ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

“MEJORAMIENTO RUTA 68: SANTIAGO - PEAJE LO PRADO”



ANEXO 3.2 Calidad del Aire

FECHA	11-09-2026	VERSIÓN	A
DOCUMENTO	ANEXO 3.2 Calidad del Aire		
CODIFICACIÓN	677-TU-MA-IN-EIA03-003		
ELABORACIÓN	GAC		
REVISIÓN	ESPECIALISTA MEDIO AMBIENTE Noelia Barco		
	GERENTE TÉCNICO Eduardo Barrios		
APROBACIÓN	GERENTE GENERAL Jose Ricardo González		

CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 9
1.1 Objetivos 9
2 ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO 10
3 METODOLOGÍA DE MODELACIÓN 11
4 CARACTERIZACIÓN CALIDAD DEL AIRE 13
4.1 Normativa Calidad del Aire Vigente 13
4.2 Monitoreo calidad del aire 15
5 MODELO METEOROLÓGICO 21
5.1 Justificación del modelo meteorológico 21
5.2 Descripción del modelo meteorológico 21
5.3 Dominio modelación 25
5.4 Topografía y uso de suelos 28
5.5 Análisis trianual meteorología medida, años 2023-2025 30
5.5.1 Estadígrafos velocidad del viento 30
5.6 Evaluación del modelo meteorológico 31
5.6.1 Velocidad del viento 35
5.7 Dirección del viento 46
5.7.2 Temperatura 63
5.7.3 Altura capa de mezcla en zona modelada 73
5.7.4 Conclusiones modelo meteorológico 75
6 MODELO CALIDAD DEL AIRE 77
6.1 Justificación modelo calidad del aire 77
6.2 Descripción modelo de calidad del aire 77
7 RECEPTORES 78
7.1 Receptores discretos 78
7.2 Receptores grilla 82
8 FUENTES DE EMISIÓN 83
9 RESULTADOS 85
9.1 Resultados de modelación 85

9.1.1 Concentraciones totales....90

9.2 Análisis de resultados de modelación 92

9.2.1 Análisis de significancia de los aportes del proyecto en zona saturada (MP10 y MP2,5) 92

9.3 Mapas de gradientes espaciales de concentración (isoconcentraciones) 93

10 CONCLUSIONES..... 103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Normas de Calidad del Aire Vigentes en Chile 13
Tabla 4-2: Norma de Referencia para MPS. 15
Tabla 4-3. Estaciones de monitoreo de Calidad del Aire 15
Tabla 4-4. Evaluación de la norma anual de MP10 17
Tabla 4-5. Evaluación de la norma 24 horas de MP10 17
Tabla 4-6. Evaluación de la norma anual de MP2,5 17
Tabla 4-7. Evaluación de la norma 24 horas de MP2,5 18
Tabla 4-8. Evaluación norma primaria anual de SO_2 18
Tabla 4-9. Evaluación de la norma primaria 24 horas de SO_2 18
Tabla 4-10. Evaluación de la norma primaria 1 hora de SO_2 19
Tabla 4-11. Evaluación norma anual de NO_2 19
Tabla 4-12. Evaluación de la norma primaria 24 horas de NO_2 19
Tabla 4-13. Evaluación norma 1 hora de NO_2 20
Tabla 4-14. Evaluación norma 8 horas de CO 20
Tabla 4-15. Evaluación norma horaria de CO 20
Tabla 5-1: Definición de dominio de modelación. 22
Tabla 5-2: Definición proyección dominios de modelación. 23
Tabla 5-3: Características del dominio de modelación. 26
Tabla 5-4. Coordenadas estaciones meteorológicas 27
Tabla 5-5. Estadígrafos velocidad del viento 30
Tabla 5-6. Concentraciones medidas de MP10, 2023-2025 (µg/m3) 31
Tabla 5-7. Coordenadas estación meteorológica 34
Tabla 5-8: Estadígrafos velocidad del viento. 44
Tabla 5-9: Estadígrafos de desempeño velocidad del viento. Año 2025. 44
Tabla 5-10: Comparativa de Estadígrafos de desempeño velocidad del viento. Año 2025. 45
Tabla 5-11: Estadígrafos de temperatura. 71
Tabla 5-12: Estadígrafos desempeño por temperatura, datos observados y modelados. 72
Tabla 5-13: Comparativa de Estadígrafos de desempeño temperatura. Año 2025. 72
Tabla 7-1. Receptores de Interés definidos para la modelación 79

Tabla 8-1.Emisiones escenario año 3 de la fase de construcción. 83

Tabla 9-1. Resultados del modelo para el aporte del año 3 de la fase de construcción..... 86

Tabla 9-2. Resultados del modelo para el aporte del año 3 de la fase de construcción, porcentaje respecto a normas/umbral. 88

Tabla 9-3. Concentraciones totales para el aporte del año 3 de la fase de construcción. 91

Tabla 9-4. Valores de significancia para el aumento de concentraciones de MP10 y M2,5 sobre receptores humanos en un período igual o mayor a 3 años en zonas que sobrepasen el valor de la norma (SILs)..... 92

Tabla 9-5. Evaluación de significancia de laos Aportes de MP10 y MP 2,5 del proyecto (SILs)..... 93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1. Metodología 12

Figura 5-1. Extensiones de los dominios 1, 2, 3 y 4 en WRF. 22

Figura 5-2 Uso de suelo dominio 4 WRF. 25

Figura 5-3: Dominio de modelación del Proyecto. 26

Figura 5-4: Dominio de modelación del Proyecto y límites regionales 28

Figura 5-5. Topografía del dominio de modelación. 29

Figura 5-6. Ciclo diario de la velocidad del viento modelada y observada. Estación Parque O´Higgins, año 2025. 35

Figura 5-7. Ciclo mensual de la velocidad del viento modelada y observada. Estación Parque O´Higgins, año 2025. 36

Figura 5-8. Cuantiles condicionales e histograma de velocidad del viento observada y modelada. Estación Parque O´Higgins, año 2025. 37

Figura 5-9. Ciclo diario de la velocidad del viento modelada y observada. 38

Figura 5-10. Ciclo mensual de la velocidad del viento modelada y observada. 39

Figura 5-11. Cuantiles condicionales e histograma de velocidad del viento observada y modelada. 40

Figura 5-12. Ciclo diario de la velocidad del viento modelada y observada. 41

Figura 5-13. Ciclo mensual de la velocidad del viento modelada y observada. 42

Figura 5-14. Cuantiles condicionales e histograma de velocidad del viento observada y modelada. 43

Figura 5-15. Rosa de los vientos observada y modelada año 2025. Estación Parque O´Higgins 46

Figura 5-16. Gráfico polar con frecuencia de desviación entre direcciones de viento modeladas y observadas por intervalos de diferencia en magnitud de velocidad del viento. Estación Parque O´Higgins. Año 2025. 47

Figura 5-17. Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025. 48

Figura 5-18. Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025. 49

Figura 5-19. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025. 50

Figura 5-20. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento modelada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025. 51

Figura 5-21. Rosa de los vientos observada y modelada año 2025.Estación Pudahuel. 52

Figura 5-22. Gráfico polar con frecuencia de desviación entre direcciones de viento modeladas y observadas por intervalos de diferencia en magnitud de velocidad del viento. Estación Pudahuel. Año 2025. 53

