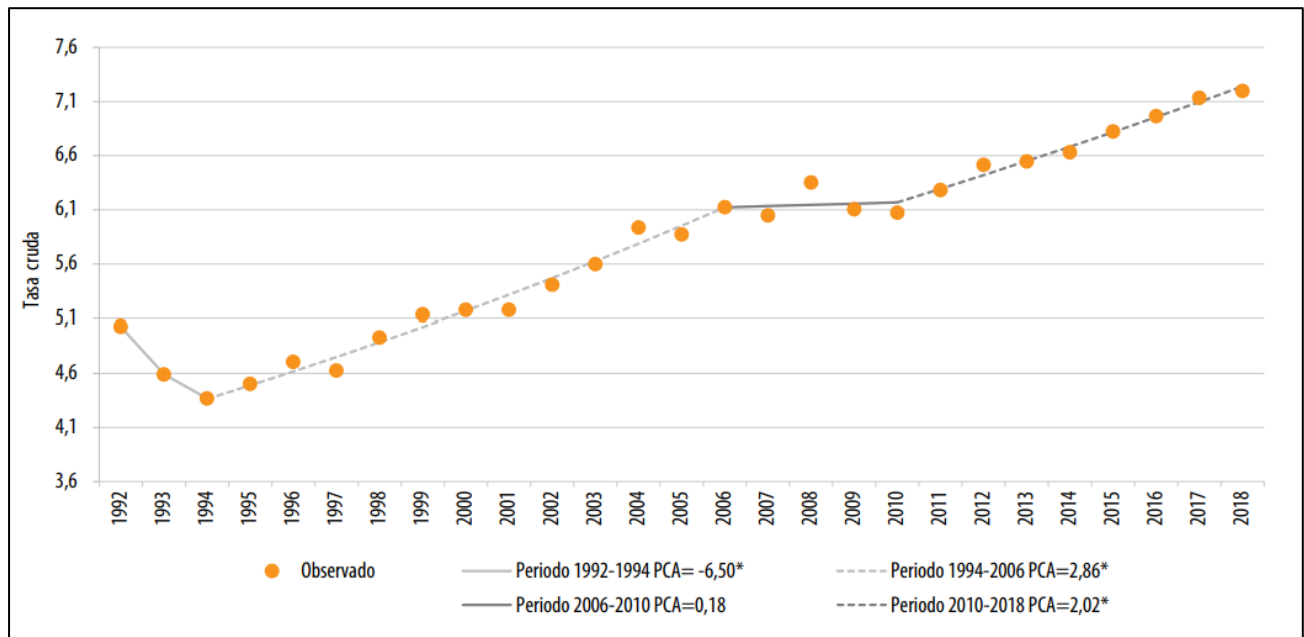
A nivel nacional, el sector residencial representó el 94% de las emisiones de MP<sub>2,5</sub> del año 2017 debido al uso de leña para calefacción y cocción de alimentos, las que se distribuyeron de manera diferenciada a lo largo del país.

### 3.5.2. Partos Prematuros en Chile

Chile ha presentado cambios en la tendencia de nacimientos por edad de la madre. El estudio de López Orellana (2015) muestra que la proporción de nacimientos en mujeres de 35 años y más pasó de 10,6% en 1991 a 16,6% en 2012. Además, la tasa de parto prematuro aumentó de 4,7% a 6,4% en mujeres de 34 años y más durante el mismo periodo, lo que corresponde a un aumento de un 29%. Adicionalmente, López muestra un *odds ratio* (OR) de 1,68 (IC95% [1,66; 1,70]) para nacimiento

prematureo en madres de 35 años y más, comparado con madres de 20 a 29 años, ajustado por educación, estado civil y paridad, lo que significa que el riesgo de tener un parto prematuro aumenta más en mujeres de 35 años o más en comparación con mujeres jóvenes, sin que el nivel educacional, el estado civil o el número de hijos previos sean factores que afecten esta relación.

En Chile, los nacimientos prematuros han aumentado entre 1992 y 2018, presentando un promedio de porcentaje de cambio anual de 1,2%. Sin embargo, la tendencia no ha sido constante durante el periodo, con una disminución en la primera mitad de la década de 1990, para aumentar progresivamente hasta la actualidad, como se evidencia en la Figura 6. Se trata de un proceso similar a lo observado a nivel mundial, considerando el total de los partos prematuros. (Toro-Huerta et al., 2023). En el año 2021, el 9,5% de los nacimientos correspondieron a partos prematuros, de los cuales un 1,4% fueron nacidos con menos de 32 semanas de gestación (Barra & Coo, 2023).



**Figura 6. Evolución temporal y puntos de cambio en la tasa de parto prematuro. Chile, 1992-2018.**

*Fuente: Toro-Huerta et al., 2023*

El período de mayor riesgo de muerte durante el primer año de vida es la etapa neonatal. Según información de la OMS las causas principales de fallecimientos de recién nacidos son: nacimiento prematuro y bajo peso al nacer, infecciones, asfixia y traumatismos en el parto. Estas causas explican cerca del 80% de las muertes en este grupo de edad. En Chile, se ha encontrado que las principales

causas de muerte neonatal son las malformaciones congénitas, las anomalías cromosómicas, la prematuridad y la sepsis neonatal (Donoso, 2013).

## **4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

### **4.1. Hipótesis**

Existe asociación entre contaminación atmosférica por material particulado 2,5 y riesgo de ocurrencia de parto prematuro en las comunas de Concepción Metropolitano, de tal manera que cuando aumenta la contaminación atmosférica por MP2,5 aumenta la incidencia de parto prematuro.

### **4.2. Objetivo General**

Analizar la asociación entre Contaminación Atmosférica e incidencia de Partos Prematuros en las comunas de Concepción Metropolitano, entre los años 2010 – 2020.

### **4.3. Objetivos Específicos**

- Examinar las bases de datos de Calidad del Aire en comunas seleccionadas de Concepción Metropolitano, entre los años 2010 – 2020.
- Estimar incidencia de Partos Prematuros en comunas seleccionadas de Concepción Metropolitano, entre los años 2010 – 2020.
- Determinar si existe una asociación entre Incidencia de Partos Prematuros y Calidad del Aire en Concepción Metropolitano.

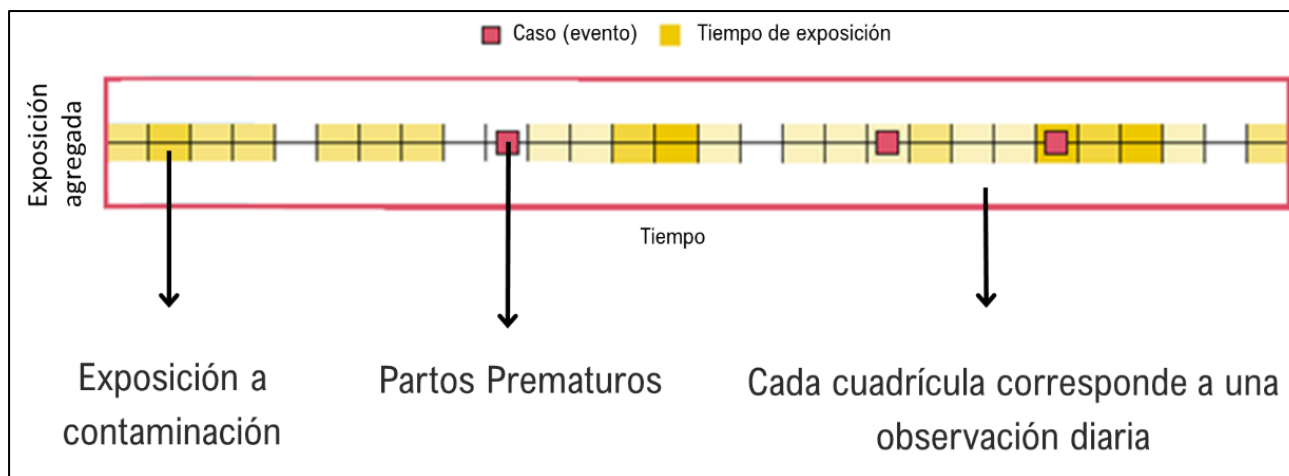
## 5. METODOLOGÍA

### 5.1. Diseño del estudio

El presente estudio consiste en un diseño epidemiológico de tipo análisis ecológico de series de tiempo. Los estudios ecológicos (o correlacionales) utilizan datos de poblaciones para comparar la frecuencia de enfermedad entre diversos grupos durante un mismo período, o en un mismo grupo durante períodos diferentes. Las variables de interés pueden ser edad, sexo y variables étnicas, socioeconómicas o geográficas. Las conclusiones de este tipo de diseño se refieren solo a las poblaciones y no a los individuos. No es posible extrapolarlas a la exposición del individuo y el riesgo de presentar la enfermedad (lo que se conoce como «falacia ecológica»). Los estudios ecológicos tampoco pueden controlar la presencia de variables de confusión (Hernández, 2017). Con esto, se entiende que corresponde a un estudio donde el sujeto de estudio se trata de grandes grupos de personas o individuos, más que el foco en cada uno de ellos por separado.

Este estudio se realizó mediante un análisis de series de tiempo, donde la serie corresponde a una secuencia de datos u observaciones medidos en determinados momentos, en intervalos iguales de tiempo. Cabe recalcar que como dato medido siempre se considera el mismo al momento de la medición. Para el caso de este estudio el dato “medido” corresponde al evento de un parto prematuro, y la unidad de análisis o intervalo de tiempo corresponde a un día, es decir, para este estudio se consideran los conteos diarios de partos prematuro.

En la Figura 7 se explica de manera visual una serie de tiempo de exposición agregada, donde cada una de las cuadrículas corresponde a un intervalo de tiempo, que en el caso de este estudio corresponde a un día. En rojo se observan los eventos o “datos medidos”, correspondientes a los partos prematuros, y en amarillo la exposición intervalo de tiempo.



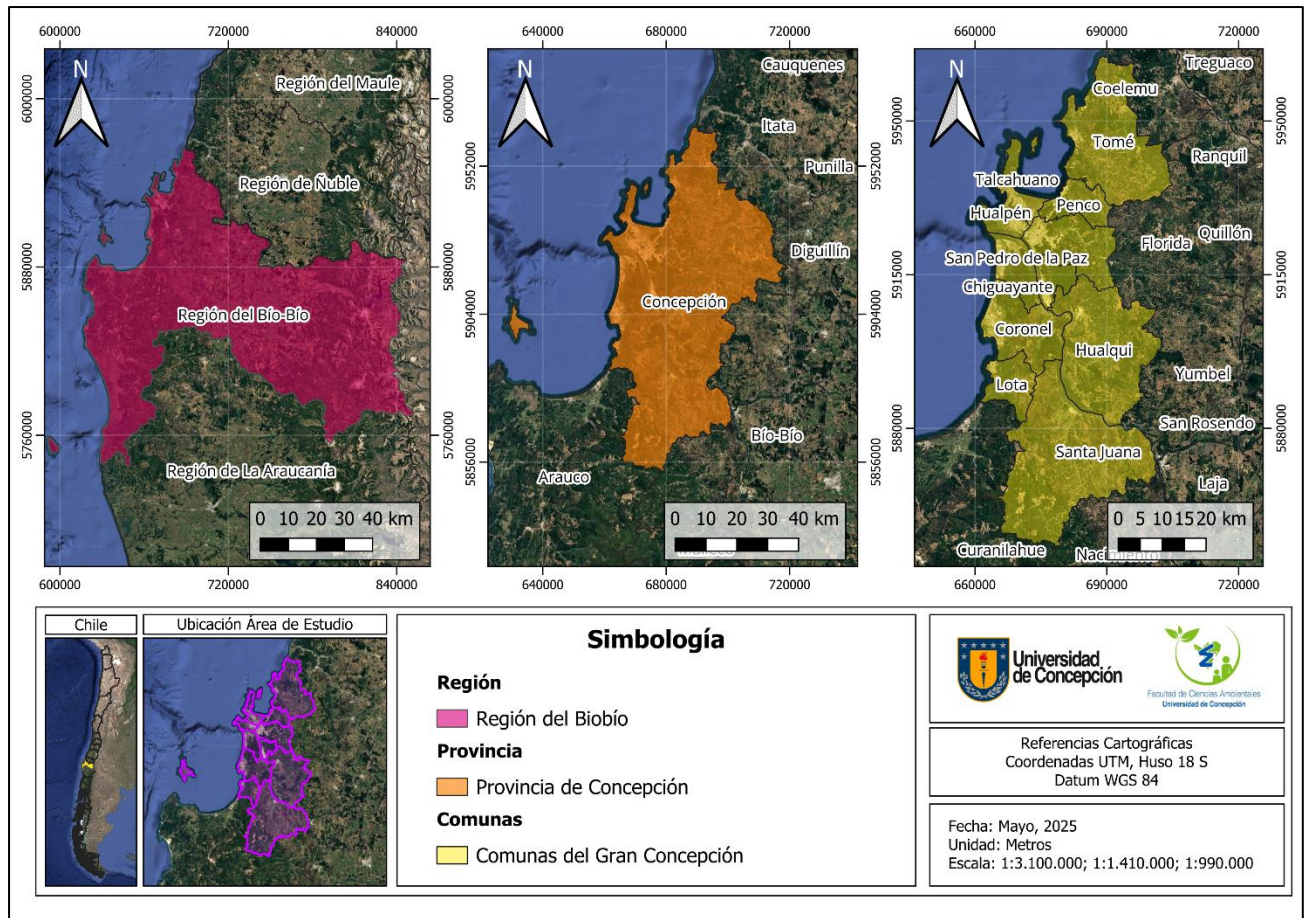
**Figura 7. Serie de tiempo**

*Fuente: Adaptado de Gasparrini, A (2021)*

## 5.2. Área de estudio

Como área de estudio para esta investigación se consideró el área geográfica conocida comúnmente como el Gran Concepción, que fue delimitada oficialmente como Área Metropolitana por el Decreto N°326<sup>2</sup> en el año 2024, donde se establece que la nueva área metropolitana está compuesta por once comunas, las cuales corresponden a: Chiguayante, Concepción, Coronel, Hualpén, Hualqui, Lota, Penco, Santa Juana, San Pedro de la Paz, Talcahuano y Tomé. Esta área metropolitana se encuentra ubicada en la Región del Biobío, en la provincia de Concepción, y considera once de las doce comunas que la conforman. El Área Metropolitana del Gran Concepción tiene una extensión territorial de 2.830,4 km<sup>2</sup> y limita al norte con la Región de Ñuble, al este con la comuna de Florida y la provincia de Biobío, al sur con la provincia de Arauco y al oeste con el océano Pacífico. Tiene una población de 1.012.490 personas según el Censo 2024, y una densidad poblacional de 348 hab/km<sup>2</sup>, donde la comuna con mayor densidad es Talcahuano con 1.715 hab/km<sup>2</sup>, y la con menor densidad corresponde a Santa Juana, con solo 19 hab/km<sup>2</sup> (Subdere, 2023).

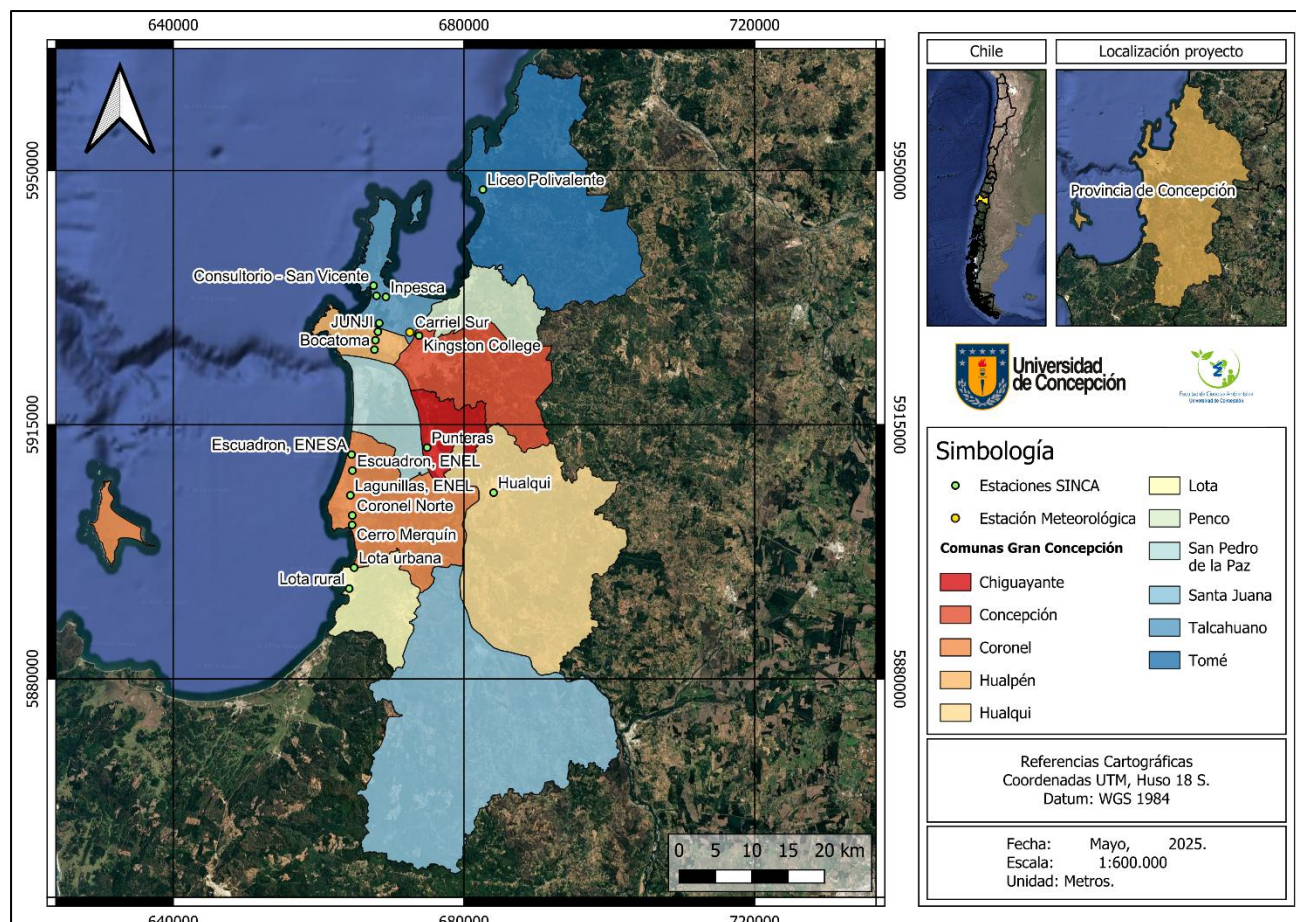
<sup>2</sup> <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1206146&idVersion=2024-08-28>



**Figura 8. Área de estudio**

*Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS*

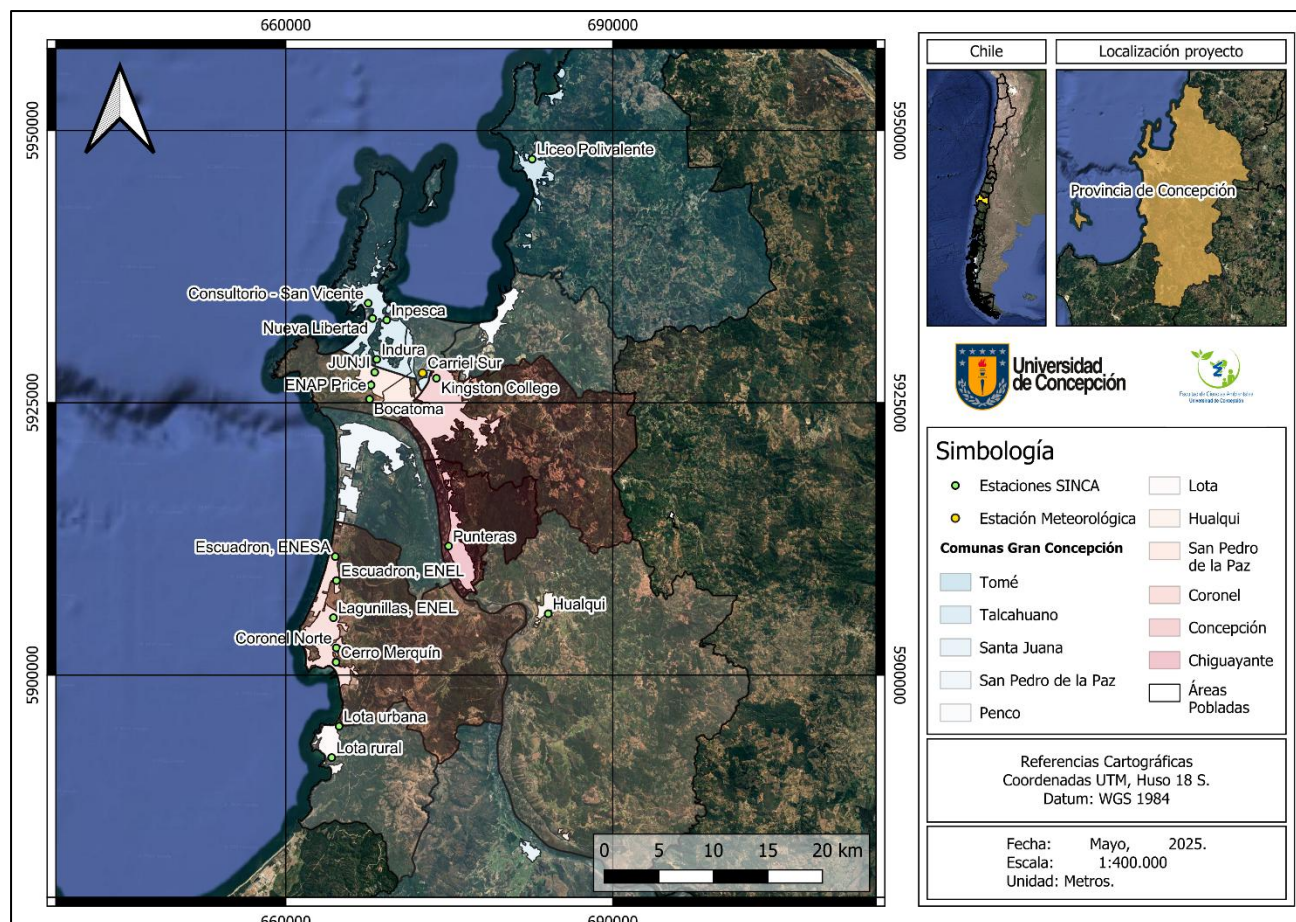
Dentro del área geográfica del Gran Concepción es posible encontrar 19 estaciones de monitoreo de calidad del aire del Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire (SINCA), las cuales se encuentran solo en ocho de las once comunas. A continuación se presenta la Figura 9, donde se muestran las comunas del área metropolitana del Gran Concepción y la ubicación de cada una de las estaciones de monitoreo SINCA de estas comunas.



**Figura 9. Área de Estudio con estaciones SINCA**

*Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS*

Por otro lado, y para una mejor percepción de la representatividad poblacional de las estaciones de medición de material particulado (MP) se presenta la Figura 10 con la ubicación de las estaciones y las áreas urbanas pobladas del Gran Concepción.



**Figura 10. Estaciones SINCA y su relación con las Áreas Pobladas**

*Fuente: Elaboración propia en base a software QGIS*

### 5.3. Levantamiento de información y bases de datos

#### 5.3.1. Calidad del Aire

##### Selección Estaciones de Monitoreo

Para la selección de las estaciones de monitoreo a considerar en el estudio, en primera instancia se accedió a la plataforma online del SINCA, donde se revisó la información disponible de todas las estaciones ubicadas en el Gran Concepción, separando el análisis por comunas.

Con la información recopilada se construyó una tabla Excel donde se definieron 6 columnas correspondientes a código único territorial, nombre de la comuna, estaciones de la comuna que cuentan con registros de MP2,5, fecha del primer registro de MP2,5 y fecha del último registro de MP2,5, al momento de ingresar a la plataforma. El código único territorial se consideró en esta tabla

debido a que la información del DEIS sería entregada con esta denominación para las comunas y con objetivo de simplificar el análisis se tradujo el código a los nombres. A continuación, se presenta la Tabla 3 con sus respectivos valores.