Figura 5-23. Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Pudahuel. Año 2025. 54

Figura 5-24. Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Estación Pudahuel. Año 2025. 55

Figura 5-25. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada. Estación Pudahuel. Año 2025. 56

Figura 5-26. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento modelada. Estación Pudahuel. Año 2025. 56

Figura 5-27. Rosa de los vientos observada y modelada año 2025. Estación El Villorrio. 57

Figura 5-28. Gráfico polar con frecuencia de desviación entre direcciones de viento modeladas y observadas por intervalos de diferencia en magnitud de velocidad del viento. Estación El Villorrio. Año 2025. 58

Figura 5-29. Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación El Villorrio. Año 2025. 59

Figura 5-30. Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Estación El Villorrio. Año 2025..... 60

Figura 5-31. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada. Estación El Villorrio. Año 2025. 61

Figura 5-32. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento modelada. Estación El Villorrio. Año 2025. 62

Figura 5-33. Ciclo diario de la temperatura modelada y observada, estación Parque O´Higgins. Año 2025..... 63

Figura 5-34. Ciclo mensual de la temperatura modelada y observada, estación Parque O´Higgins, año 2025..... 64

Figura 5-35. Cuantiles condicionales e histograma de temperatura observada y modelada, estación Parque O´Higgins, año 2025. 65

Figura 5-36. Ciclo diario de la temperatura modelada y observada, estación Pudahuel. Año 2025.66

Figura 5-37. Ciclo mensual de la temperatura modelada y observada, estación Pudahuel. Año 2025 67

Figura 5-38. Cuantiles condicionales e histograma de temperatura observada y modelada, estación Pudahuel. Año 2025 68

Figura 5-39. Ciclo diario de la temperatura modelada y observada, estación El Villorrio. Año 2025. 69

Figura 5-40. Ciclo mensual de la temperatura modelada y observada, estación El Villorrio. Año 2025.

..... 70

Figura 5-41. Cuantiles condicionales e histogramas de temperatura observada y modelada, estación El Villorrio. Año 2025. 71

Figura 5-42. Ciclo diario modelado altura de capa de mezcla. Estación Parque O´Higgins. Año 2025. 73

Figura 5-43. Ciclo diario modelado altura de capa de mezcla. Estación Pudahuel. Año 2025. 74

Figura 5-44. Ciclo diario modelado altura de capa de mezcla. Estación El Villorrio. Año 2025. 75

Figura 7-1. Ubicación de los receptores de interés definidos para la modelación 81

Figura 7-2. Grilla de receptores 82

Figura 8-1. Fuentes emisoras ingresadas al modelo, escenario año 3 Fase de construcción. 84

Figura 9-1. Isoconcentraciones MP10 Anual 94

Figura 9-2. Isoconcentraciones MP10 Diario 95

Figura 9-3. Isoconcentraciones: MP2,5 anual 96

Figura 9-4. Isoconcentraciones: MP2,5 diario 97

Figura 9-5. Isoconcentraciones: NO_2 Anual 97

Figura 9-6. Isoconcentraciones: NO_2 diario 99

Figura 9-7. Isoconcentraciones: NO_2 horario 100

Figura 9-8. Isoconcentraciones: SO_2 horario 101

Figura 9-9. Isoconcentraciones: MPS Anual 102

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene los resultados de la modelación de dispersión de las emisiones atmosféricas, para material particulado (MPS, MP10 y MP2,5), dióxido de nitrógeno (NO2), monóxido de carbono (CO) y anhídrido sulfuroso (SO2) del Proyecto “Mejoramiento Ruta 68: Santiago - Peaje Lo Prado”.

Para ello, se realizó la modelación meteorológica y el análisis de incertidumbre mediante el modelo WRF, así como la modelación de dispersión de las emisiones atmosféricas con el modelo CALPUFF siguiendo los lineamientos indicados en la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA.

Debido al tipo de Proyecto, las principales emisiones que se generarán corresponden a emisiones de material particulado de las actividades de mejoramiento de ruta, generándose los mayores aportes en el Año 3 de la fase de construcción.

1.1 Objetivos

Los objetivos definidos dentro del estudio de calidad del aire corresponden a:

- Generar un campo meteorológico tridimensional con el modelo WRF para el dominio seleccionado como área de estudio, para ser utilizado como entrada meteorológica para el modelo de dispersión de contaminantes CALPUFF.
- Modelar la dispersión de las emisiones estimadas para el año de mayores emisiones del proyecto, con el modelo CALPUFF para estimar el aporte de estas emisiones al nivel de concentraciones ambientales de material particulado y gases.
- Estimar los aportes en términos de calidad del aire de las actividades que serán desarrolladas durante la ejecución del Proyecto.
- Evaluación de cumplimiento normativo de la calidad del aire proyectada, considerando los aportes del año de mayores emisiones del Proyecto.

2 ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

El Proyecto se enmarca en la iniciativa concesionada del Ministerio de Obras Públicas denominada “Mejoramiento Ruta 68: Santiago - Peaje Lo Prado”, que corresponde a obras de mejoramiento y ampliación del Tramo Urbano de la Ruta 68 comprendido entre el sector Enlace Pajaritos y el sector del Peaje Lo Prado, con el propósito de aumentar su capacidad, mejorar su nivel de servicio y reforzar las condiciones de operación y seguridad vial de la infraestructura existente.

El Proyecto corresponde al mejoramiento y ampliación del Tramo Urbano de la Ruta 68, entre el sector Enlace Pajaritos y el sector del Peaje Lo Prado, en la Región Metropolitana de Santiago, con emplazamiento en las comunas de Estación Central, Lo Prado y Pudahuel. La iniciativa forma parte del desarrollo de obra pública fiscal concesionada, definida por el Ministerio de Obras Públicas para el mejoramiento del Tramo Urbano desde la Ruta 68 y por parte del GORE en el sector Pajaritos, orientada a adecuar este eje vial existente a sus requerimientos actuales y proyectados de capacidad, operación, continuidad, seguridad vial y conectividad regional e interregional.

Las principales obras y acciones para ejecutar corresponden a las intervenciones que actúan directamente sobre la infraestructura vial principal del Proyecto, incluyendo calzadas, estructuras, conexiones y obras de mejoramiento requeridas para adecuar la capacidad, continuidad y operación del Tramo Urbano de Ruta 68, además de intervenciones requeridas por la comunidad para mejorar la conectividad norte-sur de peatones, ciclistas, vehículos particulares y transporte público.

Las obras proyectadas se desarrollan sobre infraestructura vial existente y en un entorno urbano consolidado. En este contexto, el Proyecto debe entenderse como la ampliación y mejoramiento del Tramo Urbano de Ruta 68, compuesto por obras viales que intervienen directamente el eje y sus conexiones principales, y por obras complementarias requeridas para su funcionamiento, conectividad local, seguridad y operación.

3 METODOLOGÍA DE MODELACIÓN

En este acápite se presenta el escenario de modelación, correspondiente al año que presenta las mayores emisiones para este proyecto. Los resultados del inventario de emisiones fueron insumos para la modelación de dispersión realizada con el modelo CALPUFF. La meteorología utilizada como input a CALPUFF, corresponde a la generada con el modelo de mesoescala WRF para el año 2025 y que se describe en la sección 6.

La calidad del aire proyectada para el año de mayores emisiones del Proyecto será estimada de acuerdo con las siguientes ecuaciones.