**Tabla 3. Descripción estaciones SINCA Gran Concepción**

<b>Código Único Territorial</b>	<b>Comuna</b>	<b>Estaciones</b>	<b>Fecha Primer Registro</b>	<b>Fecha Último Registro</b>
8103	Chiguayante	Punteras	06-10-2009	18-03-2024
8101	Concepción	Kingston College	12-08-2009	18-03-2024
8102	Coronel	Cerro Merquín	07-10-2009	18-03-2024
		Coronel Norte	30-11-2019	18-03-2024
		Escuadron, ENEL	25-12-2020	23-10-2023
		Escuadron, ENESA	28-12-2020	18-03-2024
		Lagunillas, ENEL	25-12-2020	23-10-2023
8112	Hualpén	Bocatoma	06-05-2016	06-05-2023
		ENAP Price	01-12-2012	17-03-2024
		JUNJI	29-12-2011	17-03-2024
8105	Hualqui	Hualqui	26-11-2016	18-03-2024
8106	Lota	Lota rural	04-08-2015	23-10-2023
		Lota urbana	04-08-2015	23-10-2023
8107	Penco	No posee		
8108	San Pedro	No posee		
8109	Santa Juana	No posee		
8110	Talcahuano	Consultorio - San Vicente	12-09-2009	18-03-2024
		Libertad	02-06-2000	30-06-2009
		Indura	15-02-2017	17-03-2024
		Inpesca	01-07-2012	17-03-2024
		Nueva Libertad	23-10-2009	18-03-2024
8111	Tomé	Liceo Polivalente	11-08-2009	18-03-2024

*Fuente: Elaboración propia*

Se observan en la Tabla 3 marcadas las fechas correspondientes a los rangos temporales más amplios de información a los que se puede acceder, en temporalidades similares para el análisis.

Continuando con el proceso de selección, se estudió el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA) para las comunas de Concepción Metropolitano (D.S. N°6/2018, del Ministerio del Medio Ambiente), el cual considera las comunas de Lota, Coronel, San Pedro de la Paz, Hualqui, Chiguayante, Concepción, Penco, Tomé, Hualpén y Talcahuano, que fueron declaradas zona latente por MP10, como concentración de 24 horas, mediante el D.S. N°41/2006, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia (MINSEGPRES) y zona saturada por MP2,5 como concentración diaria,

mediante el D.S. N°15/2015, del Ministerio del Medio Ambiente. Lo anterior para conocer cuáles fueron consideradas para la elaboración de este PPDA. De la revisión se concluyó utilizar la información de cinco estaciones del SINCA, todas ellas de dominio público, pertenecientes a la Sub-Secretaría del Medio Ambiente y que se definían como EMRP (Estación de monitoreo con representación poblacional). Estas corresponden a las estaciones Consultorio San Vicente, Cerro Mequín, Kingston College y Punteras.

Con esta información recopilada, y considerando la temporalidad de la información disponible en cada una de las estaciones SINCA en el Gran Concepción, se definieron las estaciones a utilizar para el estudio, las cuales son presentadas en la Tabla 4.

**Tabla 4. Estaciones SINCA consideradas para el estudio.**

<b>Estaciones consideradas para el estudio</b>	
<b>Chiguayante</b>	Punteras
<b>Concepción</b>	Kingston College
<b>Coronel</b>	Cerro Merquín
<b>Talcahuano</b>	Consultorio - San Vicente
<b>Tomé</b>	Liceo Polivalente

*Fuente: Elaboración propia*

Finalmente, se utilizaron los registros de cinco estaciones, pertenecientes a cinco comunas distintas, con un tiempo de estudio de diez años, desde el 1 de enero de 2010, hasta el 31 de diciembre del 2020.

### **Descarga y análisis de datos de estaciones seleccionadas**

Para la obtención de los datos de calidad del aire se procede a la descarga de ellos directo desde la plataforma del SINCA, donde se encuentra la información histórica de las mediciones de todas las estaciones. Los datos se descargaron en formato Excel CSV, ya que este permite luego su manejo en software RStudio.

La información de material particulado entregada por el SINCA es manejada con tres distintas clasificaciones de acuerdo a su validación, en primer lugar se encuentran registros no validados, que son aquellos que no han pasado por una validación por parte del operador de la red. Luego se encuentran los registros preliminares, que corresponden a aquellos que se encuentran validados exclusivamente por el operador de red, y finalmente, los registros validados, que son aquellos que pasan por un segundo proceso de validación, en el cual se verifica si la información es representativa.

Así, los datos para cada una de las comunas en estudio fueron obtenidos en una tabla con cinco columnas correspondientes a la fecha en formato YYMMDD (año, mes, día, por sus siglas en inglés), hora en formato HHMM (hora, minuto, por sus siglas en inglés), registros validados, registros preliminares, y finalmente registros no validados. Cabe destacar que la columna hora no presentaba información, ya que los datos fueron descargados como registros diarios, para el manejo de las series de tiempo. A continuación se presenta un extracto de las tablas en mención.

**Tabla 5. Formato información obtenida desde SINCA.**

FECHA (YYMMDD)	HORA (HHMM)	Registros validados	Registros preliminares	Registros validados	no
100101	0			47,42	
100102	0			1,355	
100103	0			1,355	

*Fuente: Elaboración propia en base a datos SINCA*

### **Obtención de variables meteorológicas**

Para la obtención de las variables meteorológicas se recurrió a los mismos datos reportados por la estación Kingston College del SINCA (humedad relativa, velocidad del viento y temperatura). En paralelo, se ingresó a la plataforma Explorador Climático del Centro de Ciencias del Clima y la Resiliencia (CR)<sup>2</sup> para encontrar estaciones meteorológicas en el Gran Concepción, donde la única vigente corresponde a la estación Carriel Sur, perteneciente a la Dirección Meteorológica de Chile (DMC), y se encuentra ubicada en la comuna de Talcahuano, específicamente en el Aeropuerto Internacional Carriel Sur.

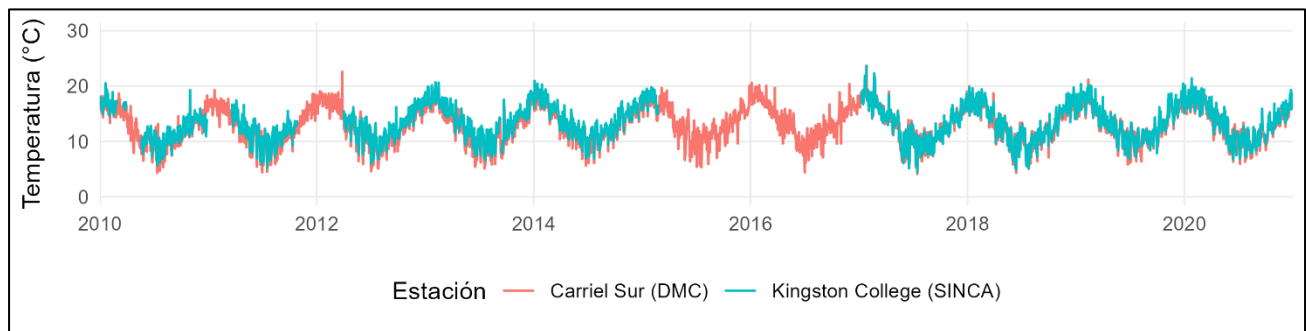
En esta estación se reportan dos productos de temperaturas. El primero, bajo la etiqueta “Carriel Sur Concepción”, entregado por la DMC. El segundo, “Carriel Sur Intl” entregado por la *Global Historical Climatology Network monthly* (GHCNm) de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Ambas series de temperatura son muy completas en todo su registro y, en esencia, casi idénticas.

### **Generación de series de tiempo**

Tras analizar la información descargada de calidad del aire, se hicieron evidentes los vacíos de información, sobre todo si se consideraba solamente los datos validados. Por esta razón se decidió completar los datos faltantes utilizando tanto los preliminares como los no validados, para así generar series de tiempo más robustas. Tras lo anterior, se generaron gráficos de dispersión (scatter plots) para

revisar la continuidad de las series de tiempo. Se analizaron los niveles de MP<sub>2,5</sub> por estación de monitoreo y compararon con la norma primaria de calidad del aire (D.S. N°12/2012) que establece como valor máximo un promedio diario ( $50 \mu\text{m}^3$ ) y la recomendación de la guía de calidad del aire de la OMS (2021) que establece un valor máximo de promedio diario de ( $15 \mu\text{m}^3$ ).

Para el caso de las variables meteorológicas, se descargaron los datos de todas las estaciones, considerando únicamente a la temperatura media diaria, en formato .csv y para el rango temporal del período de estudio (entre el 01/01/2010 y el 31/12/2020).



**Figura 11. Temperatura media diaria en Concepción.**

*Fuente: Elaboración propia*

Al contrastar los datos de Carriel Sur con la estación Kingston College del SINCA (Figura 11), se encontró que esta última contiene vacíos de información, por lo que se optó por utilizar únicamente la serie de temperatura de Carriel Sur entregada por el NOAA, asumiéndola representativa de la temperatura de todo el Gran Concepción.

### **5.3.2. Partos Prematuros**

#### **Obtención de datos**

En primera instancia, para la obtención de datos de partos prematuros, se ingresó a la página web del Departamento de Estadísticas e Información de Salud (DEIS) del Ministerio de Salud (MINSAL), donde en la sección de datos abiertos se seleccionó la opción nacimientos. Se observó que se encontraban disponibles 3 series de datos correspondientes a los nacimientos entre 1992–2000, entre 2001–2019 y entre 2020–2022. Se procedió a descargar estas series de datos y examinarlas. Cada una de las series contaba con 16 variables en formato de columna, dentro de las cuales se encontraban el mes y año de nacimiento, las semanas de gestación y la región de residencia de la madre, sin embargo, para la realización del análisis sería necesario obtener los datos en series diarias y conociendo la

comuna de residencia de la madre, para así posteriormente poder cruzar los datos con la información obtenida del SINCA.

Debido a lo anterior, se solicitan los datos a través del Portal Transparencia para obtener los datos en el formato requerido. La respuesta a la solicitud fue recibida luego de poco más de un mes, sin embargo, esta solo redirigió a la página web del DEIS, haciendo referencia a la información descargada previamente, la cual no contaba con el formato necesario para el análisis.

Frente a esta situación, se procedió a escribir un correo directamente al Dr. Jorge Pacheco Jara, jefe del Departamento de Estadísticas e Información en Salud (DEIS), donde se le comentó sobre la solicitud a través del portal transparencia y la respuesta recibida, solicitando su ayuda para el acceso a los datos necesarios. De esta forma, dos meses después de realizada la solicitud inicial, se obtuvieron los datos de partos prematuros para todas las comunas de la Región del Biobío, entregados por día, mes y año de nacimiento.

### **Procesamiento de datos (orden y limpieza)**

La información de nacimientos recibida contó con la totalidad de nacimientos en las comunas de la Región del Biobío, considerando todos los nacidos vivos, entre los años 2008 y 2020. Esta se recibió en una tabla Excel de cinco columnas, las cuales se ordenaban como se muestra en la Tabla 6.

**Tabla 6. Formato información nacimientos recibida.**

<b>DIA_NAC</b>	<b>MES_NAC</b>	<b>ANO_NAC</b>	<b>COMUNA</b>	<b>SEMANAS</b>
19	2	2008	8101	38

*Fuente: Elaboración propia*

De esta forma, para obtener únicamente los datos necesarios para realizar la asociación, se filtró según distintos atributos (comunas a estudiar, años de estudio) utilizando el software RStudio. En un inicio se ordenaron las fechas, generando una sola columna que indicara Año – Mes – Día, posteriormente se filtró según las semanas de gestación del recién nacido, considerando solo aquellos menores a 37 semanas, lo que corresponde a un parto prematuro, generando un conteo de partos prematuros por día para cada una de las comunas estudiadas.

Cabe considerar que dentro de la información recibida se encontraban datos que indicaban la fecha del nacimiento, pero no las semanas de gestación del recién nacido, por lo que estos registros fueron manejados como partos de término ( $\geq 37$  semanas), y no fueron considerados en la base de datos de partos prematuros.

Para facilitar la comprensión de la información se tradujo cada uno de los códigos únicos territoriales al nombre de su comuna correspondiente, considerando lo expuesto en la Tabla 7, que corresponde a un extracto de lo definido por la Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo, para las comunas en estudio.

**Tabla 7. Traducción Código Único Territorial para las comunas de estudio.**

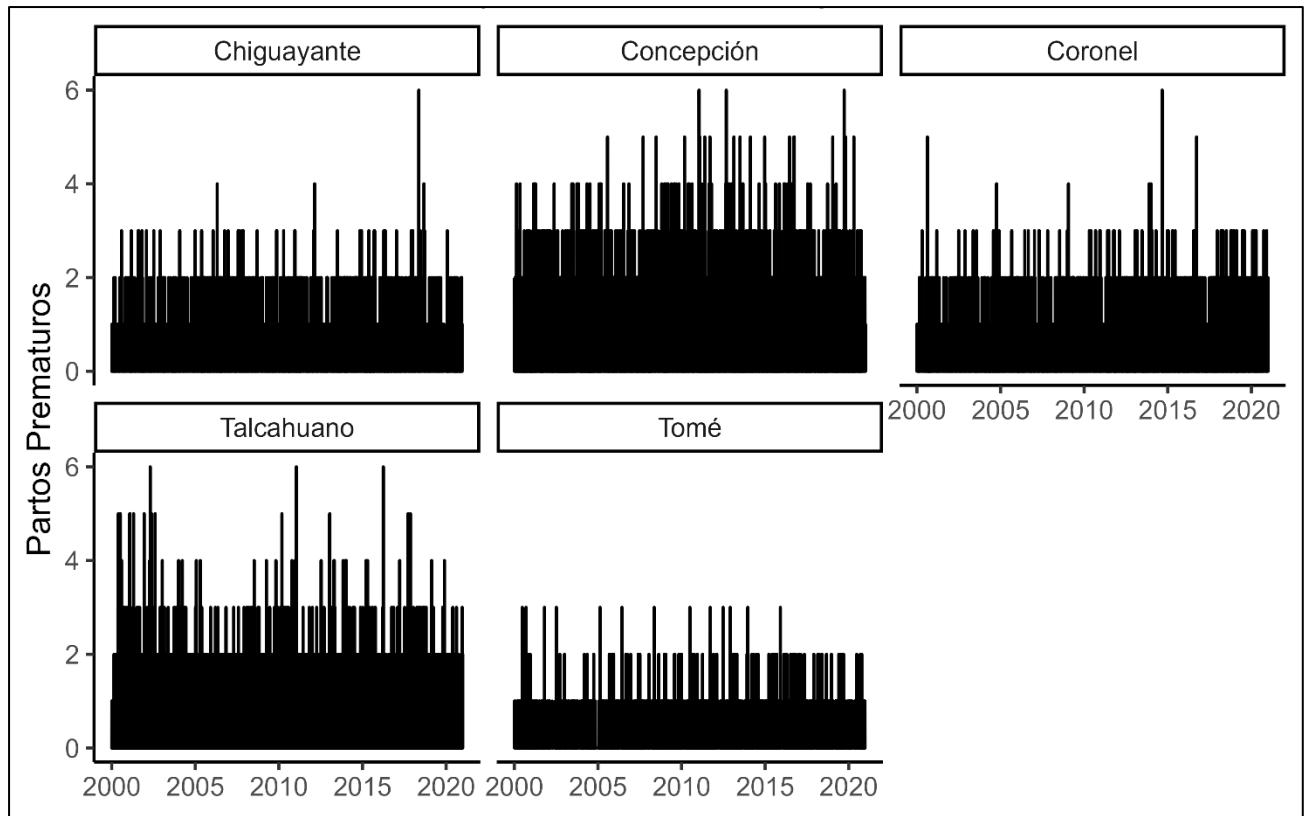
<b>Código Único Territorial</b>	<b>Comuna</b>
08101	Concepción
08102	Coronel
08103	Chiguayante
081010	Talcahuano
081011	Tomé

*Fuente: Elaboración propia*

Con todo lo anterior, se obtuvieron los datos en el formato necesario para la posterior generación de series de tiempo y análisis con los datos de calidad del aire.

### **Generación de series de tiempo**

Filtrando los datos de partos prematuro por comuna, se generaron las series de tiempo que se presentan en la Figura 12.



**Figura 12. Partos prematuros diarios por comuna de estudio.**

*Fuente: Elaboración propia*

Dada la pequeña magnitud de los eventos y para mejorar la robustez de los análisis de asociación, se decidió agregar las series de partos prematuros de todas las comunas mediante una suma diaria, generando así la serie de tiempo del total de partos prematuros diarios en todas las comunas estudiadas.

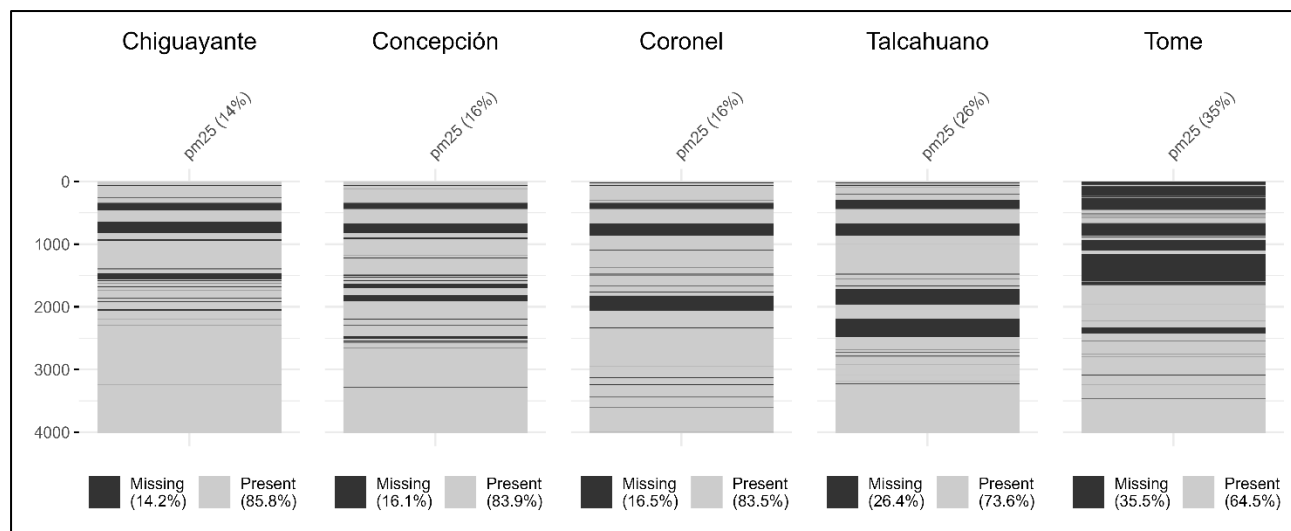
## 5.4. Análisis Estadístico

### 5.4.1. Análisis Descriptivo

#### Calidad del Aire

##### Evaluación de la continuidad de las series de tiempo

Utilizando los paquetes `visdat` y `skimr` en RStudio, se revisó el porcentaje de completitud de las series de tiempo de MP2,5. La Figura 13 da cuenta de esta revisión, donde se constató la necesidad de completar datos mediante imputaciones.



**Figura 13. Datos faltantes de MP 2,5 por comuna.**

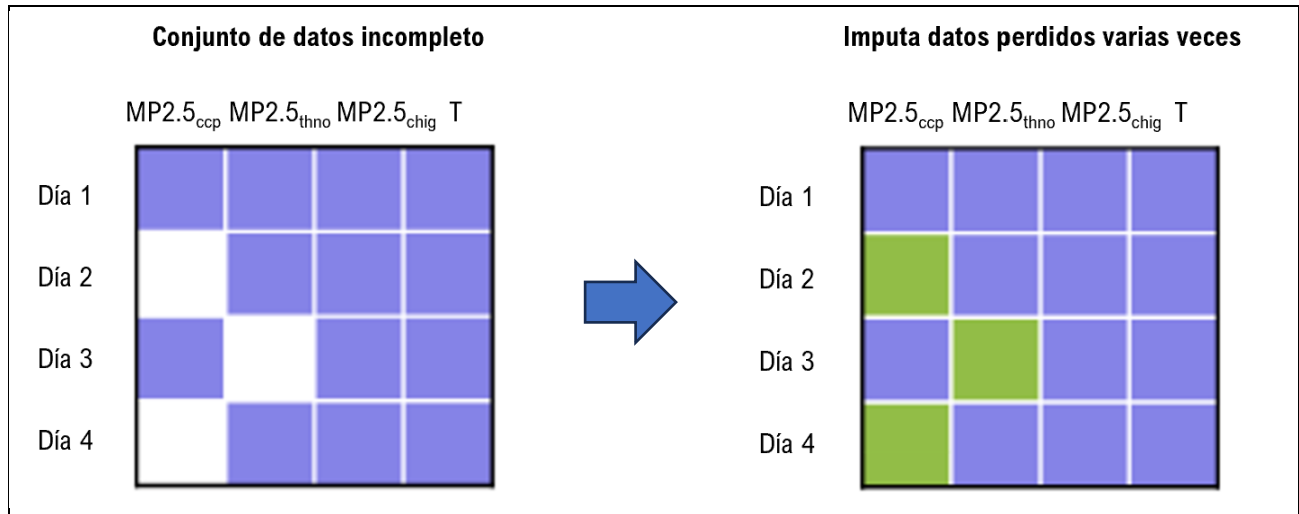
*Fuente: Elaboración propia*

### Imputación de datos

Se elaboró un *dataset* con los datos diarios de MP2,5 de todas las comunas y las variables usadas como predictoras en el proceso de imputación. Dichas variables fueron, para cada comuna, únicamente la temperatura y los datos de MP2,5 de las demás comunas. Se descartó el uso de MP10 debido a su alta colinealidad con MP2,5, que podría inducir problemas de convergencia. También se excluyeron otras variables como la humedad relativa pues su efecto está parcialmente representado por la temperatura.

Usando el paquete *mice* en RStudio, se realizó una Imputación Múltiple por Ecuaciones Encadenadas (MICE, por sus siglas en inglés). Este método secuencial genera múltiples versiones del conjunto de datos como resultado, rellendo los valores faltantes de manera iterativa. Su principal ventaja es que considera las relaciones entre variables al imputar, mediante una matriz predictora construida previamente. Se obtuvieron 25 *datasets* imputados, con un total de 25 iteraciones cada uno, utilizando por defecto el método *Predictive Mean Matching* (PMM), lo que permitió asegurar la convergencia del algoritmo.

Se presenta la Figura 14, que ejemplifica el procedimiento de la imputación de datos.



**Figura 14. Imputación de datos.**

*Fuente: Elaboración propia*

## Partos Prematuros

### Calculo tasa de incidencia

Para el cálculo de la tasa de incidencia se utilizaron los datos totales de partos obtenidos, filtrados por temporalidad (2010–2020) para cada una de las comunas seleccionadas anteriormente. En cada una de ellas se determinó el número de partos prematuros, con la finalidad de tener por un lado la cantidad de partos (o nacimientos) totales de cada comuna, y por el otro la cantidad de partos prematuros por comuna. Lo anterior para así utilizar la fórmula de cálculo de la incidencia que corresponde a:

$$Tasa\ de\ incidencia = \frac{n^{\circ}\ casos\ (partos\ prematuros)}{población\ suceptible\ (partos\ totales)}$$

Con esta fórmula se realizó el cálculo de la tasa de incidencia para cada una de las comunas del estudio, a través del programa Excel.

Este cálculo de tasa cruda de incidencia permitió determinar los distintos riesgos de ocurrencia de partos prematuros en las comunas seleccionadas en el periodo de tiempo estudiado, pudiendo establecer gradiente de riesgo entre las comunas de estudio.

Conociendo las tasas de incidencias por comuna se pudo calcular la razón de incidencias entre la comuna con mayor y menor riesgo, calculo que corresponde a:

$$Razón\ de\ tasas\ de\ incidencia = \frac{tasa\ de\ incidencia\ cruda\ comuna\ con\ mayor\ riesgo}{tasa\ de\ incidencia\ cruda\ comuna\ con\ menor\ riesgo}$$

Esta razón de tasas de incidencia indica cuantas veces más probable es que ocurra un evento, en este caso parto prematuro, en las comunas con mayor riesgo de parto prematuro respecto a las comunas con menor riesgo o incidencia de parto prematuro.

### **Comparación estadística de incidencias**

Teniendo la incidencia de partos prematuros de cada comuna, se evaluó si las diferencias observadas eran estadísticamente significativas. Para esto, se utilizó una prueba de proporciones, que permite contrastar la proporción de partos prematuros observada en cada comuna, esto es, su tasa de incidencia, respecto a la tasa global, definida como la proporción total de partos prematuros respecto al total de partos del Gran Concepción (tasa de incidencia global).

La prueba de proporciones corresponde a una prueba aproximada basada en la distribución chi-cuadrado de Pearson, adecuada para muestras grandes. En este caso, evalúa si la tasa de incidencia de una comuna difiere significativamente de la tasa de incidencia total bajo la hipótesis nula, que en cada caso planteaba que “no existía diferencia significativa entre la incidencia observada en la comuna y la incidencia total”. El estadístico de prueba tiene la forma:

$$\chi^2 = \frac{(\hat{p} - p_0)^2}{\frac{p_0(1 - p_0)}{n}}$$

Donde

$\hat{p}$ : Incidencia de partos prematuros en la comuna.

$p_0$ : Incidencia total del Gran Concepción.

$n$ : Número de partos en la comuna.

A partir este estadístico se calcula un valor  $p$ , que representa la probabilidad de observar una desviación igual o más extrema bajo la hipótesis nula ( $H_0: \hat{p} = p_0$ ). Si  $p < 0,05$ , se rechaza  $H_0$  y se concluye que la comuna difiere significativamente de la referencia. Este valor se calcula como la probabilidad de obtener un valor de  $\chi^2$  igual o mayor que el calculado, bajo la distribución chi-cuadrado:

$$\text{valor } p = P(\chi^2 \geq \chi_{obs}^2)$$

Como análisis complementario, se ejecutó una prueba de chi-cuadrado de homogeneidad sobre los partos prematuros y totales de las cinco comunas. Este test evalúa globalmente si todas las incidencias

proviene de la misma distribución, y su resultado permite respaldar la heterogeneidad observada y justificar el examen individual por comuna.

### 5.4.2. Análisis de Asociación

Para realizar el análisis de asociación entre la exposición a material particulado fino y la ocurrencia de partos prematuros, se utilizó un modelo de retardo distribuido (DLNM por sus siglas en inglés). Este modelo ha sido ampliamente utilizado en epidemiología ambiental, especialmente para estudiar efectos de la temperatura sobre la salud, y se ha extendido a otras variables de exposición.

Permite evaluar simultáneamente la dimensión de exposición y la de rezago temporal, caracterizando cómo varía el efecto de una exposición puntual a lo largo de los días siguientes, donde el riesgo cambia en función de ambas dimensiones. Si bien los DLNM permiten especificar relaciones no lineales y retardadas, en este caso se asumió una relación lineal en la concentración de MP2,5 y se modeló el retardo de forma escalonada, permitiendo estimar un efecto independiente para cada día de *lag*.

Haciendo uso del paquete `dlnm` en RStudio, la serie de tiempo de MP2,5 de la comuna de Concepción previamente imputadas, y los partos prematuros en todo el Gran Concepción, se aplicó un modelo DLNM describiendo una función de base cruzada para representar los efectos de la exposición diaria a MP2,5 en la comuna de Concepción. La ecuación del modelo de regresión generalizada se describe según:

$$\underbrace{\log(\mathbb{E}[Y_t])}_{\text{Valor esperado partos prematuros}} = \alpha + \underbrace{\sum_{l=0}^L \beta_l \cdot x_{t-l}}_{\text{Efecto MP2,5}} + \overbrace{\sum_{l=0}^L \sum_{k=1}^K \theta_{k,l} \cdot S_k(T_{t-l}) + \sum_{j=1}^J \phi_j \cdot F_j(t)}^{\text{Covariables de control por estacionalidad o tendencias}} + \underbrace{\sum_{\tau=1}^6 \omega_{\tau} \cdot 1_{wd_t=\tau}}_{\text{Día de la semana}} + \underbrace{\sum_{\tau=2010}^{2019} \gamma_{\tau} \cdot 1_{y_t=\tau}}_{\text{Año}}$$

Donde

$\alpha$ : Intercepto

$l$ : Retardo o *lag* en días.

$L$ : Número máximo de días de rezago (*lags*).

$\beta_l$ : Coeficiente estimado para ese *lag* específico.

$x_{t-l}$ : Concentración del contaminante  $l$  días antes de la fecha  $t$ .

$T_{t-l}$ : Temperatura  $l$  días antes de  $t$ .

$S_k(\cdot)$ : Base del spline natural de temperatura, con  $K$  grados de libertad.

$F_j(\cdot)$ : Base del spline natural de tendencia temporal, con  $J$  grados de libertad.

$wd_t$ : Día de la semana de  $t$ .  $1_{wd_t=\tau}$  corresponde a 1 si  $wd_t = \tau$ , 0 en caso contrario.

$y_t$ : Año de  $t$ .  $1_{y_t=\tau}$  corresponde a 1 si  $y_t = \tau$ , 0 en caso contrario.

Los coeficientes  $\theta_{k,l}$ ,  $\phi_j$ ,  $\omega_\tau$  y  $\gamma_\tau$  corresponden a parámetros estimados por el modelo, asociados a covariables de ajuste. Estas fueron incluidas para controlar posibles efectos de estacionalidad y tendencias temporales. Se modeló la temperatura utilizando una función de base cruzada, así como con el contaminante, pero esta vez con efecto no lineal (spline) para la dimensión de la variable y del retardo, considerando que la temperatura tiene un efecto distribuido en el tiempo y no lineal sobre el riesgo. Se incluyó un ajuste por la tendencia temporal, modelada mediante un spline de la variable fecha, para capturar variaciones suaves a largo plazo. Finalmente, se incluyeron ajustes por día de la semana y año como factores categóricos para capturar patrones periódicos y anuales específicos.

Algunas de estas variables, como la temperatura, actúan como confusoras al estar potencialmente asociadas tanto con los niveles de contaminación como con los partos prematuros. Otras, como las tendencias temporales, se incluyen como control estructural, principalmente para capturar variaciones sistemáticas en el tiempo, sin constituir necesariamente una variable confusora.

A partir de este modelo se generaron predicciones del riesgo relativo (RR) definido por:

$$RR(x) = \frac{\mathbb{E}[Y_t \mid MP_{2.5} = x]}{\mathbb{E}[Y_t \mid MP_{2.5} = x_0]} = \exp\left(\sum_{l=0}^L \hat{\beta}_l(x - x_0)\right)$$

Donde

$RR(x)$ : Riesgo asociado a una exposición  $x$  de MP2,5, comparado con un valor de referencia  $x_0$ .

$\mathbb{E}[Y_t \mid \cdot]$ : Valor esperado del número de partos prematuros en el día  $t$ , condicionado al nivel de exposición.

$\hat{\beta}_l$ : Coeficiente estimado del efecto del MP2,5 en el día  $t - l$ .

Un valor de  $RR(x) > 1$  indica un aumento en el riesgo de parto prematuro para una exposición  $x$  de MP2,5 en comparación con  $x_0$ ; un valor  $RR(x) < 1$  indica una disminución del riesgo.

Estas predicciones generan una relación tridimensional: dosis–lag–respuesta. Esta se diseccionó para analizar de manera bidimensional y por separado.

### **Dosis–respuesta**

La relación dosis–respuesta entre el contaminante y los partos prematuros se modeló asumiendo una asociación lineal entre la concentración de MP2,5 y el logaritmo del riesgo relativo (RR). Los efectos

se cuantificaron mediante riesgos relativos acumulados y específicos por rezago (*lag*) determinado. Este análisis permitió estimar la magnitud del riesgo.

### ***Lag*–respuesta**

Se analizó cómo el tiempo entre la exposición al contaminante y la ocurrencia de un parto prematuro (*lag*) modula la asociación. Para esto, la estructura del rezago se modeló de forma escalonada, es decir, considerando efectos discretos para cada día de retraso dentro del intervalo definido. Se establecieron niveles fijos de aumento de concentración en el contaminante para identificar las ventanas temporales de mayor vulnerabilidad. Este análisis permitió identificar los periodos críticos de tiempo posterior a la exposición.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Caracterización de la Calidad del Aire en el Gran Concepción**

Este apartado inicial busca responder al objetivo específico N°1: “*Examinar las bases de datos de Calidad del Aire en comunas seleccionadas de Concepción Metropolitano, entre los años 2010 – 2020*”. Para esto se utilizó la metodología descrita previamente, tras la cual se obtuvieron los gráficos de series de tiempo de MP2,5 para cada una de las comunas analizadas, considerando una temporalidad diaria (24 horas).

#### **6.1.1. Series de Tiempo**

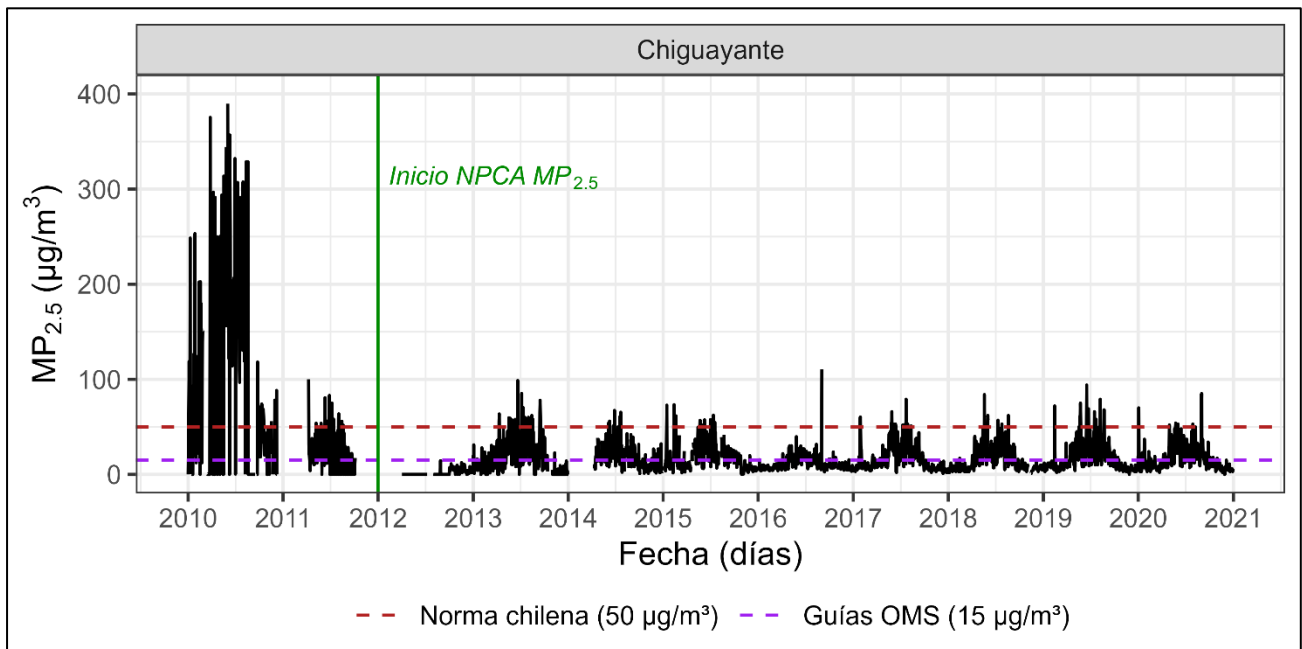
Se obtuvo, para cada una de las comunas seleccionadas, un gráfico donde se muestran los valores diarios de concentración de MP2,5 registrados por la estación correspondiente, a lo largo de 10 años. Como fue mencionado anteriormente, los valores obtenidos en cada una de las series de tiempo se compararon gráficamente con la normativa chilena vigente, la cual corresponde a Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP2,5, (D.S. N°12/2012), la que establece un valor máximo de veinte microgramos por metro cúbico (20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), como concentración anual y de cincuenta microgramos por metro cúbico (50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), como concentración de 24 horas. De la misma forma, se compararon con los valores establecidos por el documento Directrices Mundiales de la OMS sobre Calidad del Aire 2021, que establece un valor máximo de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  como concentración diaria.

Adicionalmente, se indica en cada una de las figuras la fecha de entrada en vigencia de la Norma Primaria de Calidad Ambiental para Material Particulado Fino Respirable MP2,5, establecida por el Decreto 12, el cual fue publicado el 09 de mayo del 2011. Esta norma entró en vigencia el 01 de enero del 2012.

Estos resultados se presentan a continuación.

- **Chiguayante**

Para la comuna de Chiguayante, se registró un valor máximo de 911  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el día 16 de noviembre del año 2010. Del total de datos registrados, un 91% de estos se encuentran dentro del límite indicado por el D.S. N°12, por otro lado, un 57% de ellos se encuentran por debajo de los valores recomendados por la guía de la OMS, como se observa en la siguiente figura.

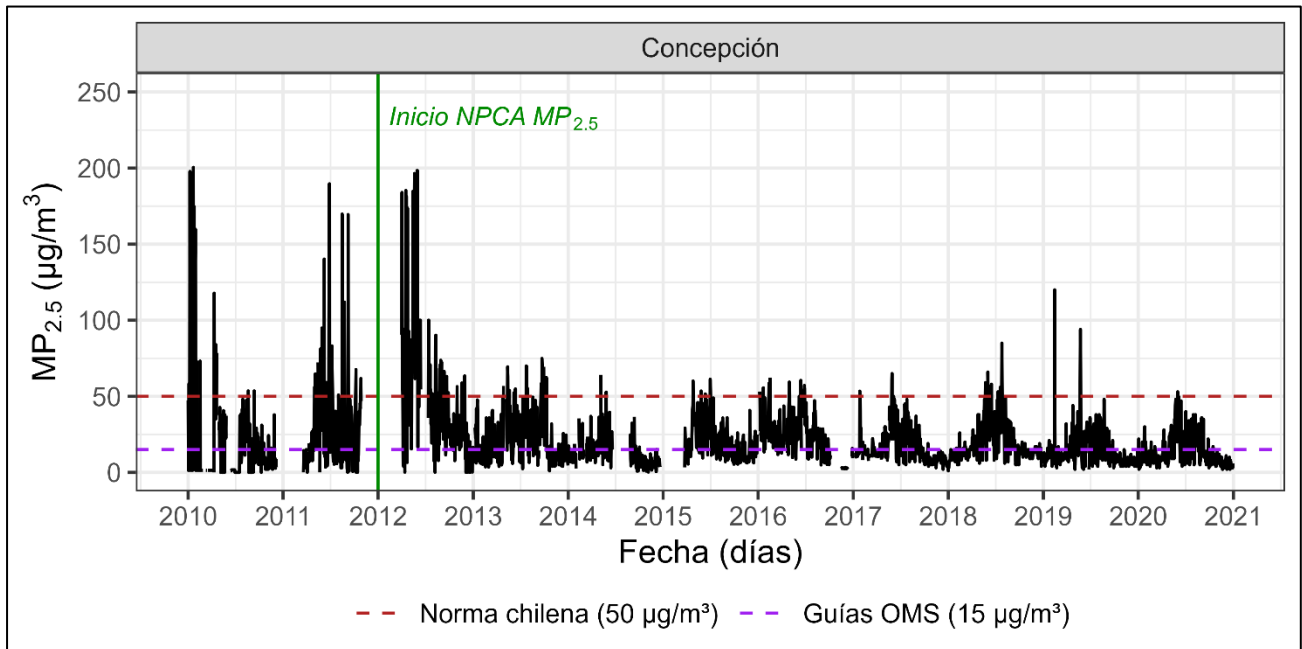


**Figura 15. Serie de tiempo MP2,5 Chiguayante.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos SINCA*

- **Concepción**

Para Concepción el valor máximo registrado es de 829  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , correspondiente al día 8 de abril del año 2010. Del total de datos registrados, un 93% de estos se encuentran dentro del límite indicado por el D.S. N°12, sin embargo, solo un 49% de ellos se encuentran por debajo de los valores recomendados por la guía de la OMS. Lo anterior se evidencia en la siguiente figura.

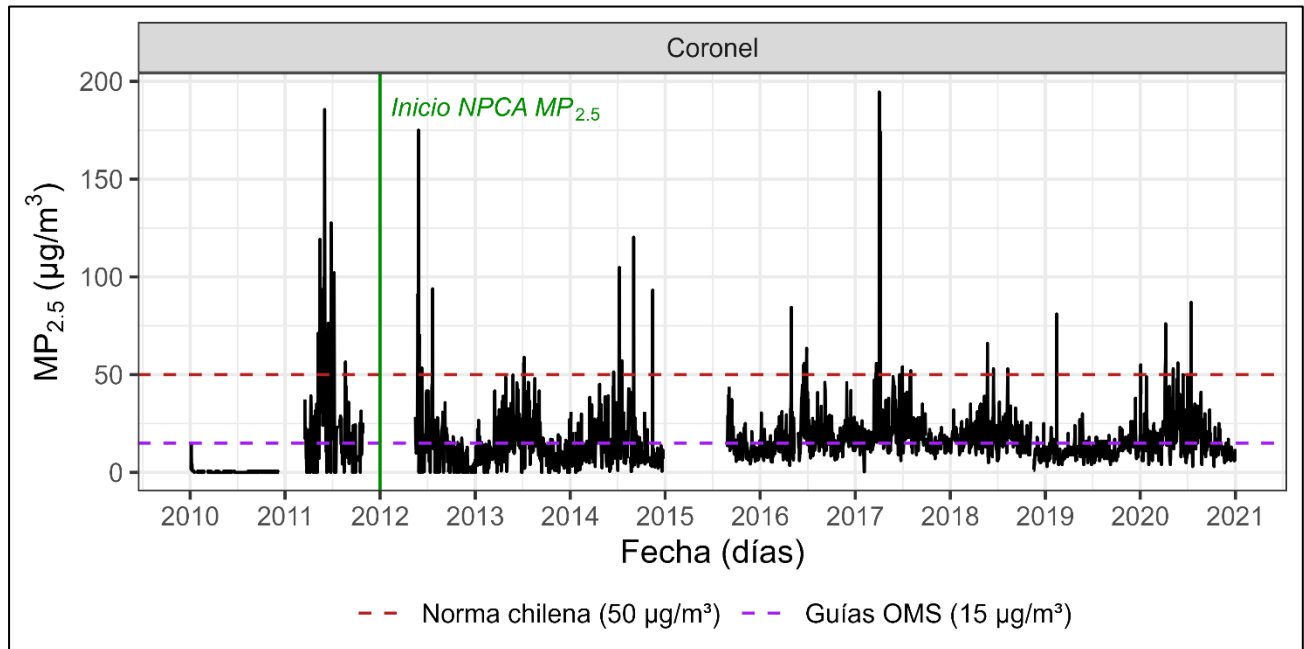


**Figura 16. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> Concepción.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos SINCA*

- **Coronel**

En la comuna de Coronel se registró un valor máximo de 194,53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el día 3 de abril del año 2017. Del total de datos registrados, un 97% de estos se encuentran dentro del límite indicado por el D.S. N°12, por otro lado, un 57% de ellos se encuentran por debajo de los valores recomendados por la guía de la OMS, como se observa en la siguiente figura.

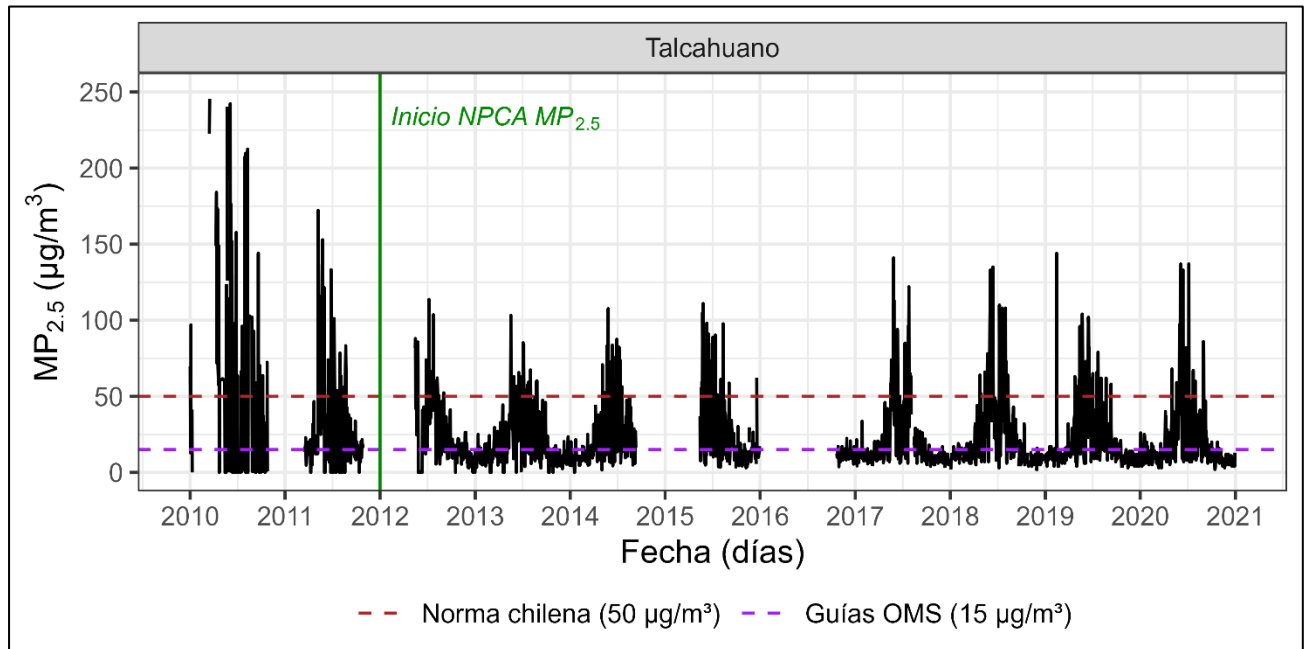


**Figura 17. Serie de tiempo MP2,5 Coronel.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos SINCA*

- **Talcahuano**

El valor máximo registrado en la comuna de Talcahuano corresponde a  $960 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , el cual se presentó el día 13 de febrero del año 2010. Del total de datos registrados, un 86% de estos se encuentran dentro del límite indicado por el D.S. N°12 y un 51% de ellos se encuentran por debajo de los valores recomendados por la guía de la OMS. Esto se aprecia en la figura a continuación.