CA_Pa= LB + OP_RCA+ Pa

En donde:

CA_Pa: corresponde a la calidad del aire proyectada para el año de mayores emisiones 3 del proyecto.

LB: corresponde a la línea base de calidad del aire medida en el área de estudio.

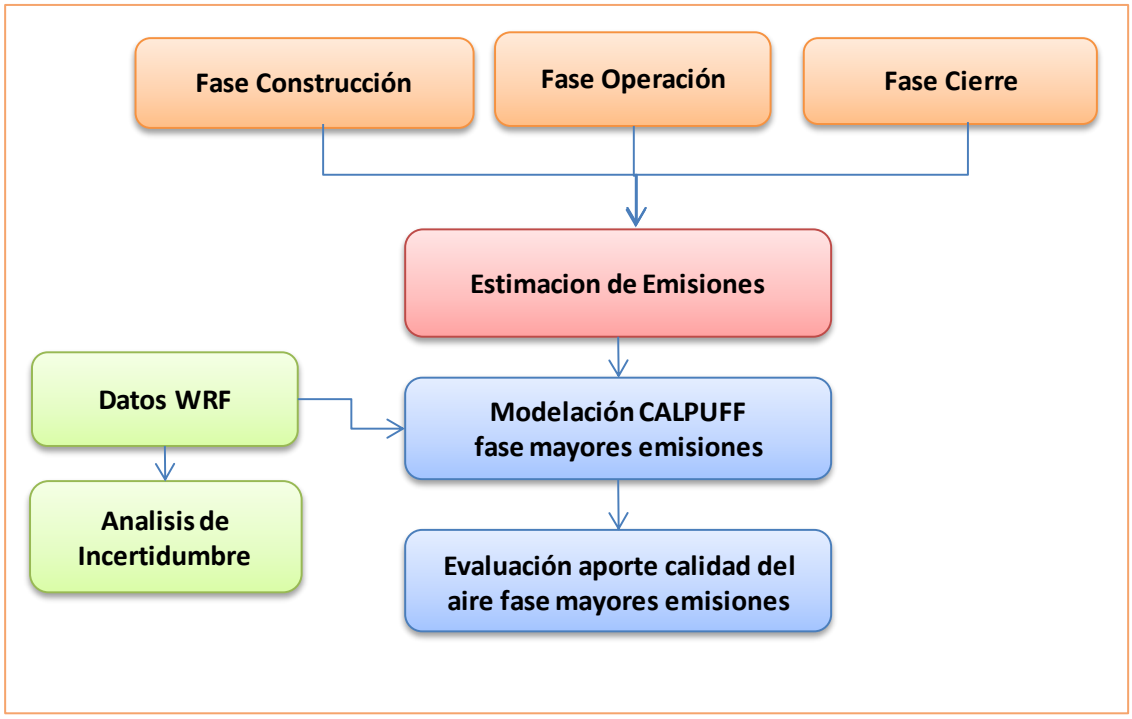
OP_RCA: corresponde al aporte de otros proyectos que poseen RCA favorable durante la parte respectiva, pero que no se encuentran aún en operación.

Pa: corresponde al aporte en la calidad del aire del año del Proyecto, correspondiente al de mayores emisiones. Este aporte es estimado con el modelo CALPUFF.

En el presente informe también se describe la configuración y simulación meteorológica realizada con el modelo de pronóstico WRF y se realiza un análisis de incertidumbre a dicha modelación, comparando los resultados de parámetros meteorológicos a nivel superficial respecto a los datos medidos en dos estaciones de monitoreo meteorológico.

La metodología general seguida en la modelación se presenta a continuación en la Figura 3-1.

Figura 3-1. Metodología



Fuente: GAC.

4 CARACTERIZACIÓN CALIDAD DEL AIRE

A continuación, se presenta la normativa de calidad del aire utilizada para los contaminantes evaluados en la modelación de dispersión de contaminantes.

4.1 Normativa Calidad del Aire Vigente

Las normas que se aplican para el análisis de los resultados corresponden a las normas vigentes en Chile, indicadas en los D.S. N°59/1998 para MP10 y el D.S. N°12/2011 para MP2,5. La siguiente tabla presenta los estadísticos y límites establecidos por las normas de calidad del aire antes señaladas, las cuales fueron consideradas en la presente Línea de Base.

Los valores umbrales de las normas y/o umbrales citados se presentan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-1. Normas de Calidad del Aire Vigentes en Chile

Contaminante	Tipo de Norma	Estadístico	Límite Norma ($\mu g/m^3N$)	Referencia
MP10	Primaria anual	Media aritmética trianual	50	D.S. N°12/2022
	Primaria diaria	Percentil 98 de la de las concentraciones de 24 horas durante un año	130	
MP2,5	Primaria anual	Media aritmética trianual	20	D.S. N°12/2011
	Primaria diaria	Percentil 98 de la de las concentraciones de 24 horas durante un año	50	
SO_2	Primaria anual	Media aritmética trianual	60	D.S. Nº104/2018
	Primaria diaria	Media aritmética trianual del Percentil 99 de las concentraciones de 24 horas de cada año	150	
	Primaria horaria	Media aritmética trianual del Percentil 99 de las concentraciones de 1 hora de cada año	350	
	Secundaria anual	Media aritmética trianual	80	D.S. Nº22/2010

Contaminante	Tipo de Norma	Estadístico	Límite Norma (µg/m³N)	Referencia
	Secundaria diaria	Media aritmética trianual del Percentil 99,7 de las concentraciones de 24 horas de cada año	365	
	Secundaria horaria	Media aritmética trianual del Percentil 99,73 de las concentraciones de 1 hora de cada año	1.000	
NO_2	Primaria horaria	Media aritmética trianual del Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora de cada año	200	D.S. N°40/2023
	Primaria diaria	Media aritmética trianual del Percentil 99 de las concentraciones de 24 horas de cada año	100	
	Primaria anual	Media aritmética trianual	40	
CO	Primaria horaria	Media aritmética trianual del Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 1 hora de cada año	30.000	D.S. N°115/2002
	Primario 8 horas	Media aritmética trianual del Percentil 99 de los máximos diarios de concentración de 8 hora de cada año	10.000	

Fuente: GAC, 2026.

Para el análisis del material particulado sedimentable (MPS) se utilizará como valor de referencia la Ordenanza de la Confederación Suiza, Sobre Control de Contaminación del Aire, de 1993, la cual define el

valor de sedimentación en base a la protección de la fertilidad del suelo, vegetación y aguas, lo que en última instancia conduce a la protección humana y salud animal[1]

Tabla 4-2: Norma de Referencia para MPS.

Norma	Descripción	Contaminante	Media Aritmética Anual (mg/m²/día)
Secundaria	Ordenanza de la Confederación Suiza	MPS	200

Fuente: GAC, 2026.

4.2 Monitoreo calidad del aire

La Tabla 5-3, se presentan las coordenadas de ubicación, los parámetros medidos y el periodo de monitoreo de las estaciones de monitoreo de Calidad del aire representativas del proyecto.