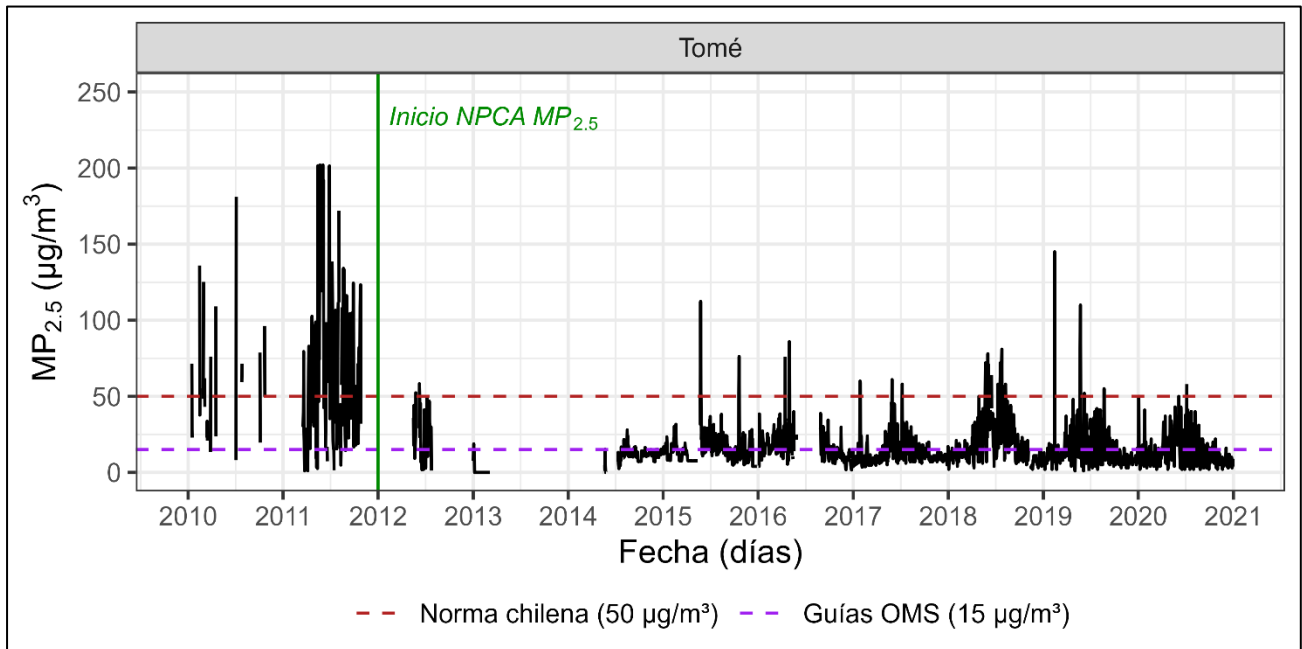


**Figura 18. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> Talcahuano.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos SINCA.*

- **Tomé**

Para la comuna de Tomé, se registró un valor máximo de 396,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , el día 18 de marzo del año 2010. Del total de datos registrados, un 92% de estos se encuentran dentro del límite indicado por el D.S. N°12, por otro lado, un 58% de ellos se encuentran por debajo de los valores recomendados por la guía de la OMS, tal como se observa en la siguiente figura.



**Figura 19. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> Tomé.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos SINCA.*

Es posible observar que todas las series de tiempo presentan un comportamiento estacional, aumentando sus concentraciones durante los meses de invierno, y disminuyendo en los meses de verano. Este comportamiento estacional se puede atribuir a la emanación de material particulado asociada a la calefacción residencial basada en la quema de leña, la cual aumenta considerablemente en los meses fríos de invierno.

También, se evidencian vacíos de información en distinta medida para cada una de las comunas, así como valores atípicos, o *peaks* de concentración. Es importante mencionar que estos valores *peaks* agudos no se observan en las figuras expuestas, debido a que estas fueron ajustadas para mostrar de mejor manera las series de tiempo, sin embargo todos los datos registrados fueron considerados al

momento de llevar a cabo la imputación de datos, ya que estos valores atípicos se consideran como eventos extremos registrados.

Por otro lado, respecto al comportamiento de estas concentraciones, es posible observar que posterior a la entrada en vigencia del Decreto N°12 del 2011, se presenta una disminución de las concentraciones globales, evidenciándose esto especialmente en comunas como Chiguayante y Concepción.

De las concentraciones diarias registradas, la más alta corresponde a  $960 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la cual fue obtenida en la comuna de Talcahuano, por otro lado la comuna que presenta un mayor porcentaje de registros diarios que cumplen con lo estipulado en el Decreto N°12 del 2011 corresponde a Coronel, con un 97%.

### 6.1.2. Datos Perdidos

En cada uno de los gráficos obtenidos se evidencia que existen vacíos temporales de información, en mayor o menor medida, en la Tabla 8 se presentan los porcentajes de datos perdidos calculados para cada una de las comunas en análisis.

**Tabla 8. Porcentaje datos perdidos por comuna.**

Comuna	Porcentaje
Chiguayante	14,2%
Concepción	16,1%
Coronel	16,5%
Talcahuano	26,4%
Tomé	35,5%

*Fuente: Elaboración propia.*

### 6.1.3. Imputación de Datos

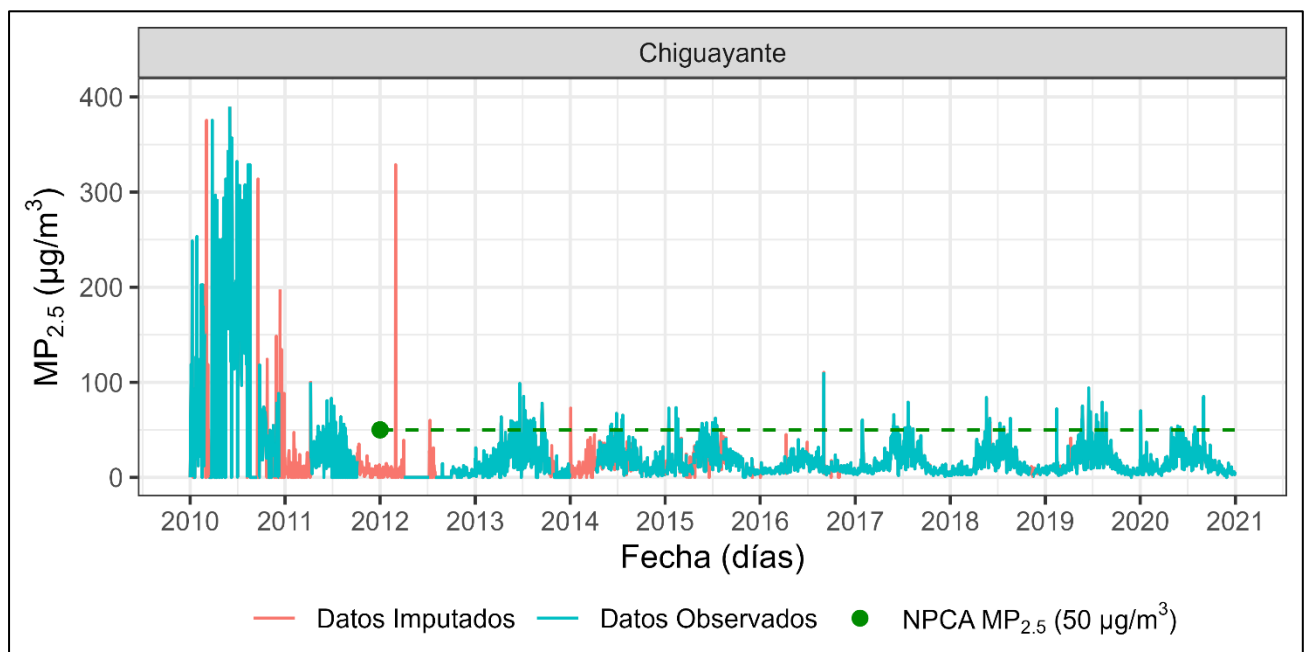
En consideración de los porcentajes de datos perdidos para cada una de las comunas de estudio, se realiza la imputación de datos, siguiendo la metodología descrita previamente. De esta imputación se obtienen las series de tiempo completas, con valores de concentración para cada uno de los días del período de estudio.

Cabe mencionar que en el análisis de concentraciones máximas, respecto a las series de tiempo no imputadas, estos valores se mantienen iguales, es decir, los valores de concentraciones más altos en

cada una de las series de tiempo se mantienen siendo los mismos después de la imputación. Por otro lado, el porcentaje de datos por debajo del valor indicado en el Decreto N°12 del 2011, y bajo el valor recomendado por la OMS varía tras la imputación, en todas las comunas en estudio. Se presenta en cada una de las figuras el límite dispuesto por Norma Primaria de Calidad Ambiental para MP2,5 (NPCA MP2,5).

- **Chiguayante**

Para la comuna de Chiguayante se presenta un 92% de registros dentro del límite indicado por el D.S. N°12, por otro lado, un 60% de ellos se encuentran por debajo de los valores recomendados por la guía de la OMS, tal como se observa en la siguiente figura.

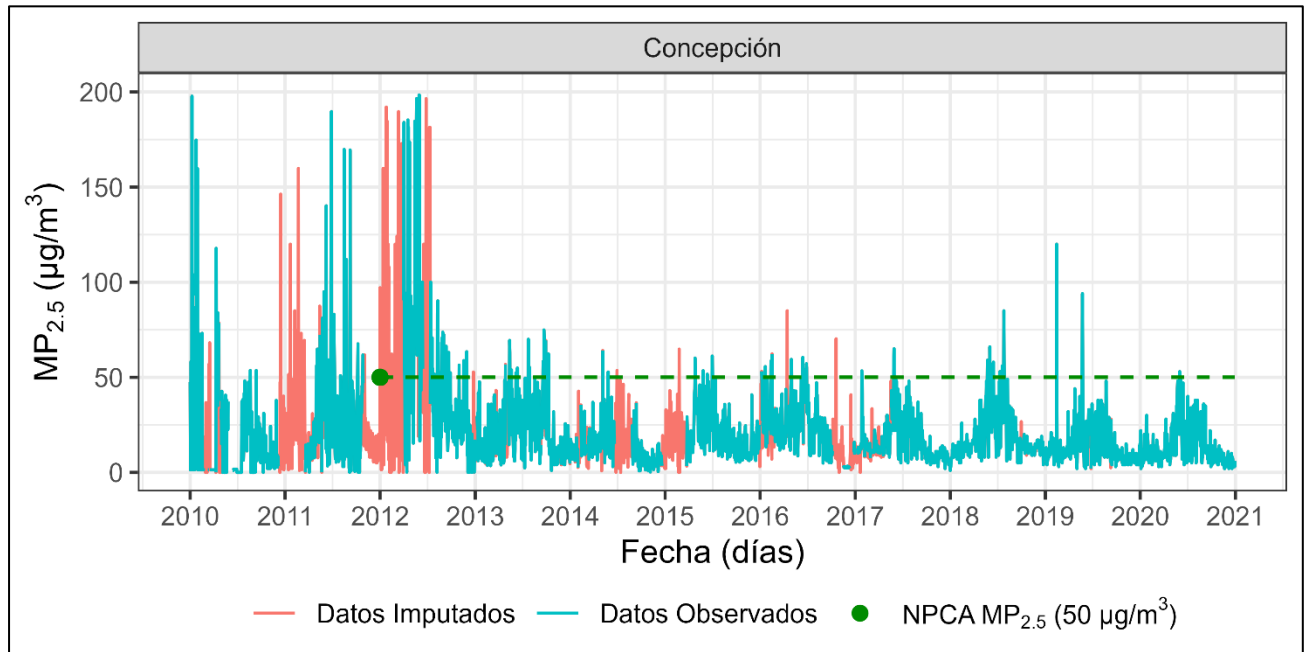


**Figura 20. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> datos imputados Chiguayante.**

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Concepción**

En la comuna de Concepción, del total de datos tras la imputación, un 92% de ellos tiene un valor menor al indicado en el D.S. N°12, mientras que un 49,2% corresponde a un valor menor a lo recomendado por la guía de la OMS. Lo anterior se observa en la siguiente figura.

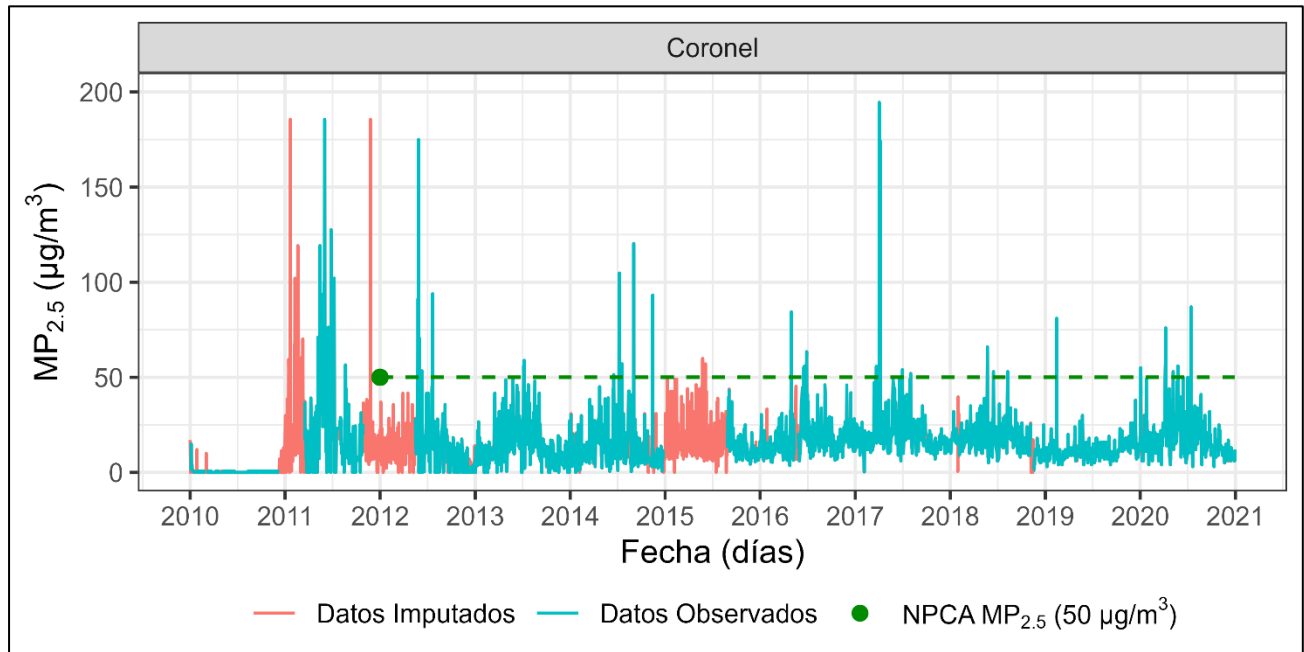


**Figura 21. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> datos imputados Concepción.**

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Coronel**

En cuanto a Coronel, un 97% de los datos tiene valores que se encuentran por debajo de lo dispuesto en el D.S. N°12. Por otro lado, un 56% de estos datos posee un valor menor a lo indicado por la guía de la OMS, como es posible de observar en la siguiente figura.

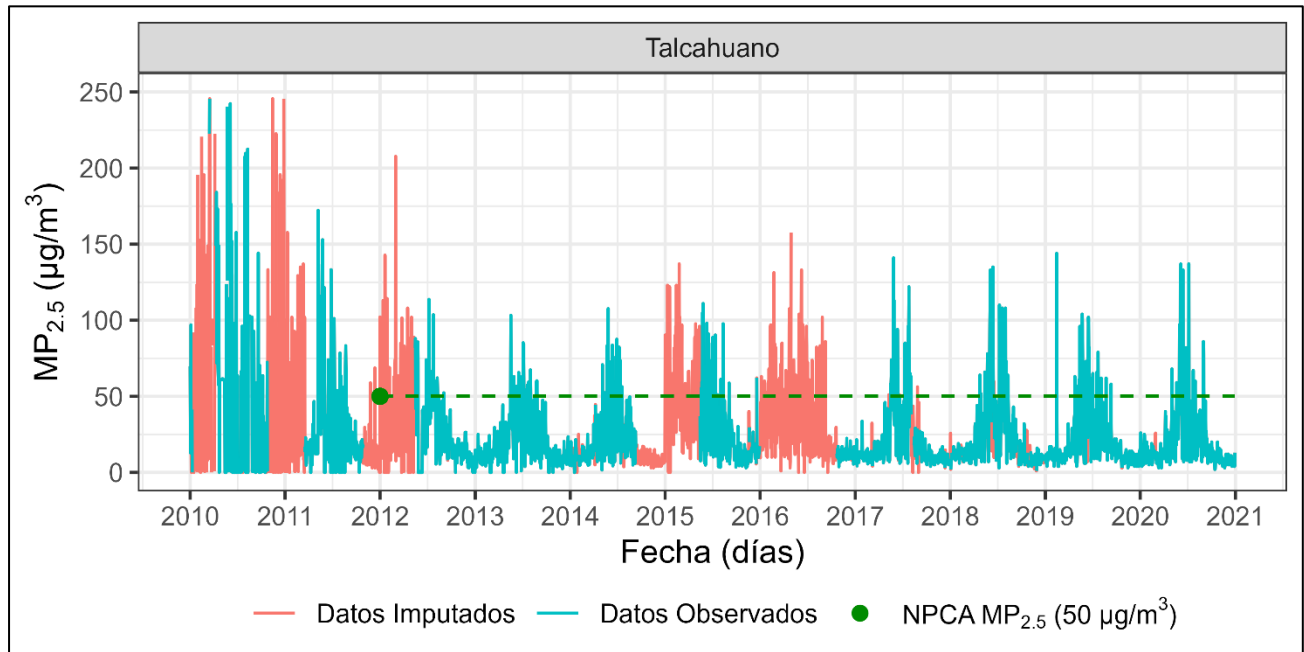


**Figura 22. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> datos imputados Coronel.**

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Talcahuano**

En la comuna de Talcahuano de la totalidad de los datos de la serie de tiempo, un 83% de ellos se encuentra dentro de lo indicado por el D.S. N°12, mientras que solo un 48% registra valores por debajo de lo recomendado por la guía de la OMS. A continuación se presenta la serie de tiempo.

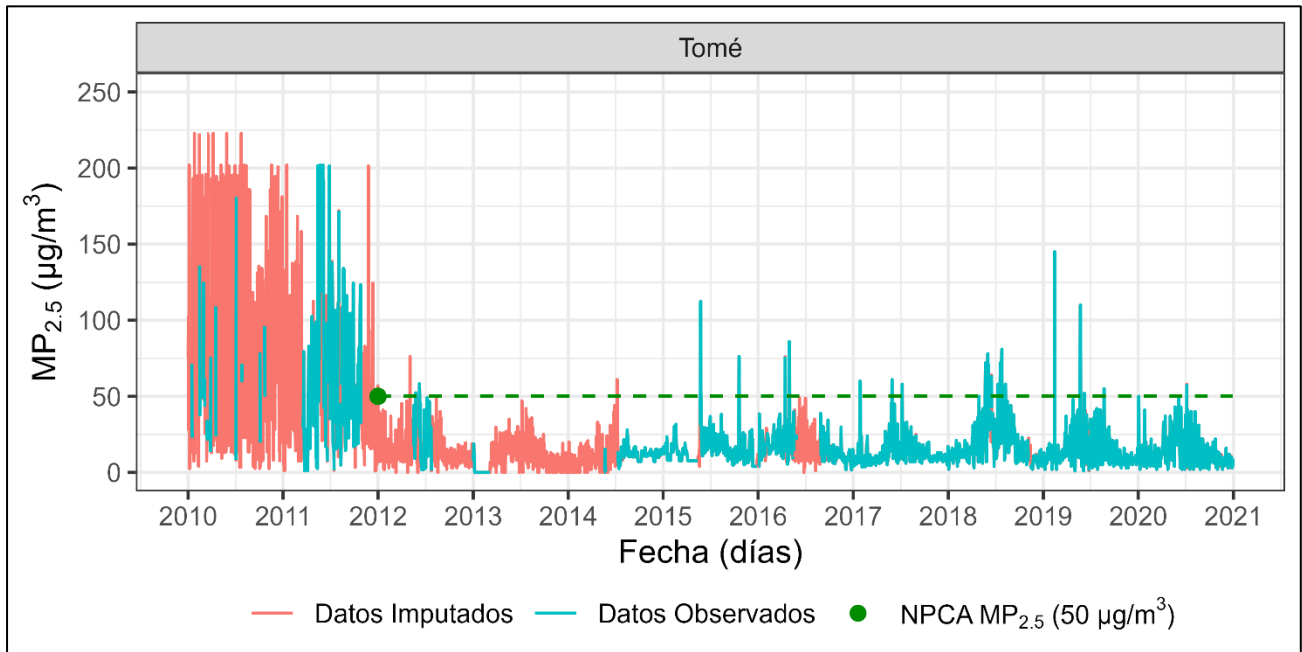


**Figura 23. Serie de tiempo MP<sub>2,5</sub> datos imputados Talcahuano.**

*Fuente: Elaboración propia.*

- **Tomé**

Para el caso de Tomé, un 87% de los datos totales se encuentran por debajo de lo estipulado en el D.S. N°12, y a la vez un 55% se encuentra dentro del límite recomendado por la guía de la OMS. Lo anterior se presenta en la siguiente figura.



**Figura 24. Serie de tiempo MP2,5 datos imputados Tomé.**

*Fuente: Elaboración propia.*

Para todas las series de tiempo imputadas se observa nuevamente una estacionalidad de los datos, la cual, como se menciona anteriormente, se puede atribuir a la emanación de material particulado asociada a la calefacción residencial basada en la quema de leña, la cual aumenta considerablemente en los meses fríos de invierno.

De la misma forma, se evidencia una disminución de las concentraciones en todas las comunas de estudio tras la entrada en vigencia del Decreto N°12 del 2011 (1 de enero del 2012).

Al comparar las series de tiempo obtenidas, se puede apreciar fácilmente que la comuna que presenta sistemáticamente valores más altos de concentración de material particulado se trata de la comuna de Talcahuano, donde además se registra el *peak* de concentración más alto entre todas las comunas. Sin perjuicio de lo anterior, en la comuna de Chiguayante, previo a la entrada en vigencia del Decreto N°12 del 2011 se registran, en múltiples oportunidades, valores por sobre los 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ,

específicamente durante el año 2010, para luego disminuir considerablemente y mantener valores por debajo de los 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , incluso en los períodos de mayor concentración.

Respecto a valores *peak* de concentración que se escapan de la tendencia estacional de las series de tiempo, se realizó un análisis de estos por separado, identificando el día de ocurrencia y sus posibles causas, además de los valores medidos en cada una de las comunas. Estos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 9. Peaks de concentración MP2,5**

Fecha	Comuna	Concentración ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Posibles causas
01-03-2012	Chiguayante	328,7	Incendios forestales en las comunas de Arauco y Curanilahue, sin embargo esto no explica los niveles de concentraciones alcanzados.
	Concepción	673,9	
	Coronel	11	
	Talcahuano	207,7	
	Tomé	13,46	
30-04-2016	Chiguayante	26,7	No se identifica una causa.
	Concepción	59,4	
	Coronel	84,39	
	Talcahuano	419,5	
	Tomé	85,94	
03-04-2017	Chiguayante	7,18	Incendios forestales en las comunas de Mulchén y Negrete
	Concepción	10,03	
	Coronel	194,53	
	Talcahuano	14,16	
	Tomé	7,46	
14-02-2019	Chiguayante	72	Incendios forestales en Ñuble y Biobío.
	Concepción	120	
	Coronel	81	
	Talcahuano	144	
	Tomé	145	

*La información sobre incendios forestales se obtiene desde SIDCO/CONAF 2021*

## 6.2. Evaluación de los Partos Prematuros en Concepción Metropolitano

El siguiente apartado busca dar respuesta al objetivo específico N°2: “*Estimar incidencia de Partos Prematuros en comunas seleccionadas de Concepción Metropolitano, entre los años 2010 – 2020*” mediante la obtención de las series de tiempo y el valor de la incidencia cruda. A continuación se exponen estos resultados.

### 6.2.1. Incidencia de Partos Prematuros

Al realizar el cálculo de la incidencia para cada una de las comunas en estudio, en el período de tiempo determinado, se obtuvo lo siguiente:

**Tabla 10. Incidencia Cruda Partos Prematuros**

Comuna	Partos Totales	Partos Prematuros	Incidencia	p-valor	Significativo
Concepción	27707	2493	0,0899773	3,73E-17	Sí
Chiguayante	11127	1033	0,0928372	9,71E-11	Sí
Coronel	17286	1424	0,0823788	0,0038	Sí
Talcahuano	20737	1676	0,0808217	0,02	Sí
Tomé	6948	491	0,0706678	0,0661	No
Total Gran Concepción (11 comunas)	268176	20523	0,0765281	–	–

*Fuente: Elaboración propia.*

Se le llama incidencia cruda, ya que no se ajusta por ninguna otra variable como edad o nivel socioeconómico de la madre.

Tal como se observa en la tabla, el riesgo de parto prematuro para Concepción Metropolitano en el período estudiado fue de 7,65 partos prematuros por cada 100 partos totales.

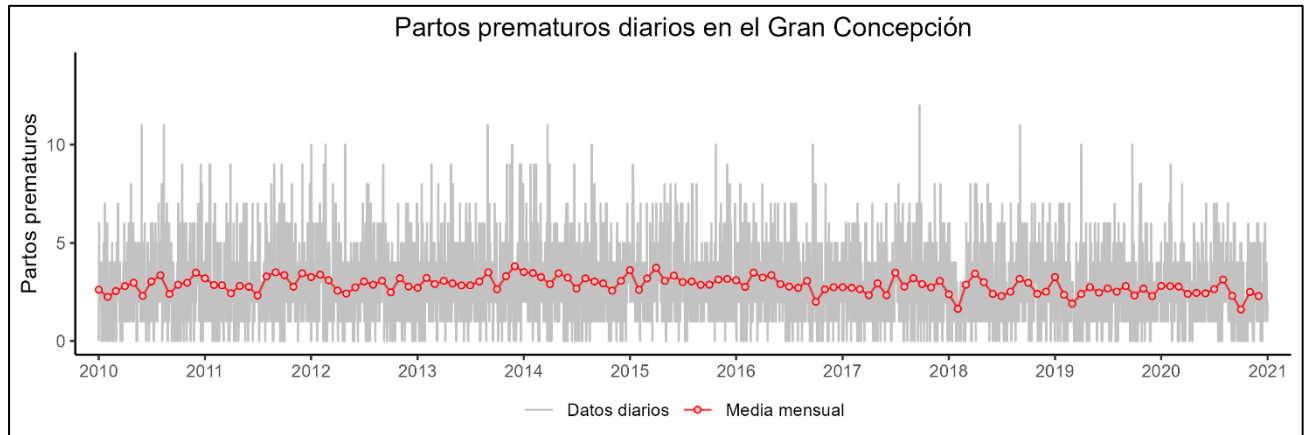
Respecto a las comunas en estudio, el mayor riesgo de ocurrencia de parto prematuro en el periodo observado ocurrió en la comuna de Chiguayante con 9,28%, esto es que ocurren 9,28 partos prematuros por cada 100 partos en esa comuna; en segundo lugar se encuentra la comuna de Concepción con 9,0%.

Al realizar la prueba de proporciones se obtiene que la única diferencia entre valores de incidencia que no resulta significativa, al comparar las comunas con el Gran Concepción, se trata de la comuna de Tomé, esto ya que el valor obtenido de  $p$  es mayor a 0,05. En vista de lo anterior, se define que no existe evidencia estadística para afirmar que la incidencia de Tomé difiere de la incidencia del Gran Concepción.

Dentro de las comunas donde se obtuvieron valores de  $p$  que indican significancia, se realiza el análisis con las comunas en extremos, donde corresponde Chiguayante con la incidencia más alta, y Talcahuano con la más baja. Así, la razón de incidencias entre estas comunas es de 1,15, esto quiere decir que en la comuna de Chiguayante se observa un riesgo de parto prematuro 1,15 veces mayor que en Talcahuano.

### 6.2.2. Serie de tiempo Partos Prematuros

La serie de tiempo obtenida corresponde a las series de tiempo de todas las comunas del Gran Concepción (11) agregadas como sumas diarias de eventos. Esta serie de tiempo total se expone en la siguiente figura:



**Figura 25. Serie de tiempo agregada Partos Prematuros.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos DEIS*

La serie de tiempo se presenta junto con la media mensual, donde cada uno de estos puntos observados corresponde a la cantidad promedio de partos prematuros presentados por día, en el mes correspondiente. Esta información permite observar la tendencia temporal de la variable, la cual nos muestra una tendencia estable, donde la media mensual oscila entre 1,5 y 3,8 partos prematuros diarios.

En vista de lo anterior, no se aprecia una gran variación respecto a la cantidad de partos prematuros diarios ocurridos a lo largo del periodo de estudio en el Gran Concepción. La

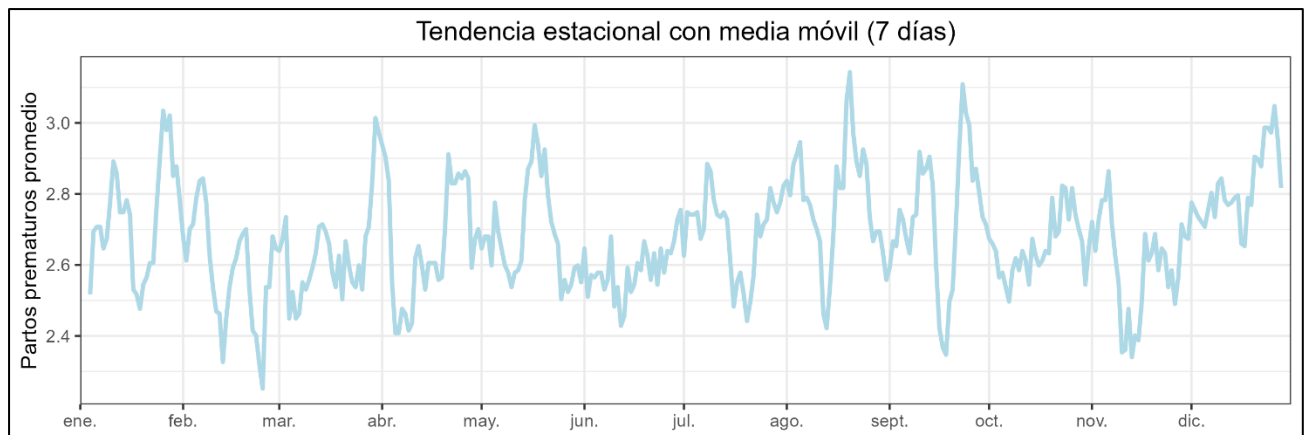
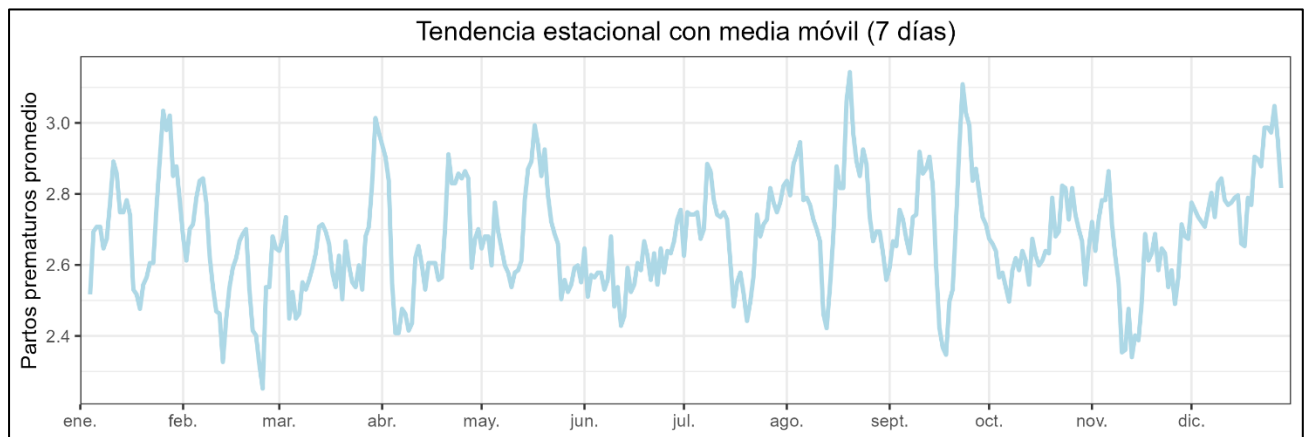


Figura 26 muestra la variación de los partos prematuros diarios promediados a lo largo de todos los años del estudio, donde tampoco se aprecia una estacionalidad en los registros.



**Figura 26. Variación estacional de Partos Prematuros a lo largo de un año.**

*Fuente: Elaboración propia en base a datos DEIS*

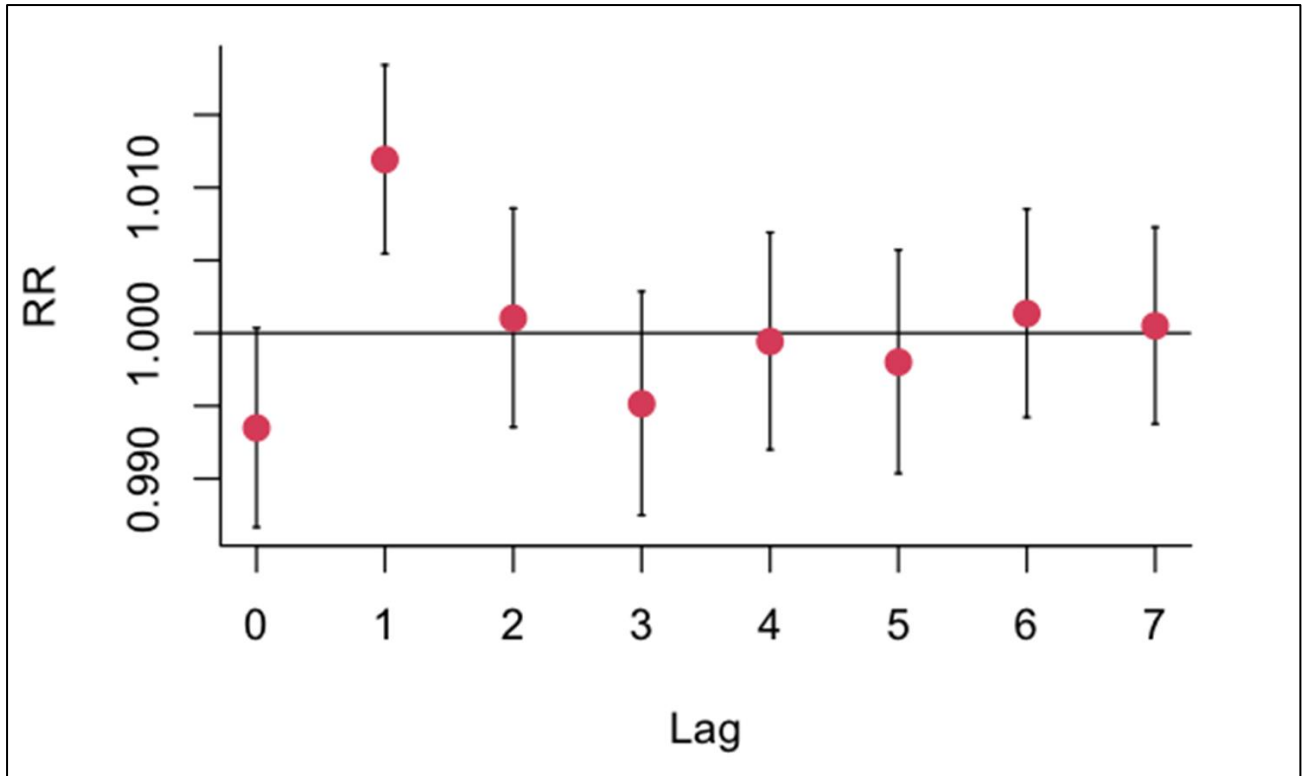
### 6.3. Análisis de asociación

En este apartado, se busca dar cumplimiento al objetivo N°3: “*Determinar si existe una asociación entre Incidencia de Partos Prematuros y Calidad del Aire en Concepción Metropolitano*”. Para esto, se realiza una observación visual de las variables, para luego ingresarlas al programa estadístico R y continuar con la metodología descrita.

El modelo de regresión generalizada es de familia Poisson, con un máximo lag de 7 días para la contaminación, modelado mediante función lineal en la variable y función entera (discreta) en el retardo, usando crossbasis. La temperatura se modeló también usando crossbasis, empleando splines naturales no lineales con 3 grados de libertad para la variable y 2 para el lag, considerando un máximo lag de 7 días. La tendencia temporal a largo plazo se ajustó mediante spline natural con 8 grados de libertad por año. Estas elecciones son respaldadas por la literatura.

#### 6.3.1. Lag–respuesta

El gráfico lag–respuesta permite observar como el riesgo asociado a la exposición cambia según el día de retraso, considerando una exposición en el día 0, es decir, muestra la variación del riesgo de ocurrencia de un parto prematuro en función de los días posteriores a la exposición. Se presenta el gráfico a continuación.



**Figura 27. Gráfico Lag-respuesta por incremento de 10 µg/m.**

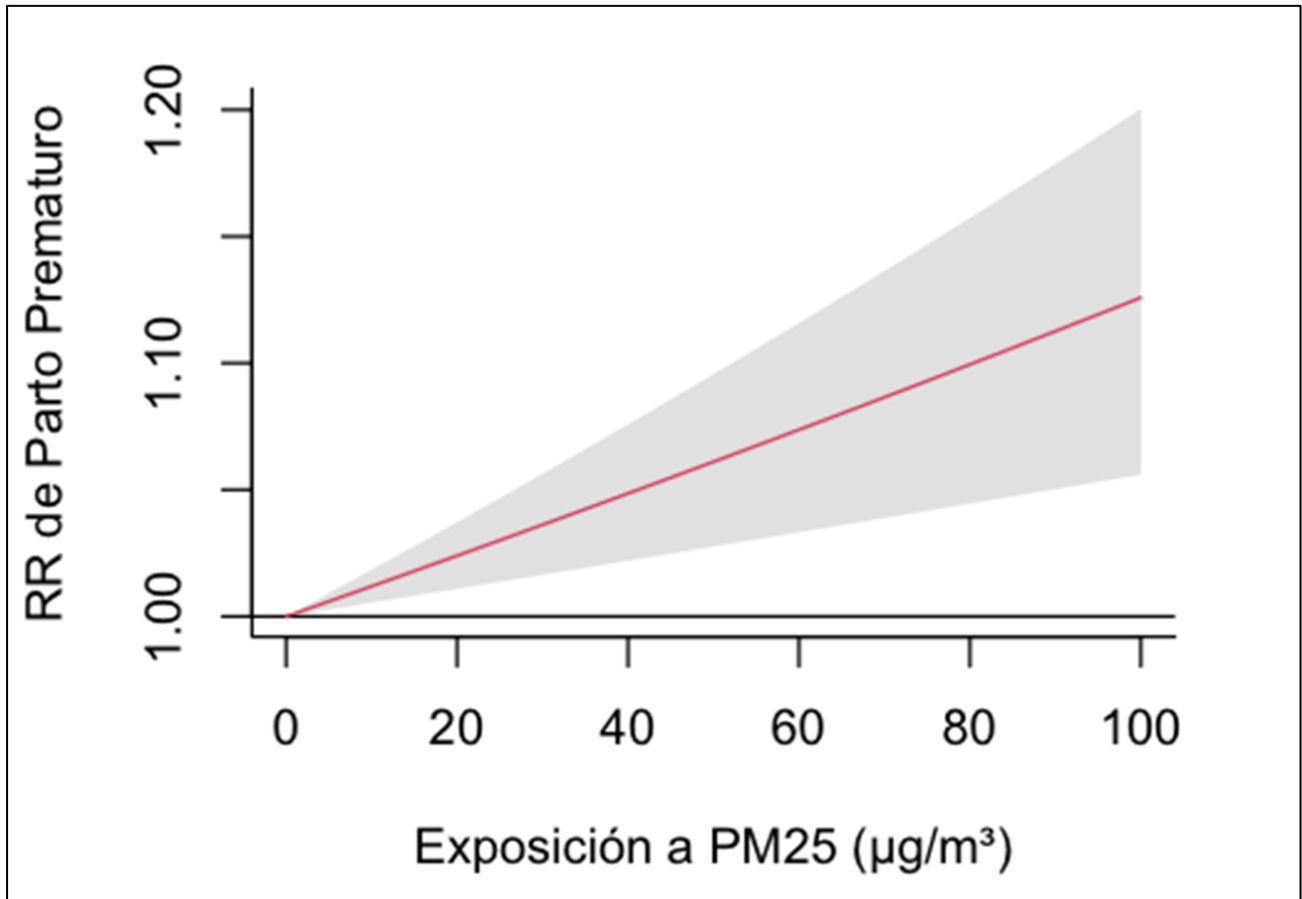
*Fuente: Elaboración propia.*

El gráfico de lag-respuesta presentado en la Figura 27 muestra que un aumento de 10 µg/m<sup>3</sup> en la concentración de MP2,5 se asocia con un incremento en el riesgo relativo (RR) de parto prematuro al día siguiente de la exposición (lag 1), con un RR = 1,011 y un intervalo de confianza del 95% (IC95%: 1,005–1,018), lo que indica significancia estadística.

En los demás lags (0 y 2 a 7), los RR incluyen el valor nulo (RR = 1), lo que sugiere ausencia de asociación estadísticamente significativa en esos días.

### 6.3.2. Dosis–respuesta

El gráfico de dosis–respuesta (o exposición–respuesta) muestra la variación del riesgo relativo (RR) de parto prematuro a distintos niveles de exposición a MP2,5 en el *lag* 1, ya que este presentó un efecto significativo.



**Figura 28. Gráfico Dosis–respuesta para el *lag* 1**

*Fuente: Elaboración propia.*

Este gráfico muestra una relación dosis–respuesta positiva y lineal, esto quiere decir que a medida que aumenta la exposición a MP2,5, también lo hace el riesgo relativo de parto prematuro. A la vez, evidencia que desde valores de exposición a MP2,5 bajos (a partir de 1–2 µg/m³) el intervalo de confianza del 95% del RR ya no incluyen el valor 1, lo que significa que el efecto es estadísticamente significativo, incluso a bajas exposiciones. Esto indica que no hay un umbral seguro por debajo del cual se pueda considerar una concentración de exposición sin efectos perjudiciales para la salud.

## 7. DISCUSIÓN

En el presente estudio de series de tiempo, realizado para el período 2010 – 2020 en las comunas del Gran Concepción, se encontró una asociación entre el riesgo relativo o incidencia de parto prematuro y la concentración de MP2,5. Específicamente se obtuvo que el riesgo relativo estimado para el *lag* 1 es de un 1,10% por cada incremento de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de MP2,5.

Tras la obtención de resultados de las series de tiempo de calidad del aire para las distintas comunas de estudio, se pudo observar que de las cinco comunas la que muestra sistemáticamente valores de MP2,5 más altos es la comuna de Talcahuano. Al respecto, se considera importante mencionar que la estación utilizada para la obtención de datos es la estación Consultorio – San Vicente, la cual se encuentra ubicada en el sector Los Cerros de Talcahuano, lugar que se encuentra a aproximadamente 500m al norte del inicio de la zona industrial de Huachipato, específicamente de una zona que se identifica como terreno de extracción de áridos. De esta forma, es posible argüir que las altas concentraciones de material particulado se deben principalmente al funcionamiento del sector industrial de la comuna, a diferencia de las otras comunas en estudio, donde la mayoría de los *peaks* de concentración y la estacionalidad de los valores llevan a concluir que las concentraciones de MP2,5 se deben en mayor proporción a la combustión de leña para calefacción.

Respecto a valores atípicos o *peaks*, se identificaron cuales suceden en fechas que podrían considerarse fuera de la estacionalidad y se realizó una búsqueda simple de sucesos ocurridos que pudiesen explicar los fenómenos. Los hallazgos determinaron que la mayoría de estos *peaks* se explican por la presencia de incendios forestales, lo cual resulta coherente dado que constituyen una de las principales fuentes naturales de material particulado MP2,5.

Por otro lado, al obtener los resultados de incidencia de partos prematuros para las comunas de estudio, se observan diferencias en la magnitud entre los territorios. En términos generales, la incidencia total del Gran Concepción fue de 7,65 partos prematuros por cada 100 nacimientos durante el período estudiado. Sin embargo, algunas comunas presentan cifras superiores a este valor, lo que sugiere posibles diferencias territoriales en los factores de riesgo asociados a la ocurrencia de partos prematuros.

Específicamente, Chiguayante registró la mayor incidencia (9,28%), seguida de Concepción (8,99%), ambas con diferencias estadísticamente significativas respecto al promedio del Gran Concepción. Esta

significancia estadística respalda que la mayor proporción de partos prematuros observada en estas comunas no se debe al azar, sino que posiblemente está relacionada con características estructurales, sociales, ambientales o de acceso a servicios de salud específicos de estos territorios. En el otro extremo, la comuna de Talcahuano presentó la incidencia más baja (8,0%), entre las que mostraron diferencias significativas, aunque aún por sobre la tasa regional.

En cuanto al análisis de las razones de incidencia calculadas, se obtiene que el riesgo en Chiguayante es 1,15 veces mayor que en Talcahuano (15% de exceso de riesgo en Chiguayante respecto a Talcahuano); 1,03 veces mayor que en Concepción (3% de exceso de riesgo en Chiguayante respecto a Concepción) y 1,12 veces mayor que en Coronel (12% de exceso de riesgo en Chiguayante respecto a Concepción), lo que indica que, aunque las diferencias entre los valores obtenidos puedan parecer pequeñas, tienen una traducción relevante en salud pública, especialmente cuando se consideran volúmenes grandes de nacimientos.

Esta magnitud del efecto, aunque moderada, cobra importancia si se mantiene de forma persistente en el tiempo o si se suma a otras vulnerabilidades territoriales.

Es importante destacar que, con los datos obtenidos no se pudo realizar el análisis de asociación para cada una de las comunas de estudio por separado, no obstante si fue posible realizarlo para Concepción Metropolitana. Lo anterior, principalmente, debido a los pocos conteos de partos prematuros, esto es un problema al estudiar una unidad espacial pequeña, como lo son las comunas. Esta limitación se ha abordado utilizando modelos bayesianos en estudios anteriores para estudios de mortalidad, utilizando información de municipios cercanos para mejorar la estabilidad de las estimaciones (Quijal-Zamorano et al., 2024).

De este análisis se obtuvo que el riesgo relativo estimado para el lag 1 es de un 1,10% por cada incremento de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en la concentración de MP2,5. Si bien este valor puede parecer pequeño, en epidemiología ambiental este tipo de efectos adquiere gran relevancia a nivel poblacional. Esto se debe a que el MP2,5 es un contaminante ampliamente presente en el ambiente urbano, donde prácticamente la totalidad de la población está expuesta de forma crónica a concentraciones que superan las recomendaciones de la OMS. En este contexto, incluso variaciones modestas en el riesgo relativo pueden traducirse en un impacto sustancial en la carga de enfermedad, al afectar simultáneamente a un gran número de personas. Por tanto, la relación observada en este estudio no

solo refuerza la evidencia de que la exposición a MP2,5 está asociada con el parto prematuro, sino que también subraya su importancia como problema de salud pública.

Al comparar los resultados obtenidos en el análisis de asociación realizado en el presente estudio, con los obtenidos en los estudios citados en el marco teórico, se encuentra que los tres estudios coinciden en encontrar una asociación estadísticamente significativa entre la exposición a MP2,5 y el parto prematuro. Sin embargo, estos muestran algunas diferencias, en primera instancia el desfase temporal, ya que el estudio chino (Li et al., 2021b), encuentra un mayor efecto en el *lag* 16, el cual corresponde a la semana 16 de embarazo, por otro lado el estudio iraní (Ranjbaran et al., 2020), determina efectos inmediatos en el *lag* 0 y 1, correspondientes a días, mientras que el presente estudio encuentra efectos significativos solo en el *lag* 1.

Por otro lado, respecto a la magnitud del efecto encontrado, este estudio encuentra un riesgo relativo más alto (RR = 1,011) en comparación a los internacionales (China RR = 1,0075, Irán RR = 1,008) además de considerar un intervalo de confianza más estrecho, lo que sugiere una asociación más robusta. Lo anterior podría indicar una mayor vulnerabilidad de la población estudiada, ya que es más susceptible a los efectos del MP2,5.