Tabla 4-3. Estaciones de monitoreo de Calidad del Aire

Estación de Calidad del Aire	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Huso 18S		Parámetros medidos	Periodo de Monitoreo	Fuente de información
	Este	Norte			
Cerrillos II	341.687	6.292.449	MP10	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
			MP2.5	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
Parque O´Higgins	345.673	6.296.019	MP10	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
			MP2.5	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA

[1] Comunicación interna entre profesional de la Secretaría Regional Ministerial del Medio Ambiente y la Oficina Federal del Medio Ambiente (FOEN), de la Confederación Suiza, de fecha 11 de febrero de 2016.

Estación de Calidad del Aire	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Huso 18S		Parámetros medidos	Periodo de Monitoreo	Fuente de información
	Este	Norte			
			NO_2	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
			CO	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
Pudahuel	337.311	6.298.809	MP10	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
			MP2.5	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
			NO_2	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
			CO	Ene. 2023 – Dic 2025	SINCA
Rinconada Lo Vial	328.589	6.289.613	MP10	Ene. 2023 – Dic 2025	SNIFA
			SO_2	Ene. 2023 – Dic 2025	SNIFA
			NO_2	Ene. 2023 – Dic 2025	SNIFA
			CO	Ene. 2023 – Dic 2025	SNIFA

Fuente: GAC

En las Tablas siguientes se presenta el resumen de los valores calculados para la concentración promedio anual y diaria de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

Tabla 4-4. Evaluación de la norma anual de MP10

Estación	Promedio anual 2023 (µg/m³N)	Promedio anual 2024 (µg/m³N)	Promedio anual 2025 (µg/m³N)	Promedio 2023-2025 (µg/m³N)	% norma anual (50 µg/m³N)
Cerrillos II	68,6	66,2	71,2	68,7	137%
Parque O´Higgins	70,6	65,8	66,3	67,6	135%
Pudahuel	62,9	60,7	61,0	61,5	123%
Rinconada Lo Vial	44,7	33,9	34,5	37,7	75%

Fuente: GAC

Tabla 4-5. Evaluación de la norma 24 horas de MP10

Estación	P98 24 horas 2023 (µg/m³N)	P98 24 horas 2024 (µg/m³N)	P98 24 horas 2025 (µg/m³N)	% norma de 24 horas (130 µg/m³N)
Cerrillos II	157,7	161,8	160,0	123%
Parque O´Higgins	160,3	148,5	156,0	120%
Pudahuel	155,9	155,3	155,3	119%
Rinconada Lo Vial	118,1	65,0	66,9	51%

Fuente: GAC.

Tabla 4-6. Evaluación de la norma anual de MP2,5

Estación	Promedio anual 2023 (µg/m³N)	Promedio anual 2024 (µg/m³N)	Promedio anual 2025 (µg/m³N)	Promedio 2023-2025 (µg/m³N)	% norma anual (20 µg/m³N)
Cerrillos II	24,8	23,8	24,5	24,3	122%
Parque O´Higgins	22,8	20,1	21,1	21,3	107%
Pudahuel	24,4	23,1	22,7	23,4	117%

Fuente: GAC.

Tabla 4-7. Evaluación de la norma 24 horas de MP2,5

Estación	P98 24 horas 2023 (µg/m³N)	P98 24 horas 2024 (µg/m³N)	P98 24 horas 2025 (µg/m³N)	% norma de 24 horas (130 µg/m³N)
Cerrillos II	70,6	74,0	72,3	145%
Parque O´Higgins	63,7	61,0	59,2	118%
Pudahuel	75,5	77,5	74,3	149%

Fuente: GAC.

Tabla 4-8. Evaluación norma primaria anual de SO_2

Estación	Promedio anual 2023 (µg/m³N)	Promedio anual 2024 (µg/m³N)	Promedio anual 2025 (µg/m³N)	Promedio trianual 2023-2025 (µg/m³N)	% norma trianual (60 µg/m³N)
Rinconada Lo Vial	2,1	2,3	2,1	2,2	4%

Fuente: GAC

Tabla 4-9. Evaluación de la norma primaria 24 horas de SO_2

Estación	P99 diario 2023 (µg/m³N)	P99 diario 2024 (µg/m³N)	P99 diario 2025 (µg/m³N)	P99 diario 2023-2025 (µg/m³N)	% norma diaria (150 µg/m³N)
Rinconada Lo Vial	3,5	4,6	10,2	6,1	4%

Fuente: GAC.

Tabla 4-10. Evaluación de la norma primaria 1 hora de SO_2

Estación	P99 horario 2023 (µg/m³N)	P99 horario 2024 (µg/m³N)	P99 horario 2025 (µg/m³N)	P99 horario 2023-2025 (µg/m³N)	% norma diaria (350 µg/m³N)
Rinconada Lo Vial	5,5	6,6	10,8	7,6	2%

Fuente: GAC.

Tabla 4-11. Evaluación norma anual de NO_2

Estación	Promedio anual 2023 (µg/m³N)	Promedio anual 2024 (µg/m³N)	Promedio anual 2025 (µg/m³N)	Promedio trianual 2023-2025 (µg/m³N)	% norma anual 2023-2025 (40 µg/m³N)
Rinconada Lo Vial	23,4	19,6	15,5	19,5	49%
Parque O´Higgins	43,2	43,2	40,8	42,4	106%
Pudahuel	38,1	41,5	39,6	39,8	99%

Fuente: GAC.

Tabla 4-12. Evaluación de la norma primaria 24 horas de NO_2

Estación	P99 diario 2023 (µg/m³N)	P99 diario 2024 (µg/m³N)	P99 diario 2025 (µg/m³N)	Promedio trianual 2023-2025 (µg/m³N)	% norma diaria 2023-2025 (100 µg/m³N)
Rinconada Lo Vial	-	64,8	47,9	56,4	56%
Parque O´Higgins	102,9	100,9	96,0	99,9	100%
Pudahuel	98,9	108,6	85,8	97,8	98%

Fuente: GAC.

Tabla 4-13. Evaluación norma 1 hora de NO_2

Estación	P99 1 hora 2023 (µg/m³N)	P99 1 hora 2024 (µg/m³N)	P99 1 hora 2025 (µg/m³N)	Promedio trianual 2023-2025 (µg/m³N)	% norma horaria 2023-2025 (200 µg/m³N)
Rinconada Lo Vial	114,2	116,7	90,0	107,0	53%
Parque O´Higgins	176,7	171,5	161,5	169,9	85%
Pudahuel	156,4	149,3	138,7	148,1	74%

Fuente: GAC.

Tabla 4-14. Evaluación norma 8 horas de CO

Estación	P99 8 horas 2023 (mg/m³N)	P99 8 horas 2024 (mg/m³N)	P99 8 horas 2025 (mg/m³N)	P99 8 horas 2023-2025 (mg/m³N)	% norma 8 horas 2023-2025 (10 mg/m³N)
Rinconada Lo Vial	0,8	1,1	0,6	0,8	8%
Parque O´Higgins	4,4	4,1	3,5	4,0	50%
Pudahuel	4,6	6,2	5,7	5,5	55%

Fuente: GAC.

Tabla 4-15. Evaluación norma horaria de CO

Estación	P99 horario 2023 (mg/m³N)	P99 horario 2024 (mg/m³N)	P99 horario 2025 (mg/m³N)	Promedio 2023-2025 (mg/m³N)	% norma horaria 2023-2025 (30 mg/m³N)
Rinconada Lo Vial	1,1	1,5	0,7	1,1	4%
Parque O´Higgins	6,6	5,8	5,2	5,9	20%
Pudahuel	7,3	8,8	7,3	7,8	26%

Fuente: GAC.

Al analizar la información presentada se observa que las concentraciones de material particulado respirable (MP10) en las estaciones Cerrillos II, Parque O´Higgins y Pudahuel presentan concentraciones promedio trianuales (2023-2025) de 68,7 67,6 y 61,5 µg/m³, respectivamente, equivalentes al 137%, 135% y 123% del límite establecido por la norma anual (50 µg/m³), por lo que se encuentran es estado de saturación

Respecto de la norma promedio de 24 horas, las estaciones Cerrillos II, Parque O´Higgins y Pudahuel presentan concentraciones correspondientes al percentil 98 de 24 horas equivalentes al 123%, 120% y 119% del límite establecido por la norma diaria (130 µg/m³), por lo que se encuentran en estado de saturación.

En cuanto al material particulado respirable fino (MP2,5) los promedios trianuales (2023-2025) muestran que las estaciones Cerrillos II, Parque O´Higgins y Pudahuel presentan concentraciones que superan el límite anual de la norma (20 µg/m³), alcanzando valores de 24,3 21,3 y 23,4 µg/m³, equivalentes al 122%, 107% y 117% del límite, respectivamente, por lo que se encuentran en estado de saturación. Respecto de la norma de 24 horas, las estaciones Cerrillos II, Parque O´Higgins y Pudahuel también superan el límite diario de 50 µg/m³, registrando concentraciones de 72,3, 59,2 y 74,3 µg/m³, equivalentes al 145%, 118% y 149% del límite, respectivamente.

5 MODELO METEOROLÓGICO

5.1 Justificación del modelo meteorológico

Siguiendo los lineamientos de la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA (SEA, 2023), la selección del modelo meteorológico utilizado en el presente estudio se realizó fundamentándose en las condiciones del dominio de modelación del área entorno al proyecto, el cual corresponde a topografía compleja, en dicho caso la Guía recomienda un modelo que permita simular una meteorología heterogénea. Por esta razón, el campo meteorológico tridimensional horario del año 2025 completo fue generado utilizando el modelo meteorológico WRF, en su versión 4.6. Posteriormente los datos fueron procesados con MMIFv4.1 para ser utilizados en el modelo de calidad de aire CALPUFF.

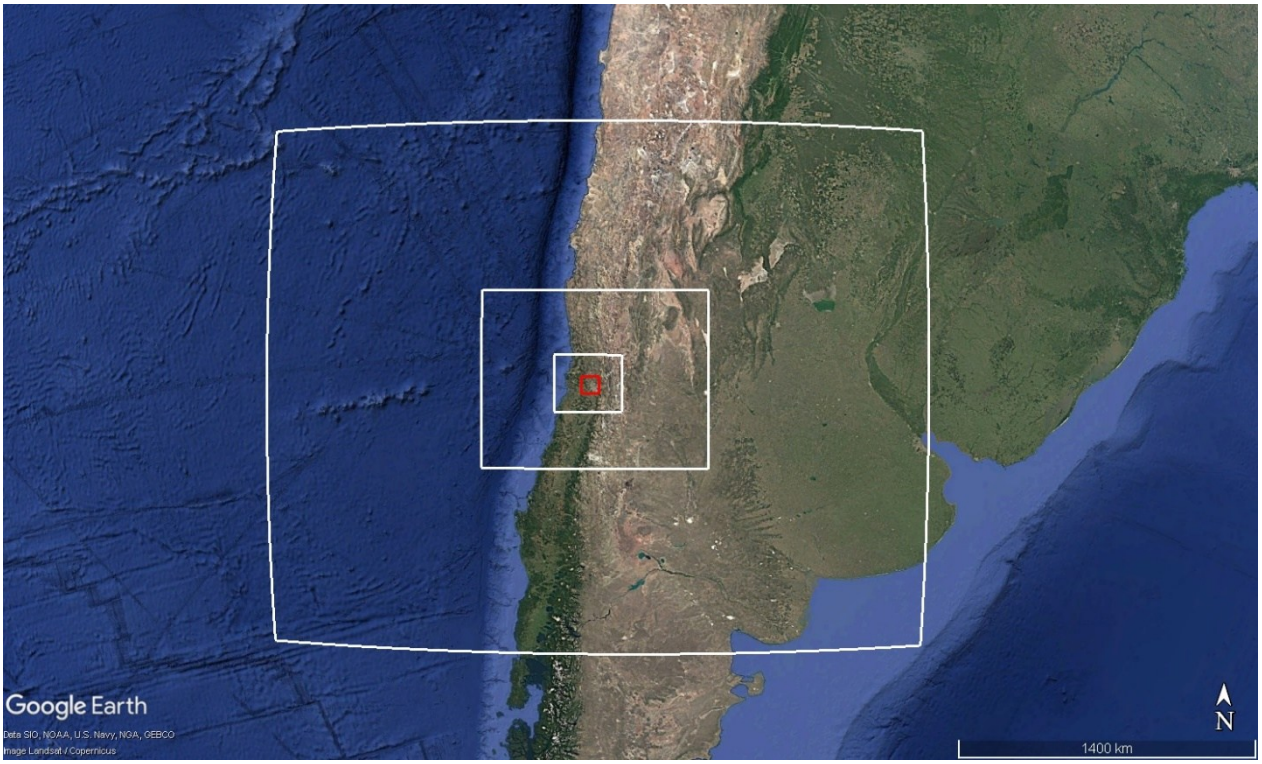
5.2 Descripción del modelo meteorológico

El modelo de investigación y pronóstico del tiempo (Weather Research and Forecasting - WRF) es un sistema de predicción numérico de mesoscala de nueva generación, diseñado para servir pronósticos operacionales y para estudio de la atmósfera.

Se crearon cuatro dominios anidados con resoluciones de grilla de 27, 9, 3 y 1 kilómetro correspondientemente, los cuales se muestran en la Figura 5-1 en rojo se indica el dominio de modelación más pequeño, el cual se utiliza para alimentar el modelo de dispersión CALPUFF. La Tabla 5-1 y la Tabla

5-2 muestran la definición de los dominios anidados utilizados en WRF y la proyección geográfica, respectivamente.

Figura 5-1. Extensiones de los dominios 1, 2, 3 y 4 en WRF.



Fuente: GAC, en base a Google Earth.

Tabla 5-1: Definición de dominio de modelación.

	DX	DY	NX	NY	KMx	KMy	Nº Celdas
Dominio 1	27	27	85	67	2295	1809	5695
Dominio 2	9	9	85	67	765	603	5695
Dominio 3	3	3	76	64	228	192	4864
Dominio 4	1	1	61	58	61	58	3538

Fuente: GAC.

Tabla 5-2: Definición proyección dominios de modelación.

Origen centro Dominio 1 y proyección LCC	
ref_lat	-33.5
ref_lon	-70.65
truelat1	-28.5
truelat2	-38.5
stand_lon	-70.65

Fuente: GAC.

Debido a la geomorfología de la zona oeste del dominio de modelación y a que existen zonas con densidad urbana altas en la Región Metropolitana, estas zonas presentan velocidades del viento promedio, para los niveles superficiales, que son relativamente bajas, velocidades que configuraciones típicas del modelo WRF sobreestiman de manera considerable ya que no resuelven de manera satisfactoria el efecto superficie del terreno en el comportamiento del viento. Por esta razón en el presente estudió se utilizó una configuración mejorada del modelo WRF en conjunto con una configuración para resolver los efectos que el suelo urbano tiene sobre la meteorología local y además una opción de resistencia adicional de la topografía de la subgrilla, mayores detalles de la configuración se describen a continuación.