Finalmente, los resultados de este estudio se alinean directamente con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 3 (ODS 3): "Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades", específicamente con la meta 3.9: "Para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por productos químicos peligrosos y la contaminación del aire, el agua y el suelo". La asociación encontrada entre la contaminación por MP2,5 y el aumento del riesgo de partos prematuros en el Gran Concepción evidencia cómo la degradación ambiental impacta directamente en la salud materno-infantil, un aspecto crítico para el desarrollo sostenible.

## **8. LIMITACIONES Y SUPUESTOS DEL ESTUDIO**

Los resultados del presente estudio están fuertemente ligados a la calidad y cantidad de datos en todas las bases de datos utilizadas, especialmente del SINCA y el DEIS. Esto, en consideración de que Chile continúa siendo un país muy centralizado, lo que impacta en la calidad de los datos recopilados fuera de la Región Metropolitana.

En vista de lo anterior, es necesario mencionar que, para efectos del estudio, la temperatura media diaria de todas las comunas del Gran Concepción será considerada como la temperatura obtenida en la estación Carriel Sur, nuevamente debido a la falta de estaciones de monitoreo y la calidad de los datos en las existentes.

Por otro lado, los datos sobre recién nacidos se extraen de las bases de datos de egresos hospitalarios del DEIS donde en el caso de los partos se incluyen datos de los recién nacidos, como el estado vital al nacer, peso y semanas gestacionales, así como datos de la madre, entre otros. La calidad del dato de edad gestacional de los RN depende entonces de la calidad de los datos que los establecimientos hospitalarios públicos y privados registren.

## 9. CONCLUSIONES

El análisis de las series de tiempo de MP2,5 en las comunas estudiadas de la región demuestra que la implementación de normativa que regula el material particulado ha resultado efectiva al momento de reducir las concentraciones ambientales del contaminante. Lo anterior se evidencia claramente tras la entrada en vigencia del D.S. N°12/2011, donde fue posible observar una disminución sostenida en los niveles de MP2,5 en todas las comunas estudiadas. Si bien estos resultados permiten plantear una relación entre lo estricto de las normativas y la disminución de las concentraciones de contaminantes, lo que sugiere que una regulación más rigurosa podría generar reducciones adicionales, es importante señalar que, hasta la fecha, ningún estudio ha demostrado si estas reducciones se traducen en beneficios sanitarios concretos o en mejoras en parámetros de salud. Esta brecha de conocimiento abre la oportunidad para futuras investigaciones que evalúen el impacto de las políticas ambientales sobre la salud de la población.

El estudio realizado confirma la existencia de asociación entre la contaminación atmosférica por MP2,5 y un mayor riesgo o incidencia de partos prematuros en el área metropolitana de Concepción. Este riesgo relativo presenta un incremento notable ante exposiciones elevadas o eventos extremos de concentraciones del contaminante. Además, se identificó que el efecto de la contaminación sobre este fenómeno es más crítico en el corto plazo, específicamente al día siguiente de la exposición al contaminante.

Los hallazgos respaldan la hipótesis inicial de que el aumento de los niveles de material particulado 2,5 se relaciona con un mayor riesgo de partos prematuros en la zona de estudio. La evidencia sugiere que, incluso en contextos con normativas ambientales establecidas, la exposición a MP2,5 sigue representando un factor de riesgo relevante para la salud perinatal.

La importancia de este tipo de estudios radica en encontrar los riesgos que producen eventos de contaminación en distintas áreas como social, de infraestructura, energía, economía y salud, como es en este caso, ya que aporta evidencia para la toma de decisiones en salud ambiental y refuerza la necesidad de abordar la contaminación atmosférica como un determinante crítico de la salud pública, a manera de poder gestionar los riesgos y disminuir los impactos asociados

Para futuras investigaciones se propone observar el comportamiento en otras comunas y ciudades de Chile, empleando metodologías estandarizadas que permitan comparaciones directas entre territorios

con diferentes características geográficas, demográficas y de desarrollo industrial, para así poder generar evidencia comparativa que sustente el diseño de políticas de salud ambiental.

## 10. REFERENCIAS

- Aránguez, E., Ordóñez, J. M., Serrano, J., Aragonés, N., Fernández-Patier, R., Gandarillas, A., y Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 123-132. <https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200003>
- Arroyo, V., Linares, C., y Díaz, J. (2019). Premature births in Spain: Measuring the impact of air pollution using time series analyses. *The Science Of The Total Environment*, 660, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.470>
- Ashorn, P., Ashorn, P., Muthiani, Y., Aboubaker, S., Askari, S., Bahl, R., Black, R. E., Dalmiya, N., Duggan, C., Hofmeyr, G. J., Kennedy, S., Klein, N., Lawn, J. E., Shiffman, J., Simon, J., Temmerman, M., Okwaraji, Y. B., Krusevec, J., Bradley, E., ... Hayashi, C. (2023). Small vulnerable newborns—big potential for impact. *Lancet*, 401(10389), 1692-1706. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(23\)00354-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(23)00354-9)
- Ballester Díez, F., Tenías, J. M., y Pérez-Hoyos, S. (1999). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: una introducción. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2), 109-121. <https://doi.org/10.1590/s1135-57271999000200002>
- Barra, L., y Coó, S. (2023). Desarrollo, antecedentes biológicos y características sociodemográficas en preescolares con y sin antecedentes de prematuridad *Andes Pediatría*, 94(3), 286. <https://doi.org/10.32641/andespediatr.v94i3.4468>
- Carvajal, J., y García, K. (2025). Manual obstetricia y ginecología. Decimosexta edición. ISBN 978-956-420-490-1.
- Chu, C., Zhu, Y., Liu, C., Chen, R., Yan, Y., Ren, Y., Li, X., Wang, J., Ge, W., Kan, H., & Gui, Y. (2021). Ambient fine particulate matter air pollution and the risk of preterm birth: A multicenter birth cohort study in China. *Environmental Pollution*, 287, 117629. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117629>
- Cocchi, E.; Bellisario, V.; Cresi, F.; Plazzotta, C.; Cassardo, C.; Siniscalco, C.; Peruzzi, L. y Bono, R. Air Pollution and Aeroallergens as Possible Triggers in Preterm Birth Delivery. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 20(2), 1610. <https://doi.org/10.3390/ijerph20021610>

- Conceptos de calidad del aire – PPDA. (s. f.). <https://ppda.mma.gob.cl/conceptos-de-calidad-del-aire/>
- Donoso S, E. (2013). Salud materna, perinatal e infantil: Chile 2000-2010. *Revista chilena de obstetricia y ginecología*, 78(1), 1-3. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75262013000100001>
- Gasparri, A. (2021). The case Time Series design. *Epidemiology*, 32(6), 829-837. <https://doi.org/10.1097/ede.0000000000001410>
- Genin, M., Lecoeuvre, A., Cuny, D., Subtil, D., Chevalier, G., Ficheur, G., Occelli, F., y Garabedian, C. (2022). The association between the incidence of preterm birth and overall air pollution: A nationwide, fine-scale, spatial study in France from 2012 to 2018. *Environmental Pollution*, 311, 120013. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120013>
- Goldenberg, R. L., Culhane, J. F., Iams, J. D., y Romero, R. (2008). Epidemiology and causes of preterm birth. *The Lancet*, 371(9606), 75-84. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(08\)60074-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(08)60074-4)
- Gouveia, N., Kephart, J. L., Dronova, I., McClure, L., Granados, J. T., Betancourt, R. M., O’Ryan, A. C., Texcalac-Sangrador, J. L., Martinez-Folgar, K., Rodriguez, D., y Diez-Roux, A. V. (2021). Ambient fine particulate matter in Latin American cities: Levels, population exposure, and associated urban factors. *The Science Of The Total Environment*, 772, 145035. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145035>
- Hartinger, S. M., Palmeiro-Silva, Y. K., Llerena-Cayo, C., Blanco-Villafuerte, L., Escobar, L. E., Diaz, A., Sarmiento, J. H., Lescano, A. G., Melo, O., Rojas-Rueda, D., Takahashi, B., Callaghan, M., Chesini, F., Dasgupta, S., Posse, C. G., Gouveia, N., De Carvalho, A. M., Miranda-Chacón, Z., Mohajeri, N., ... Romanello, M. (2024). The 2023 Latin America report of the Lancet Countdown on health and climate change: the imperative for health-centred climate-resilient development. *The Lancet Regional Health - Americas*, 33, 100746. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100746>
- Hartinger, S. M., Yglesias-González, M., Blanco-Villafuerte, L., Palmeiro-Silva, Y. K., Lescano, A. G., Stewart-Ibarra, A., Rojas-Rueda, D., Melo, O., Takahashi, B., Buss, D., Callaghan, M., Chesini, F., Flores, E. C., Posse, C. G., Gouveia, N., Jankin, S., Miranda-Chacon, Z., Mohajeri, N., Helo, J., ... Romanello, M. (2023). The 2022 South America report of The Lancet Countdown on health and climate change: trust the science. Now that we know, we must act. *The Lancet Regional Health - Americas*, 20, 100470. <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100470>

- Hernández, V. (2017). Estudios epidemiológicos: tipos, diseño e interpretación. *Enfermedad Inflamatoria Intestinal Al Día*, 16(3), 98-105. <https://doi.org/10.1016/j.eii.2017.03.001>
- Holst, G. J., Pedersen, C. B., Thygesen, M., Brandt, J., Geels, C., Bønløkke, J. H., y Sigsgaard, T. (2020). Air pollution and family related determinants of asthma onset and persistent wheezing in children: nationwide case-control study. *BMJ*, 370, m2791. <https://doi.org/10.1136/bmj.m2791>
- Huneus, N., Urquiza A., Gayó, E., Osses, M., Arriagada, R., Valdés, M., Álamos, N., Amigo, C., Arrieta, D., Basoa, K., Billi, M., Blanco, G., Boisier, J.P., Calvo, R., Casielles, I., Castro, M., Chahuán, J., Christie, D., Cordero, L., Correa, V., Cortés, J., Fleming, Z., Gajardo, N., Gallardo, L., Gómez, L., Insunza, X., Iriarte, P., Labraña, J., Lambert, F., Muñoz, A., Opazo, M., O’Ryan, R., Osses, A., Plass, M., Rivas, M., Salinas, S., Santander, S., Seguel, R., Smith, P., Tolvett, S (2020). El aire que respiramos: pasado, presente y futuro – Contaminación atmosférica por MP2,5 en el centro y sur de Chile. *Zenodo (CERN European Organization For Nuclear Research)*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4498767>
- Informe Fundado para la Recomendación de Constitución del Área Metropolitana del “Gran Concepción” (2023). Secretaría Ejecutiva Comité Interministerial de Descentralización.
- Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME) (2024). Global Burden of Disease 2021: Findings from the GBD 2021 Study. *Institute for health metrics and evaluation*.
- Jacobs, E. T., Burgess, J. L., y Abbott, M. B. (2018). The Donora Smog Revisited: 70 Years After the Event That Inspired the Clean Air Act. *American Journal Of Public Health*, 108(S2), S85-S88. <https://doi.org/10.2105/ajph.2017.304219>
- Kaur, K., Lesseur, C., Deyssenroth, M. A., Kloog, I., Schwartz, J. D., Marsit, C. J., y Chen, J. (2022). PM2.5 exposure during pregnancy is associated with altered placental expression of lipid metabolic genes in a US birth cohort. *Environmental Research*, 211, 113066. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113066>
- Lanzi, E., Dellink, R., y Chateau, J. (2018). The sectoral and regional economic consequences of outdoor air pollution to 2060. *Energy Economics*, 71, 89-113. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2018.01.014>

- Ley N° 19.300 art. 2, sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Diario Oficial de la República de Chile (1994).
- Li, S., Peng, L., Wu, X., Xu, G., Cheng, P., Hao, J., Huang, Z., Xu, M., Chen, S., Zhang, C., y Hao, J. (2021). Long-term impact of ambient air pollution on preterm birth in Xuzhou, China: a time series study. *Environmental Science And Pollution Research*, 28(30), 41039-41050. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13621-2>
- Liang, Y., Li, M., Lyu, Q., Li, P., Lyu, Y., Yu, Y., y Peng, W. (2024). The relationship between maternal exposure to ambient air pollutants and premature rupture of membranes: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Pollution*, 347, 123611. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123611>
- Liu, L., Oza, S., Hogan, D., Perin, J., Rudan, I., Lawn, J., Cousens, S., Mathers, C. & Black, R (2015) Global, regional, and national causes of child mortality in 2000–13, with projections to inform post-2015 priorities: an updated systematic analysis. *The Lancet*, 385(9966), 430–440. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)61698-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(14)61698-6)
- López Orellana, P. (2015). Increase in Preterm Birth during Demographic Transition in Chile from 1991 to 2012. *BioMed Research International*, 2015, 1-4. <https://doi.org/10.1155/2015/845968>
- Malley, C. S., Kuylenstierna, J. C., Vallack, H. W., Henze, D. K., Blencowe, H., y Ashmore, M. R. (2017). Preterm birth associated with maternal fine particulate matter exposure: A global, regional and national assessment. *Environment International*, 101, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.01.023>
- Matos-Alviso LJ, Reyes-Hernández KL, López-Navarrete GE, Reyes-Hernández, M. U., Aguilar-Figueroa, E. S., Pérez-Pacheco, O., ... y Quero-Estrada, A. (2021). La prematuridad: epidemiología, causas y consecuencias, primer lugar de mortalidad y discapacidad. *Salud Jalisco*, 7(3), 179-186.
- Mendoza, L., Claros, D., Mendoza, L., Arias, M., y Peñaranda, C. (2016). Epidemiología de la prematuridad, sus determinantes y prevención del parto prematuro. *Revista chilena de obstetricia y ginecología*, 81(4), 330-342. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75262016000400012>

- Ming, X., He, Z., Li, Y., Hu, Y., Yang, Y., Chen, H., Chen, Q., Yang, H., y Zhou, W. (2023). The short-term effects of air pollution exposure on preterm births in Chongqing, China: 2015–2020. *Environmental Science And Pollution Research*, 30(18), 51679-51691. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25624-2>
- Ministerio de Medio Ambiente (2020). Sistema Nacional de Información Ambiental. Informe del Estado del Medio Ambiente. Obtenido de <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/informe-del-estado-del-medio-ambiente-2020/>
- Ministerio de Medio Ambiente (2022). Sistema Nacional de Información Ambiental. Reporte del Estado del Medio Ambiente. Obtenido de <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/reporte-del-estado-del-medio-ambiente-2022/>
- Ministerio de Medio Ambiente (30 de junio de 2023). Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire. Obtenido de <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/>
- Ministerio de Medio Ambiente (7 de diciembre de 2022). La contaminación del aire y su relación con el cambio climático. Obtenido de <https://mma.gob.cl/la-contaminacion-del-aire-y-su-relacion-con-el-cambio-climatico/>
- Ministerio de Salud (2015). Subsecretaría de Salud Pública. Guía perinatal. Obtenido de [https://www.minsal.cl/sites/default/files/files/GUIA%20PERINATAL\\_2015\\_%20PARA%20PUBLICAR.pdf](https://www.minsal.cl/sites/default/files/files/GUIA%20PERINATAL_2015_%20PARA%20PUBLICAR.pdf)
- Morales, R., Garreaud, R., Rutllant, J., Merino, M., Gallardo, L., Leiva, M., Morales, L., Pérez, P., Gutierrez, L., Jorquera, H., Pérez, J., Palma, W., y Oyarzún, M. (2006). *Contaminación atmosférica urbana: episodios críticos de contaminación ambiental en la ciudad de Santiago* (1ª. ed.). Universidad de Chile, Centro de Química Ambiental.
- Moreno-Altamirano, A., López-Moreno, S., & Corcho-Berdugo, A. (2000). Principales medidas en epidemiología. *Salud Pública de México*, 42(4), 337-348. <https://doi.org/10.1590/s0036-36342000000400009>
- Murray, C. J. L., Aravkin, A. Y., Zheng, P., Abbafati, C., Abbas, K. M., Abbasi-Kangevari, M., Abd-Allah, F., Abdelalim, A., Abdollahi, M., Abdollahpour, I., Abegaz, K. H., Abolhassani, H., Aboyans, V., Abreu, L. G., Abrigo, M. R. M., Abualhasan, A., Abu-Raddad, L. J., Abushouk, A. I., Adabi, M., ... Lim, S. S. (2020). Global burden of 87 risk factors in 204 countries and

- territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*, 396(10258), 1223-1249. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(20\)30752-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(20)30752-2)
- Nyadanu, S. D., Dunne, J., Tessema, G. A., Mullins, B., Kumi-Boateng, B., Bell, M. L., Duko, B., & Pereira, G. (2022). Prenatal exposure to ambient air pollution and adverse birth outcomes: An umbrella review of 36 systematic reviews and meta-analyses. *Environmental Pollution*, 306, 119465. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.119465>
- Organización Mundial de la Salud. (2006). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre: actualización mundial 2005*. <https://iris.who.int/handle/10665/69478>
- Organización Panamericana de la Salud. (29 de mayo de 2023). Calidad de Aire. Obtenido de <https://www.paho.org/es/temas/calidad-aire>
- Polivka, B. J. (2018b). The Great London Smog of 1952. *AJN American Journal Of Nursing*, 118(4), 57-61. <https://doi.org/10.1097/01.naj.0000532078.72372.c3>
- Quijal-Zamorano, M., Martínez-Beneito, M. A., Ballester, J., & Marí-Dell'Olmo, M. (2024). Spatial Bayesian distributed lag non-linear models (SB-DLNM) for small-area exposure-lag-response epidemiological modelling. *International Journal Of Epidemiology*, 53(3). <https://doi.org/10.1093/ije/dyae061>
- Ranjbaran, M., Mohammadi, R., Yaseri, M., Kamari, M., & Yazdani, K. (2020). Ambient temperature and air pollution, and the risk of preterm birth in Tehran, Iran: a time series study. *The Journal of Maternal-Fetal & Neonatal Medicine*, 35(4), 726–737. <https://doi.org/10.1080/14767058.2020.1731458>
- Reddy, U. M., Ko, C. W., Raju, T. N., & Willinger, M. (2009). Delivery indications at late-preterm gestations and infant mortality rates in the United States. *Pediatrics*, 124(1), 234–240. <https://doi.org/10.1542/peds.2008-3232>
- Tascón, L. A. M., Benítez, D. I. C., Tascón, L. I. M., Guatibonza, M. D. A., & Ospina, C. B. P. (2016). Epidemiología de la prematuridad, sus determinantes y prevención del parto prematuro. *Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología*, 81(4), 330-342. <https://doi.org/10.4067/s0717-75262016000400012>

- Tondreau, N. (2019, 13 octubre). Nicole Tondreau. CR2. Recuperado 9 de agosto de 2025, de <https://www.cr2.cl/por-que-debemos-preocuparnos-del-carbono-negro-u-hollin/>
- Toro-Huerta, C., Vidal, C., & Araya-Castillo, L. (2023). Temporal trends and factors associated with preterm birth in Chile, 1992-2018. *Salud Colectiva*, 19, e4203. <https://doi.org/10.18294/sc.2023.4203>
- Turner, M. C., Krewski, D., Pope, C. A., Chen, Y., Gapstur, S. M., y Thun, M. J. (2011). Long-term Ambient Fine Particulate Matter Air Pollution and Lung Cancer in a Large Cohort of Never-Smokers. *American Journal Of Respiratory And Critical Care Medicine*, 184(12), 1374-1381. <https://doi.org/10.1164/rccm.201106-1011oc>
- Universidad de CAECE (2023). RPubS. Taller de Lenguajes 1. Obtenido de [https://rpubs.com/andres\\_garcia\\_ao/527355](https://rpubs.com/andres_garcia_ao/527355)
- Uruguay. Ministerio de Salud y Organización Panamericana de la Salud. (2019). *Manual de recomendaciones en el embarazo y parto prematuro*. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/53940>
- WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021.
- World Health Organization. (29 de mayo de 2023). Health Topics: Air Pollution. Obtenido de [https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1)
- World Health Organization: WHO. (2022, 19 diciembre). Contaminación del aire ambiente (exterior). [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- World Health Organization: WHO. (2024, 14 marzo). Mortalidad neonatal. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/newborn-mortality>
- Zhou, G., Wu, J., Yang, M., Sun, P., Gong, Y., Chai, J., Zhang, J., Afrim, F., Dong, W., Sun, R., Wang, Y., Li, Q., Zhou, D., Yu, F., Yan, X., Zhang, Y., Jiang, L., y Ba, Y. (2021). Prenatal exposure to air pollution and the risk of preterm birth in rural population of Henan Province. *Chemosphere*, 286, 131833. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131833>

## 11. ANEXOS

### 11.1. Glosario

1. **Esperanza de Vida:** número promedio de años que una persona puede esperar vivir desde su nacimiento.

*Fuente: Indicadores OMS <https://data.who.int/es/indicators>*

2. **Carga de Enfermedad:** impacto total de una enfermedad o un conjunto de enfermedades en una población, considerando tanto la mortalidad como la morbilidad, y se mide comúnmente en años de vida ajustados por discapacidad (AVAD o DALY por sus siglas en Inglés), es decir los años de vida perdidos por una muerte prematura y los años vividos con una discapacidad de gravedad. Así un AVAD es un año perdido de vida saludable.

*Fuente: Epidemiología León Gordis, 5ª Edición, 2014, pag 82-84*

3. **Perdida de años de Vida Productiva o Años Potenciales de Vida Perdidos (APVP):** indicador de mortalidad que traduce muerte prematura o precoz. Corresponde a los años perdidos desde la muerte de un individuo hasta la esperanza de vida en su país. En Chile se estima hasta los 80 años.

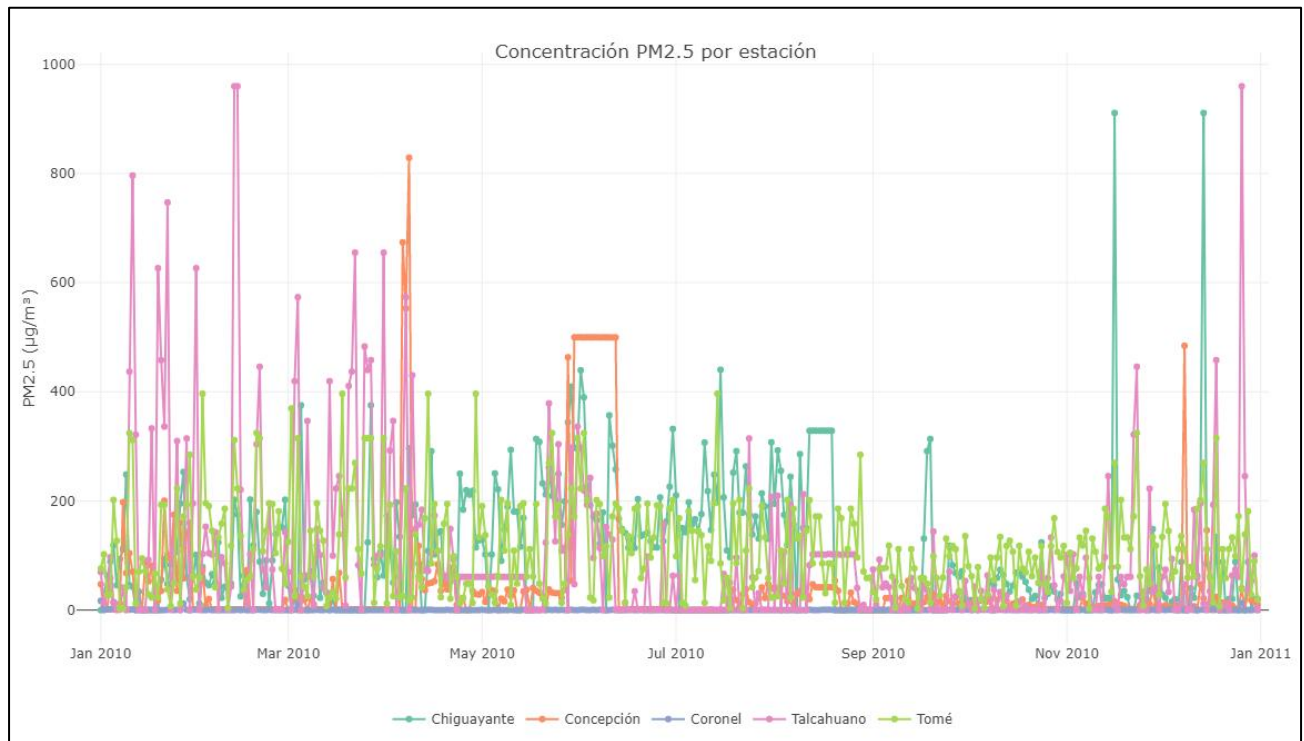
*Fuente: Epidemiología León Gordis, 5ª Edición, 2014, paginas 68-70*

4. **Incidencia:** Medida de morbilidad o enfermedad. Se define como el número de casos nuevos de una enfermedad que se producen en un periodo de tiempo específico en una población expuesta a desarrollar la enfermedad.