Para realizar la simulación con el modelo WRF se obtuvo la información de uso de suelos a partir de información satelital de MODIS de la NASA con resolución de celda de 100 m (CGLC-MODIS-LCZ). Esta información de uso de suelo considera 11 clasificaciones distintas para suelo urbano considerando datos del “world urban database (WUDAPT)”. Por último, se utilizó información de elevación de terreno a partir de la información topográfica del SRTM (Misión de Radar Topográfico del Transbordador Espacial de la NASA) con resolución de 3 segundos de grado, es decir 90 m aproximadamente. Condiciones iniciales y de borde fueron generadas a partir de los “datos operacionales de análisis global” de NCEP con un grado de resolución espacial de 1° y temporal de 6 horas.

Se utilizó la configuración de WRF publicada en el estudio de Saide, Mena-Carrasco et al (2016) de pronóstico de MP2,5 en Santiago, con la principal excepción de que además se utilizó la opción de parametrización urbana BEP (Salamanca, Martilli et al. 2011), la cual consiste en un modelo de "canopy urbano" de multicapa, configuración que, si bien no se utilizó en el mencionado estudio, este recomienda utilizarlo en trabajos futuros. La mencionada configuración urbana ha sido trabajada dentro del contexto de la preparación a la postulación al proyecto Fondecyt-1180894, el cual se encuentra finalizado. En trabajo precedente a la postulación al Fondecyt se verificó la substancial mejora que produce la configuración urbana en la simulación meteorológica para la cuenca de Santiago, particularmente en lo que respecta a la reducción en las velocidades de vientos modeladas.

Por otro lado, en Jorquera et al (2024) se muestra la mejora en la estimación de velocidad del viento y la altura de capa de mezcla al utilizar la opción de canopy urbano en Quito. De igual manera que en el estudio antes mencionado, en la simulación de WRF desarrollada para este informe se profundizó aún más el uso del modelo de “canopy urbano” considerando la opción “use_wudapt_lcz” la cual considera 11 clasificaciones distintas de uso de suelo urbano (ver

Figura 5-2), las cuales fueron definidas por el “world urban database (WUDAPT)” y obtenidas de “CGLC-MODIS-LCZ_100m”.

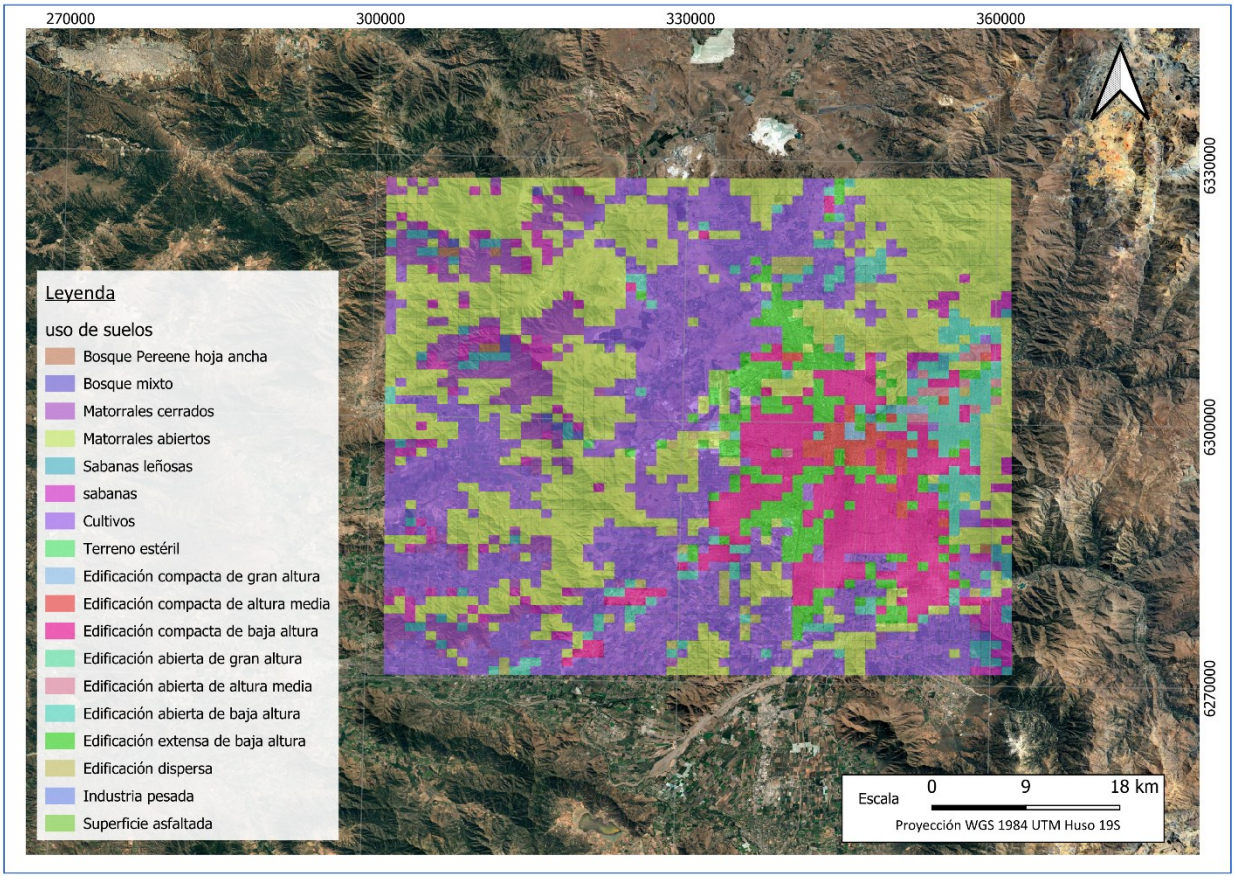
Además, se activaron para todos los dominios de la simulación las opciones de "slope_rad" y "topo_shading", las cuales consideran el efecto de la pendiente del terreno en el flujo de la radiación solar superficial y consideran los efectos de sombra que pueden generar las celdas circundantes que posean elevación terreno mayor a la celda considerada, respectivamente.

Adicionalmente a lo ya mencionado, las principales parametrizaciones y configuraciones de las opciones físicas del modelo son las siguientes:

a. Se utilizaron 45 niveles verticales ETA.
b. Para la estimación de la capa limite planetaria se utilizó el esquema PBL de BouLac-Lacarrère. Una opción de predicción de TKE (Turbulent Kinetic Energy). Diseñado para usar con el modelo urbano BEP, el cual corresponde a una parametrización urbana de edificaciones BEP (Building Environment Parameterization).
c. Se utilizó la opción “use_wudapt_lcz” para considerar 11 clasificaciones distintitas de uso de suelo urbano en la parametrización urbana de edificaciones BEP.
d. Para la estimación de la capa límite superficial se utilizó el esquema Similitud Eta, basado en Monin-Obukhov con longitud de rugosidad térmica de Zilitinkevich[14] y funciones de similitud estándar de tablas de búsqueda
e. Para la simulación de los intercambios de calor entre superficie y atmosfera se utilizó el “Noah Land Surface Model”, modelo que considera temperatura y humedad del suelo en cuatro capas, cubierta fraccionada de nieve y física del suelo congelado
f. Por último, para la estimación de formación de nubes se utilizó el esquema convectivo de Betts-Miller-Janjic (Betts and Miller 1986, Janjic 1994)[15]

La Figura 5-2 muestra el uso de suelos configurado para el dominio 4 de la simulación de WRF.

Figura 5-2 Uso de suelo dominio 4 WRF.



Fuente: GAC, en base a datos LCZ[2].

5.3 Dominio modelación

El dominio de modelación considerado para el presente Proyecto corresponde a una grilla rectangular de 50 x 47 km, compuesta por celdas de 1 km por lado, la cual tiene la misma proyección utilizada por el modelo WRF y corresponde a un subdominio del dominio 4 modelado con WRF, eliminando 5 celdas por borde, siguiendo la recomendación de la guía de MMIF, el cual es el post-procesador utilizado para extraer datos de WRF a CALPUFF. En la Tabla 5-3 se presentan las características del área correspondiente al dominio de modelación. El dominio elegido abarca a lo menos el área de influencia del Proyecto para los distintos componentes ambientales que pueden verse afectados por las emisiones atmosféricas de éste, lo que se corrobora más adelante en las gradientes de concentraciones estimadas por el modelo.

[2] https://www.wudapt.org/

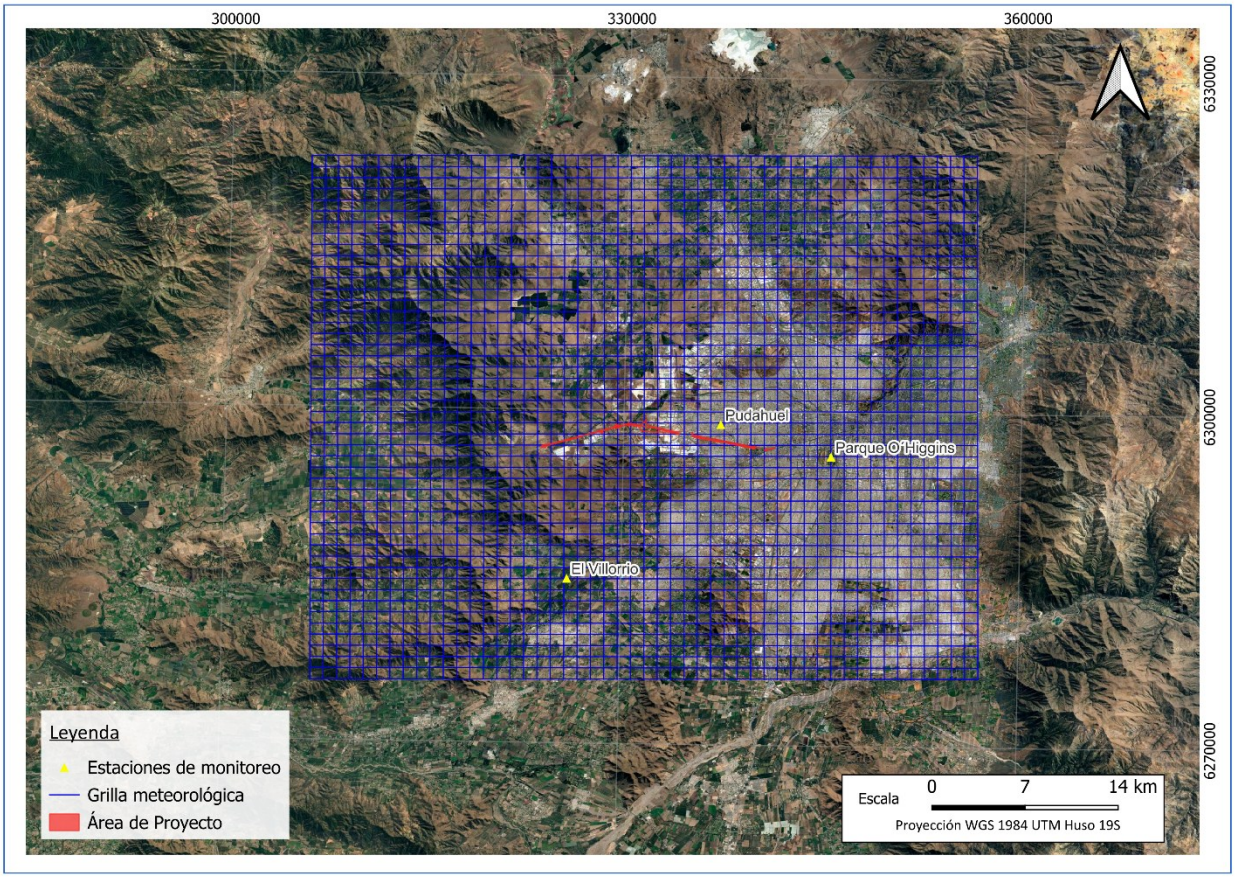
Tabla 5-3: Características del dominio de modelación.

Característica	Eje X (km)	Eje Y (km)
Espaciamiento	1	1
Longitud	50	47

Fuente: GAC.

En la Figura 5-3 se presenta el dominio de modelación utilizado en CALPUFF, donde se destacan las estaciones meteorológicas utilizadas en el análisis de incertidumbre del modelo WRF para los parámetros de vientos y la ubicación del Proyecto. Las coordenadas se especifican en la Tabla 5-4.

Figura 5-3: Dominio de modelación del Proyecto.



Fuente: GAC.