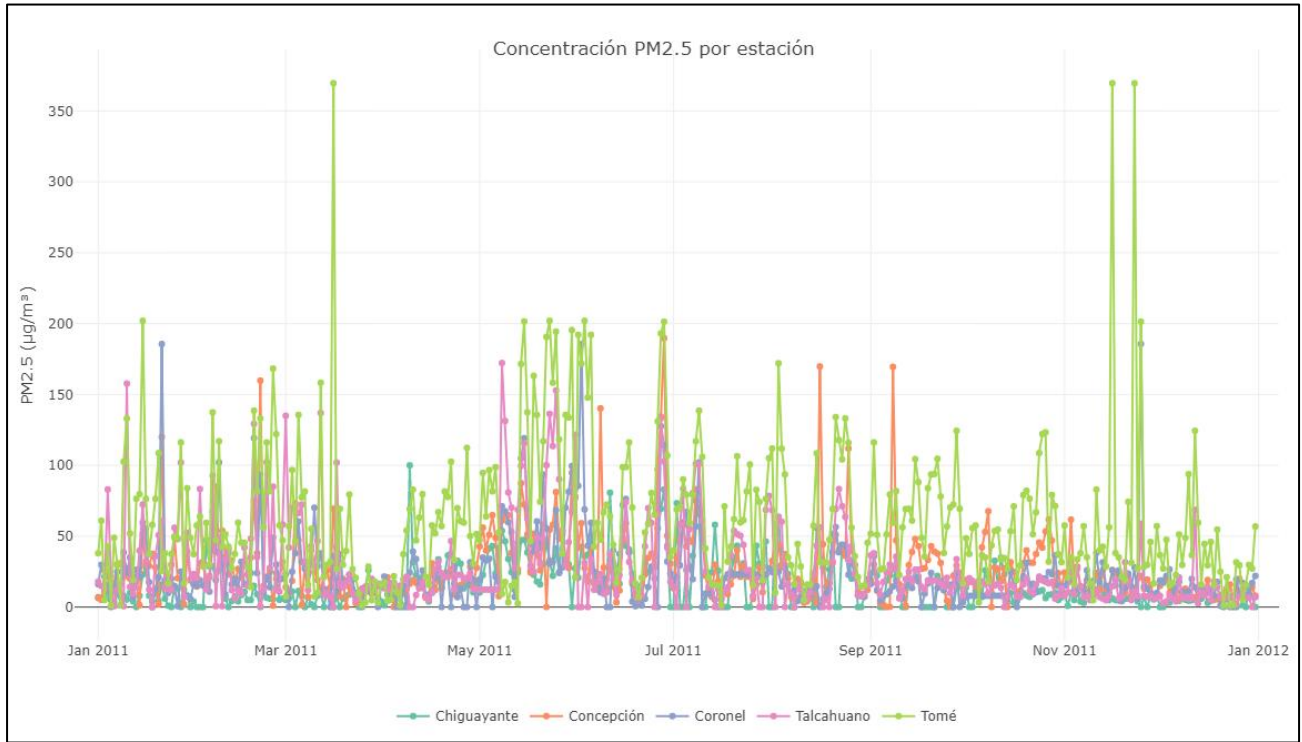
*Fuente: Epidemiología León Gordis, 5ª Edición, 2014, página 41.*

## 11.2. Series de tiempo MP2,5 por año de estudio

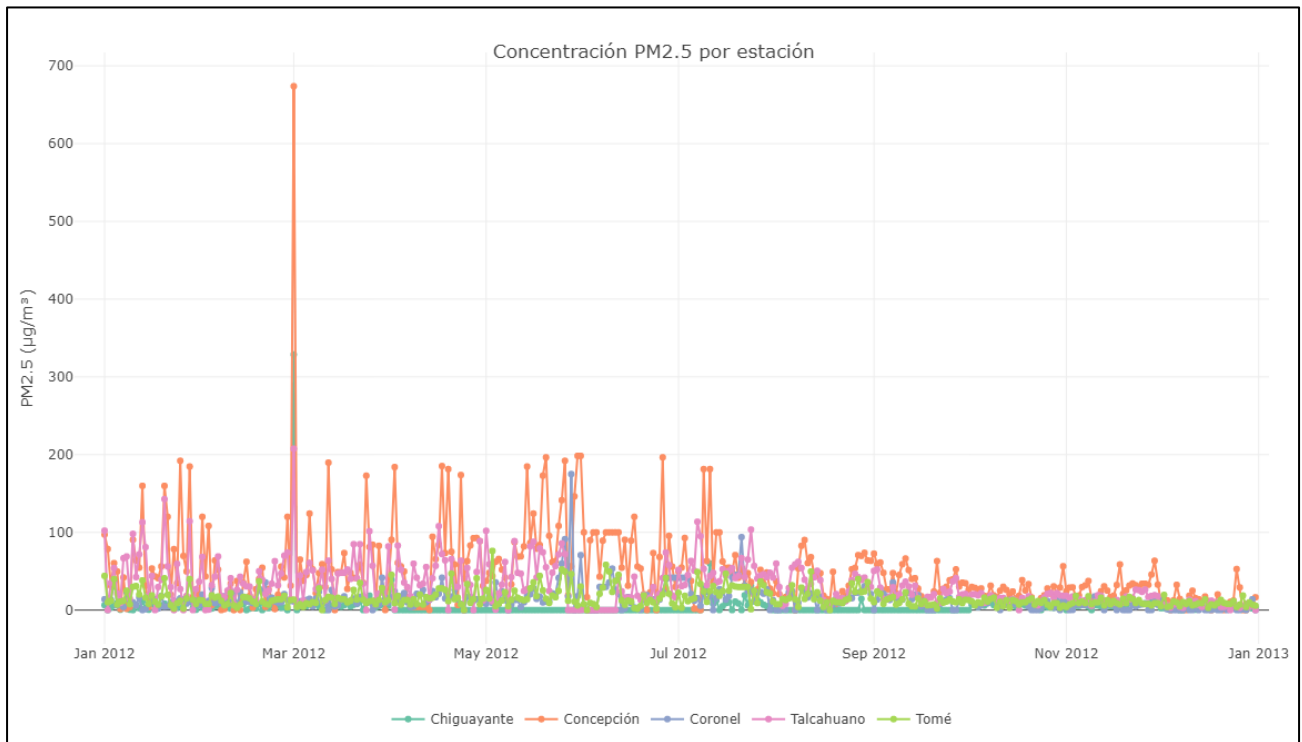
- Año 2010



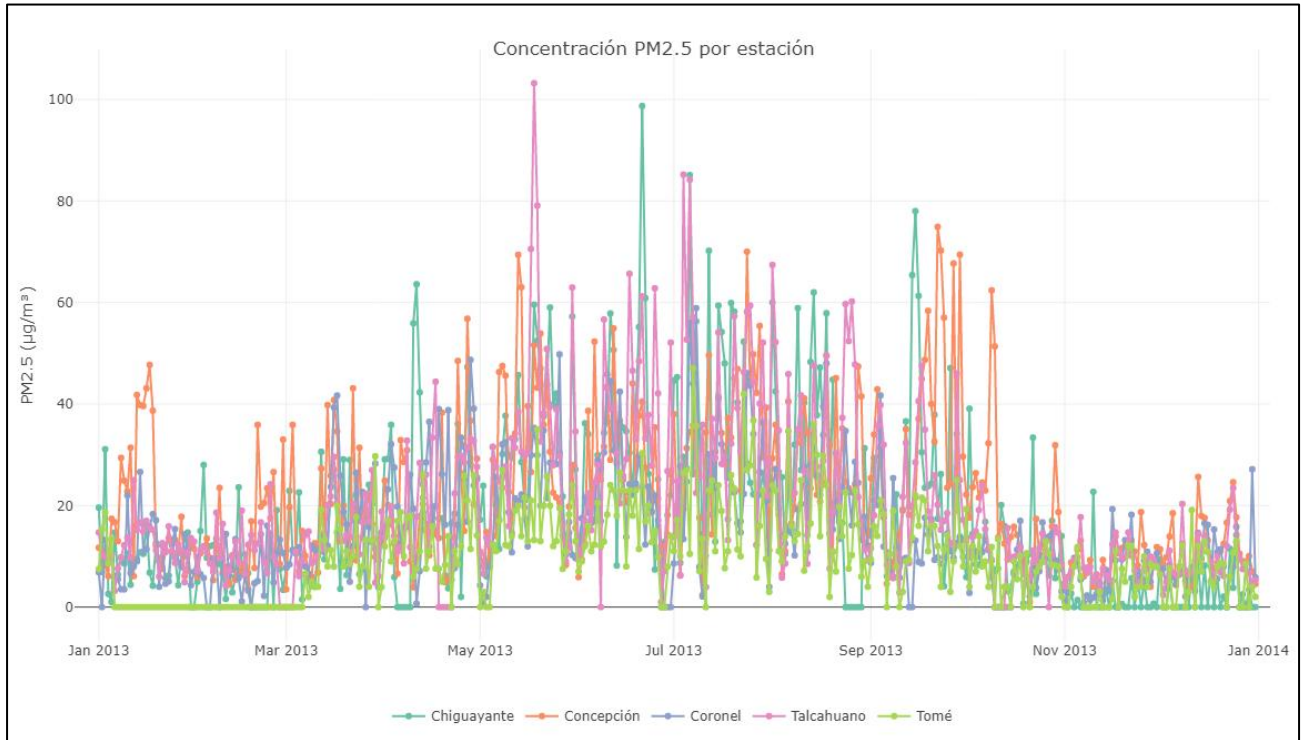
- **Año 2011**



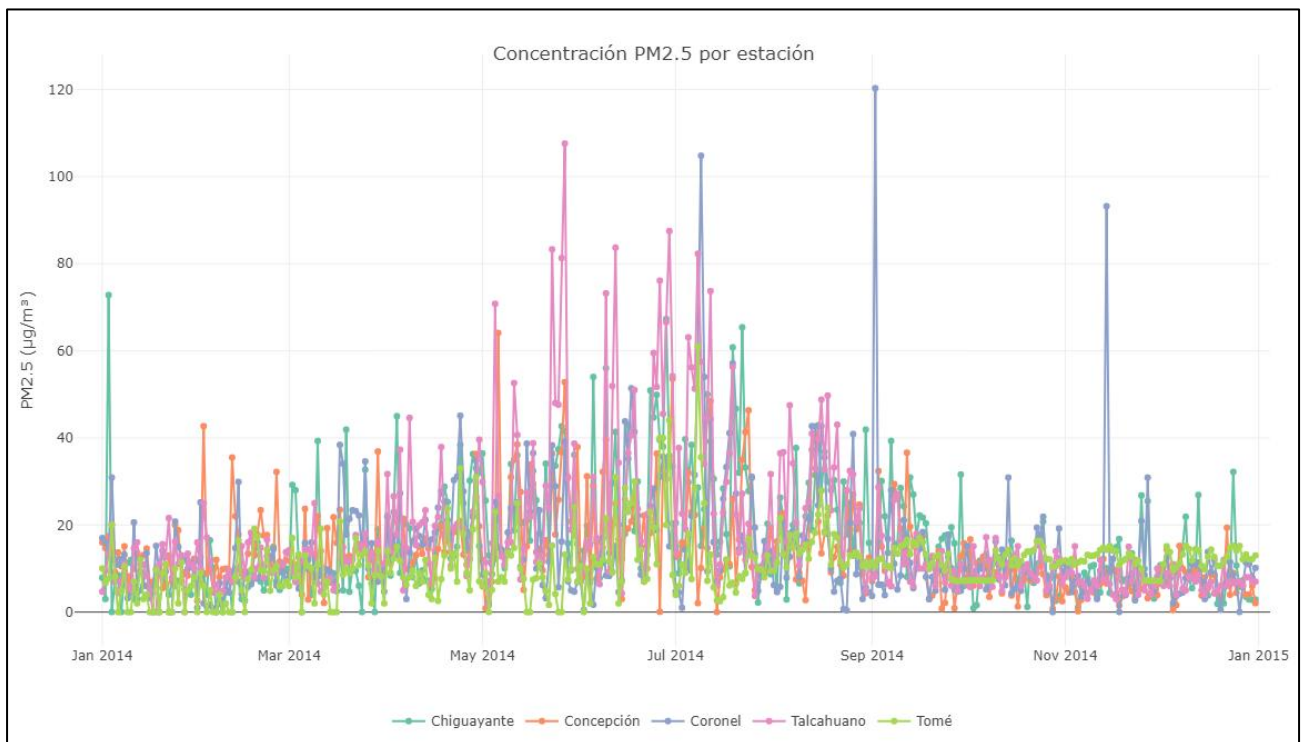
- **Año 2012**



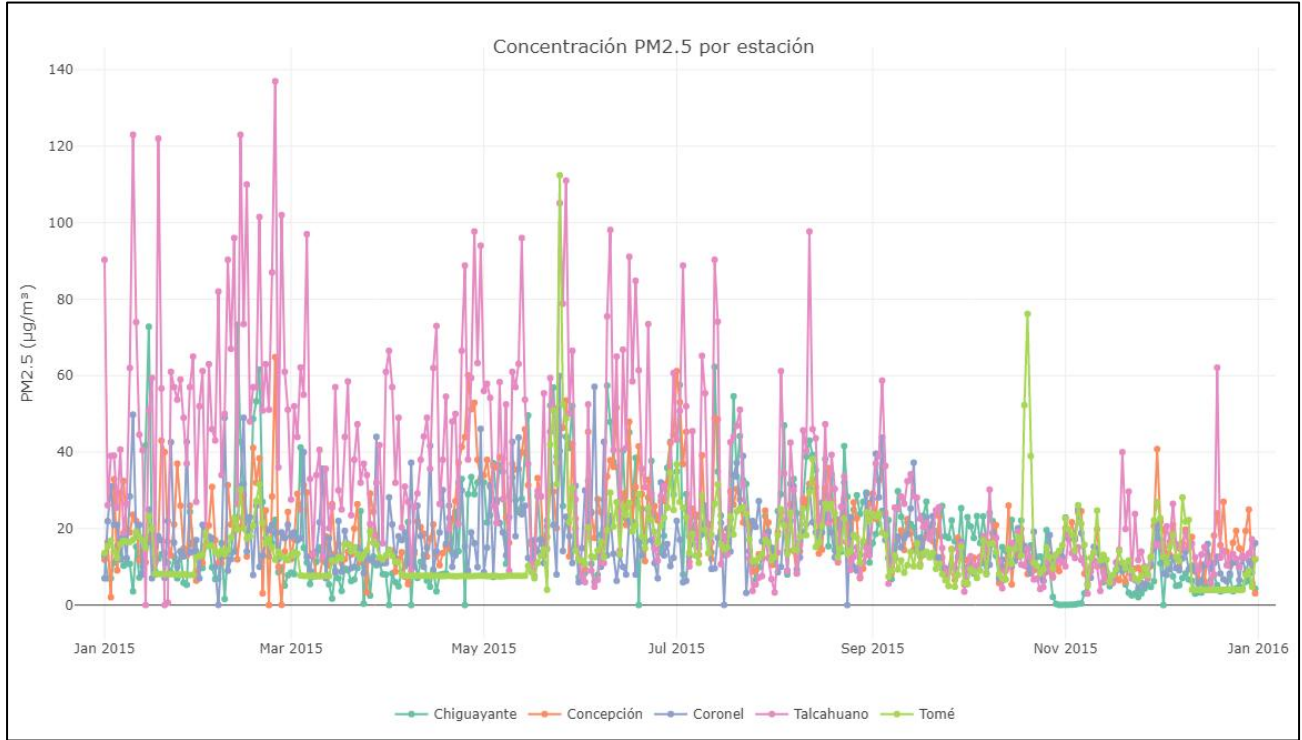
- **Año 2013**



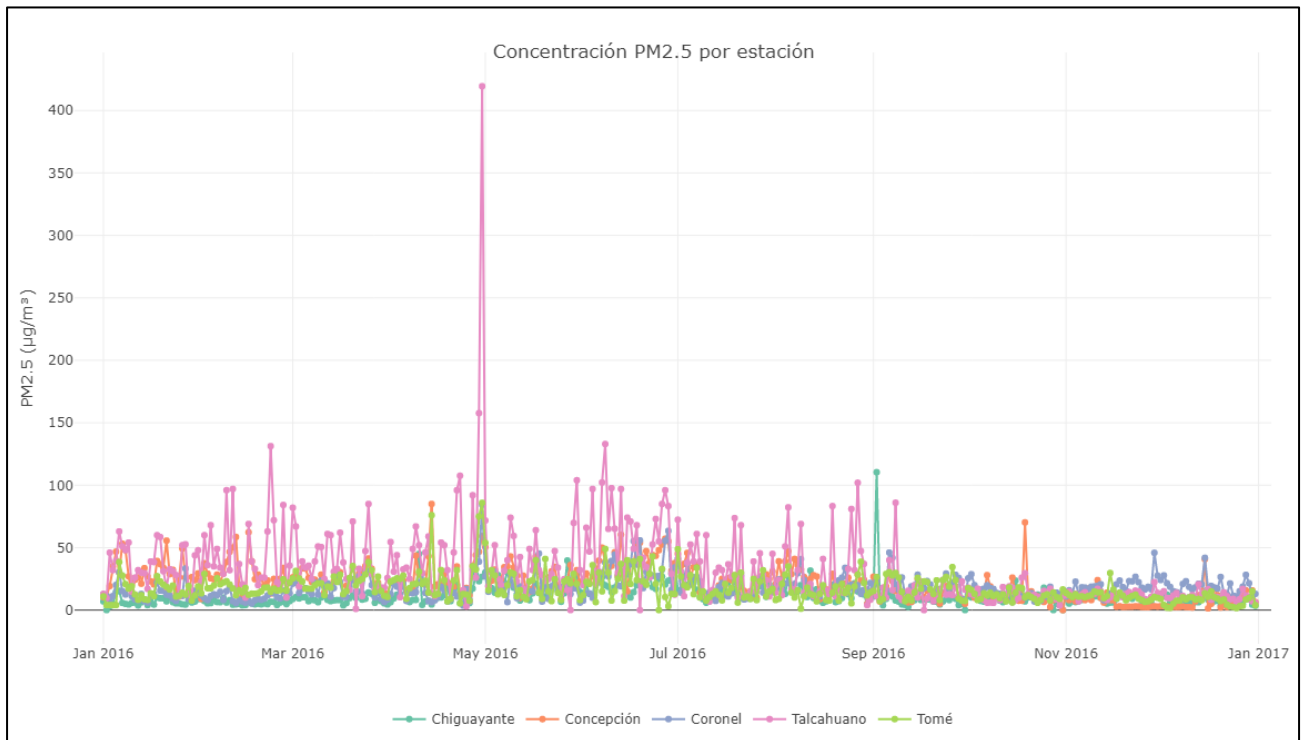
- **Año 2014**



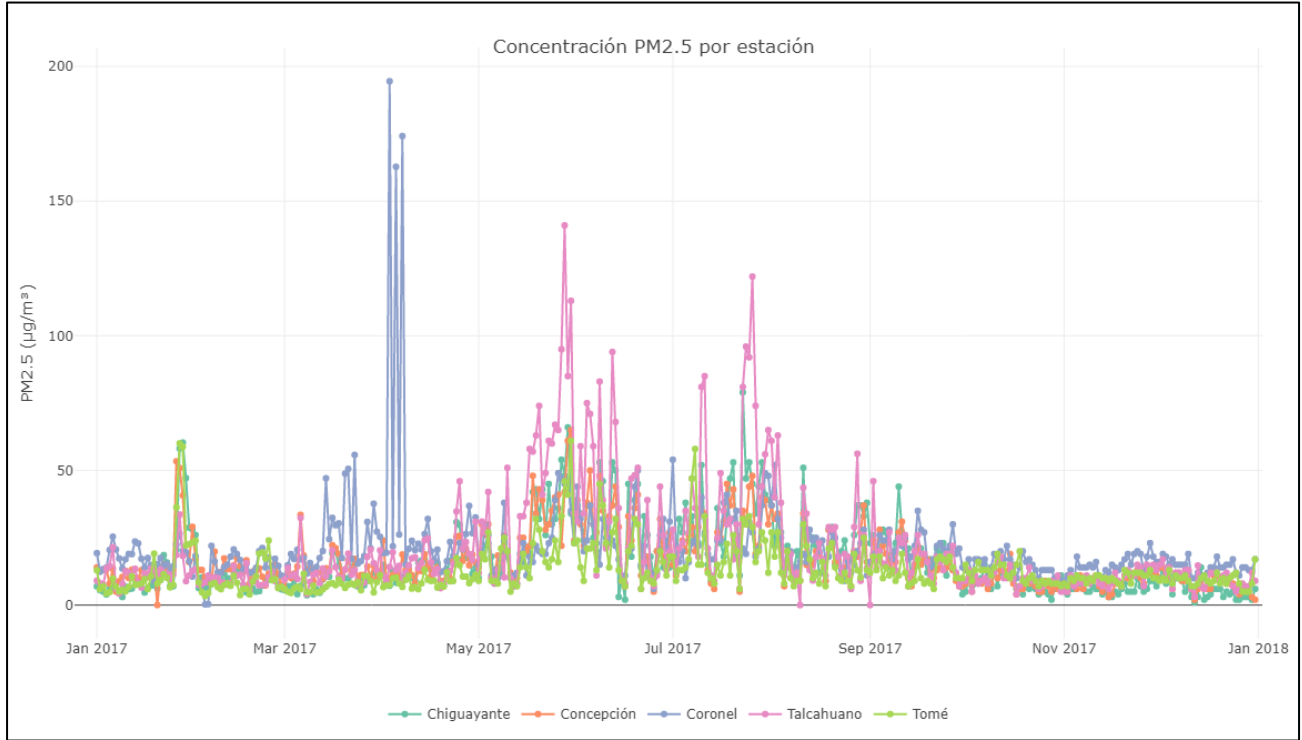
- **Año 2015**



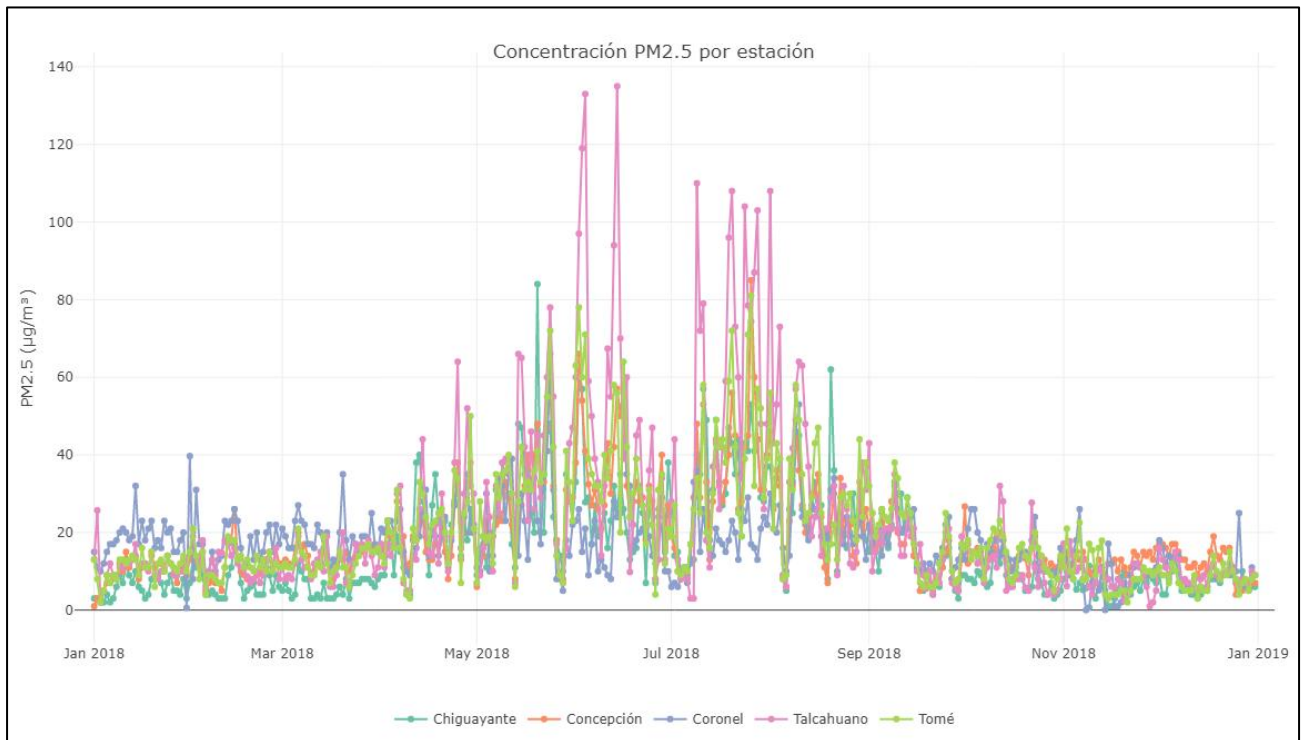
- **Año 2016**



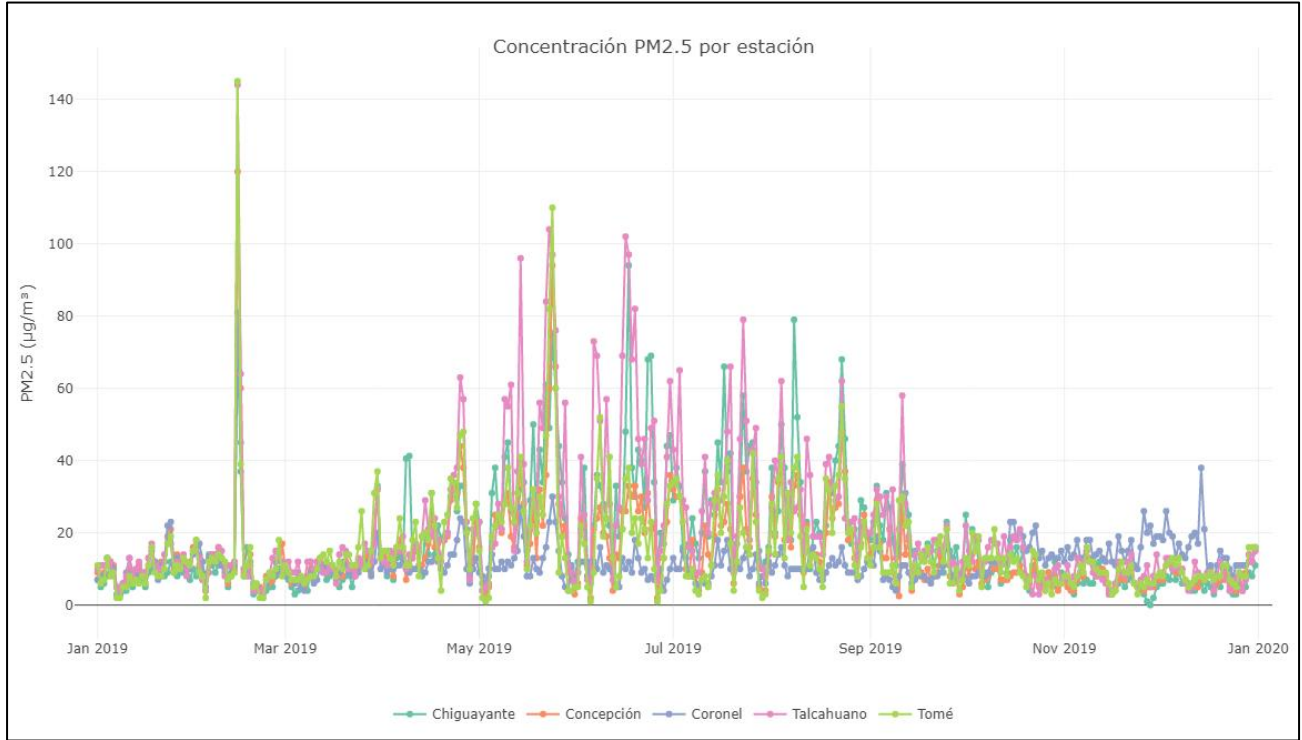
- **Año 2017**



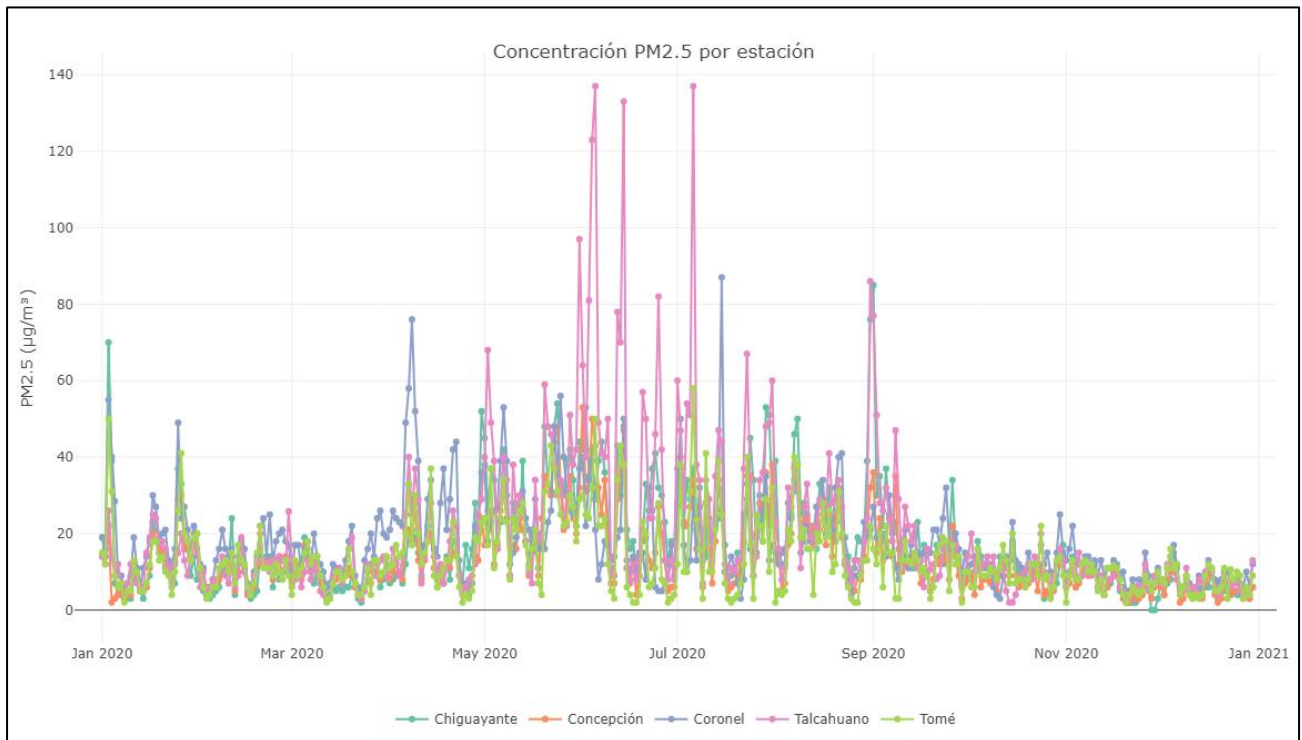
- **Año 2018**



- **Año 2019**

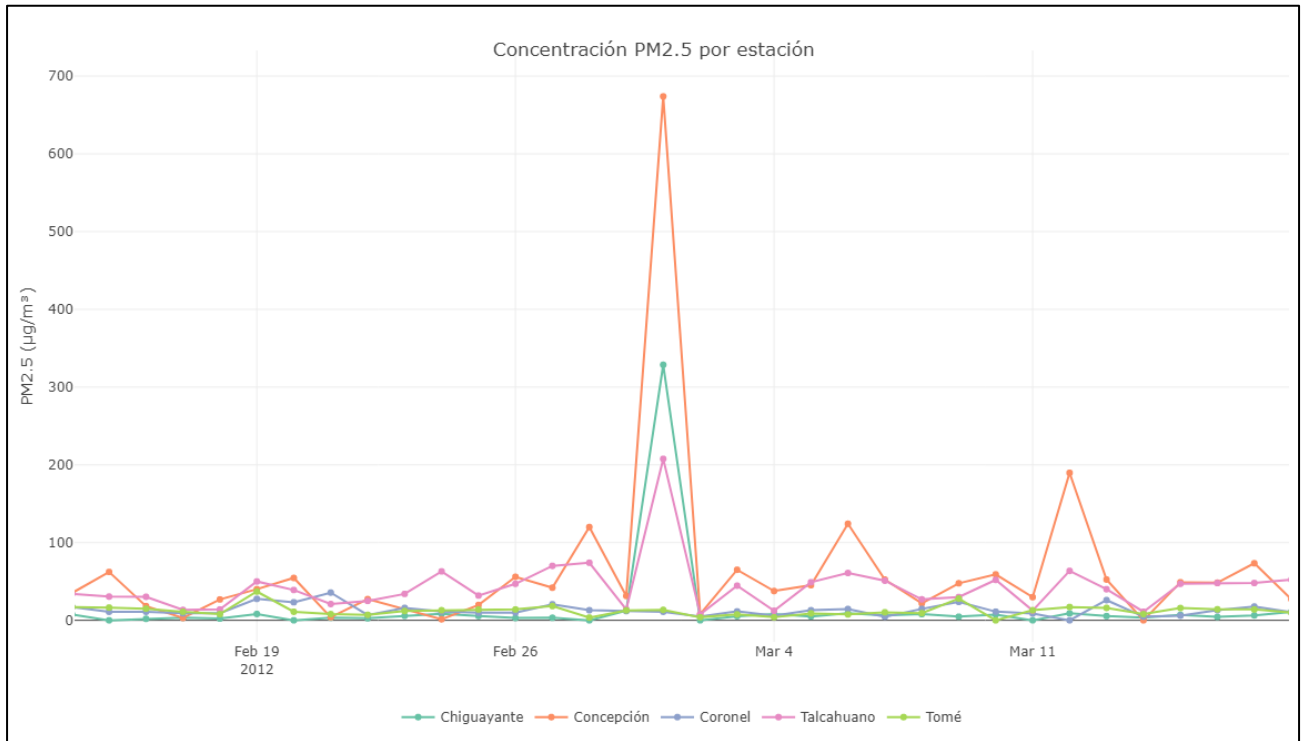


- **Año 2020**

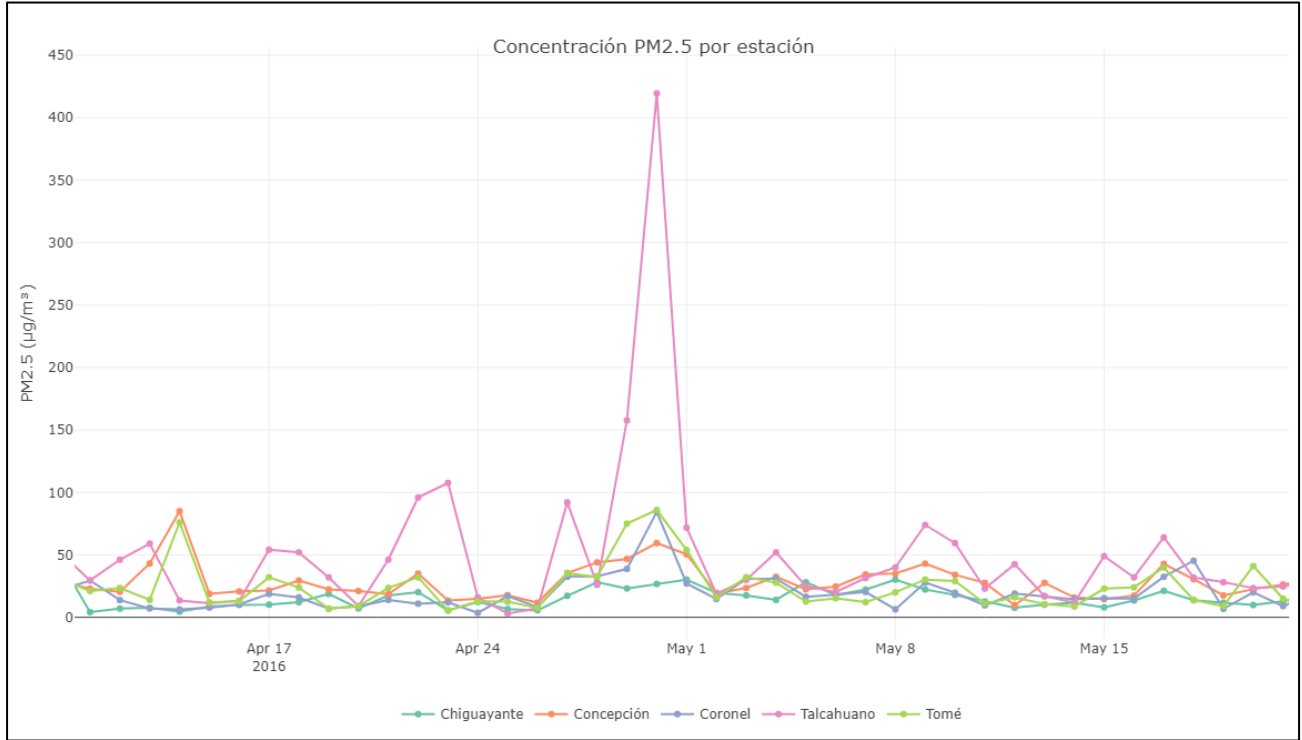


### 11.3. *Peaks* de concentración identificados

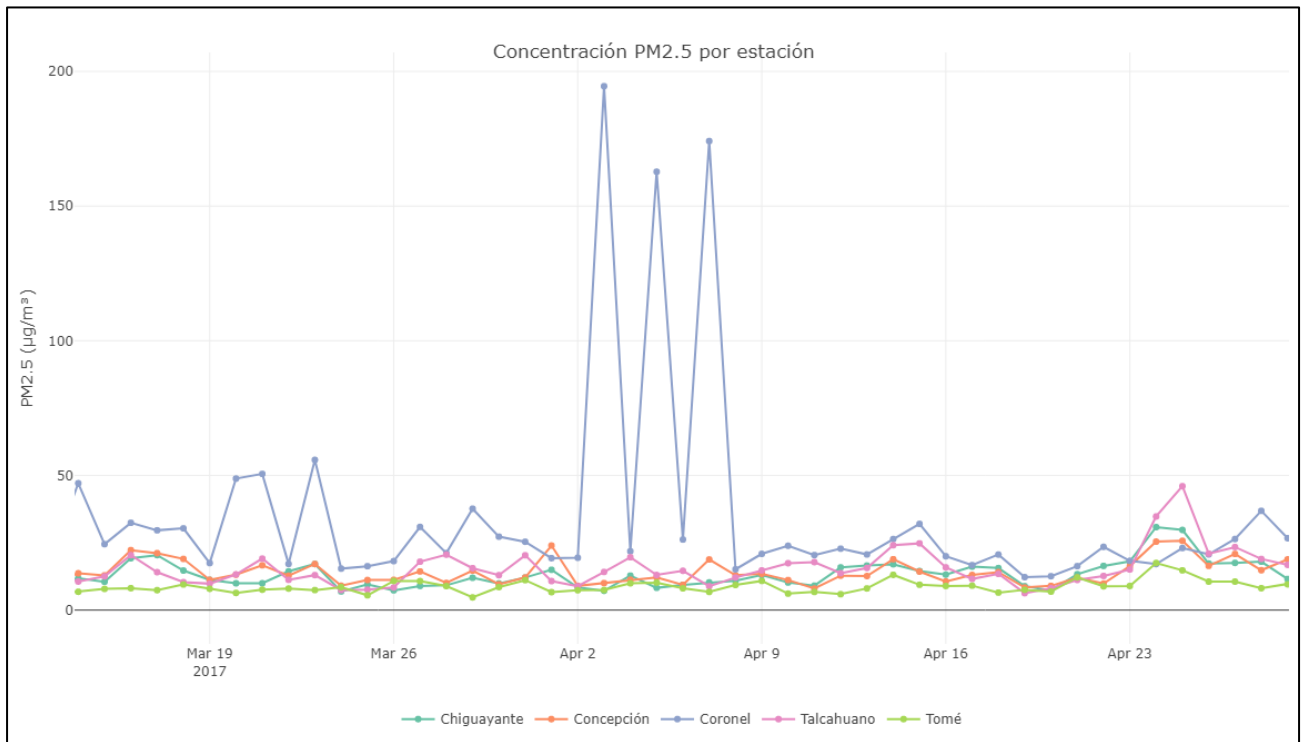
- 01 de marzo del 2012



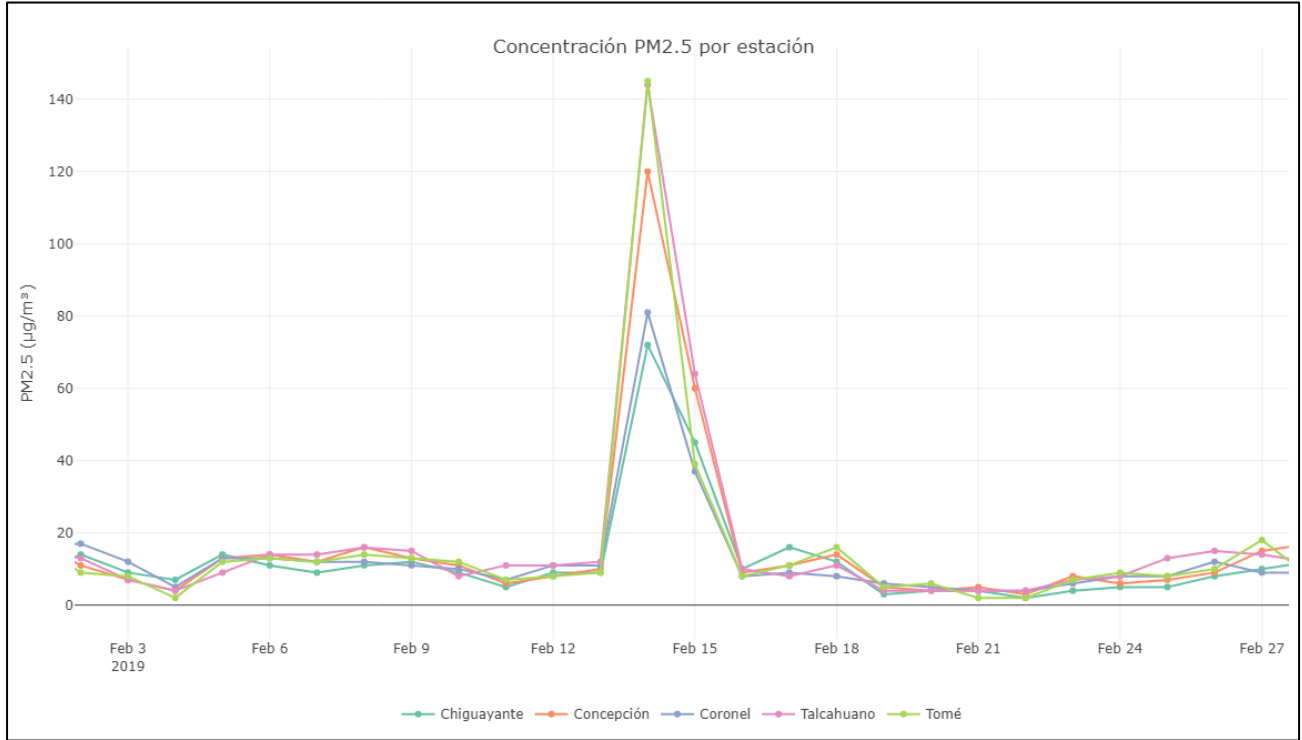
- **30 de abril de 2016**



- **03 de abril de 2017**



- 14 de febrero de 2019



#### 11.4. Valores porcentuales normativas Calidad del Aire

##### Conteos sin imputación de datos

Variable	n_menores_50	porcentaje_menores	n_menores_15	porcentaje_menores
concepcion_pm25	3145	0.9326809015	1672	0.4958481613
chiguayante_pm25	3158	0.9166908563	1987	0.576777939
talcahuano_pm25	2567	0.867816092	1520	0.5138607167
coronel_pm25	3286	0.9794336811	1914	0.5704918033
tome_pm25	2401	0.9266692397	1509	0.5824006175

##### Conteos con datos imputados

Variable	n_menores_50	porcentaje_menores	n_menores_15	porcentaje_menores
concepcion_pm25	3719	0.9326809015	1977	0.4921583271
chiguayante_pm25	3705	0.9166908563	2426	0.6039332835
talcahuano_pm25	3345	0.867816092	1934	0.4814538213
coronel_pm25	3936	0.9794336811	2272	0.5655962161
tome_pm25	3525	0.9266692397	2223	0.5533980583

## 11.5. Concentraciones máximas MP2,5 registradas por comuna

Variable	max_value	max_date
concepcion_pm25	829	2010-04-08
chiguayante_pm25	911	2010-11-16
talcahuano_pm25	960	2010-02-13
coronel_pm25	194.53	2017-04-03
tome_pm25	396.5	2010-03-18

## 11.6. Código en R para análisis de incidencia

```
pp_data <- pp_data_raw %>%
  dplyr::filter(COMUNA %in% gran_concepcion)
premature_births <- pp_data %>%
  filter(SEMANAS < 37)

datos <- data.frame(
  Comuna = c("Concepción", "Chiguayante", "Coronel", "Talcahuano",
"Tomé"),
  Partos_Totales = c(27707, 11127, 17286, 20737, 6948),
  Partos_Prematuros = c(2493, 1033, 1424, 1676, 491)
) %>%
  mutate(Incidencia = Partos_Prematuros/Partos_Totales)

total_partos <- nrow(pp_data)
total_prematuros <- nrow(premature_births)
p_global <- total_prematuros / total_partos

# Prueba de proporciones
datos$p_valor <- mapply(function(x, n) {
  prop.test(x, n, p = p_global, correct = FALSE)$p.value
}, datos$Partos_Prematuros, datos$Partos_Totales)
# Agregar significancia categórica
datos$Significativo <- ifelse(datos$p_valor < 0.05, "Sí", "No")
```

## 11.7. Código en R para modelo de asociación

```
library(dlnm)
library(lubridate)

# crossbasis
cbpm <- crossbasis(database$concepcion_pm25,
                   lag = 7,
                   argvar = list(fun = "lin"),
                   arglag = list(fun = "integer"))

cbtemp <- crossbasis(database$temperature,
                    lag = 7,
                    argvar = list(fun = "ns", df = 3),
                    arglag = list(fun = "ns"))

# modelo lineal generalizado
model <- glm(Premature_Births ~ cbpm + ctemp +
            ns(date, 8*10),
            as.factor(wday(database$date)) +
            as.factor(year) +
            family = poisson(),
            database,
            na.action="na.exclude")

# crossprediction
cpred <- crosspred(cb, model, at = 0:100, cumul = TRUE)
```