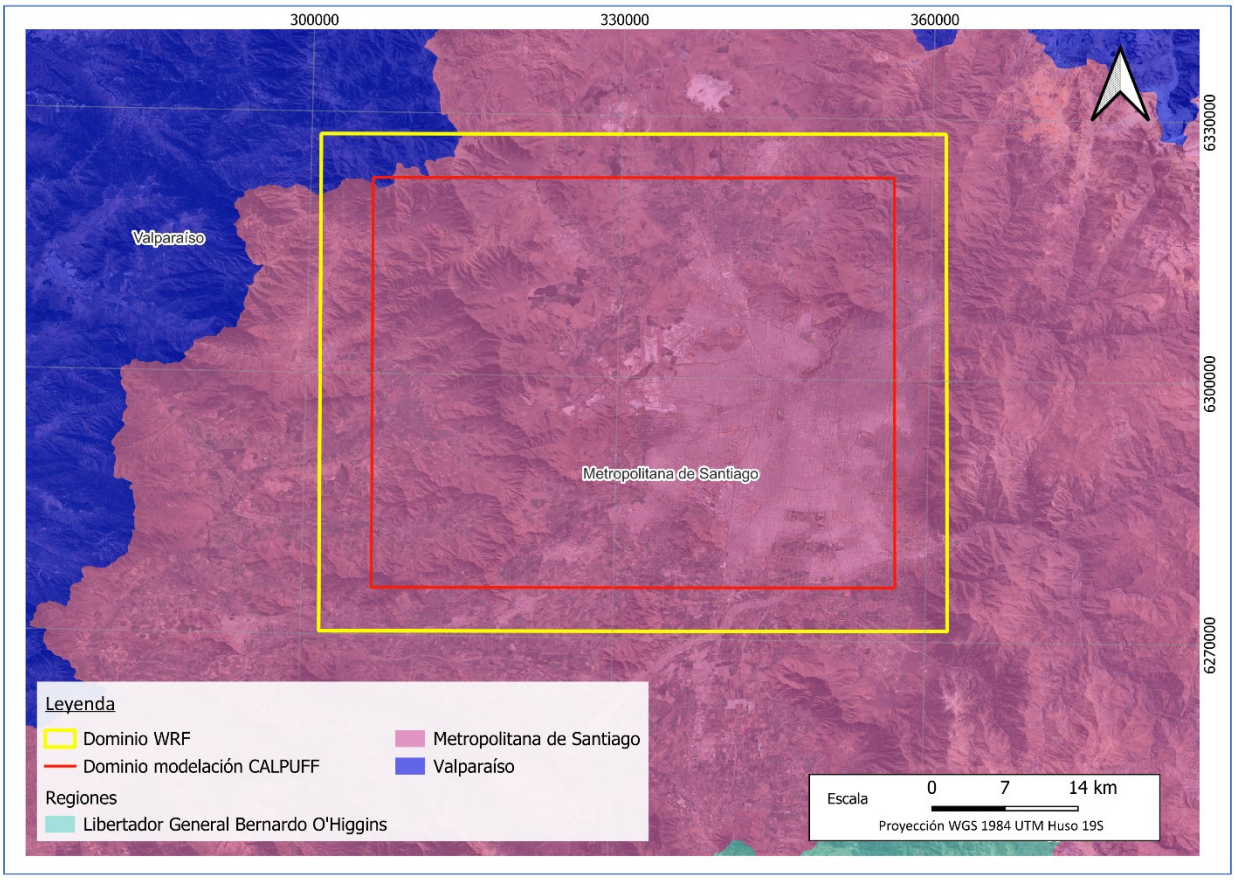
Tabla 5-4. Coordenadas estaciones meteorológicas

Estación de monitoreo	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Huso 19S	
	Este	Norte
Parque O´Higgins	345.673	6.296.019
Pudahuel	337.311	6.298.809
El Villorrio	325.673	6.284.782

Fuente: GAC

La Figura 5-4 muestra en rojo la grilla de modelación utilizada en el modelo CALPUFF, indicado en color rojo, respecto al dominio 4 del modelo WRF, indicado en color amarillo. La grilla de modelación abarca gran parte de la región Metropolitana de Santiago y un pequeño sector de la región de Valparaíso. Cabe mencionar que el área de modelación corresponde al área de estudio, el área de influencia del componente aire se obtendrá de los resultados del modelo de dispersión.

Figura 5-4: Dominio de modelación del Proyecto y límites regionales



Fuente: GAC.

5.4 Topografía y uso de suelos

La fuente de información topográfica del dominio de modelación considerado en CALPUFF corresponde a cartas topográficas digitales SRTM3[3] de 90 metros de resolución, las cuales se utilizan el modelo WRF. En CALPUFF se utilizó la información topográfica considerada por el modelo WRF. A continuación, se presenta una imagen de la topografía, que corresponde al SRTM3 interpolado a la resolución de grilla de 1 kilómetro que utilizan los modelos WRF y CALPUFF en este caso.

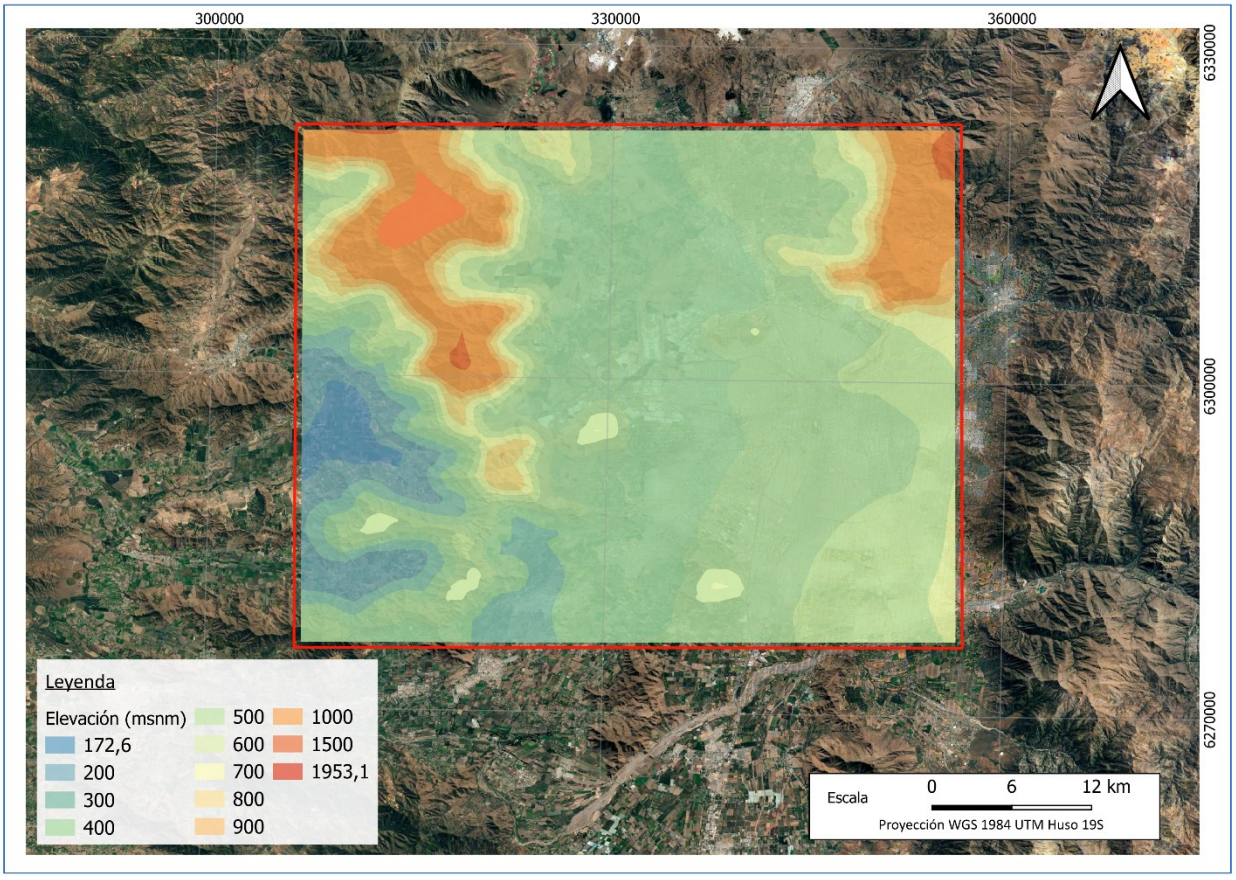
La información relacionada con el uso de suelo, de igual manera que la elevación de terreno es utilizada directamente del modelo WRF, la cual corresponde a información satelital de MODIS de la NASA con

[3] https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/

resolución de 15 segundos de arco, la caracterización de uso de suelos para cada celda del dominio 4 de WRF se puede observar en la Figura 5-2.

A continuación, en la Figura 5-5, se presenta gráficamente la topografía del dominio modelado.

Figura 5-5. Topografía del dominio de modelación.



Fuente: GAC, en base a información proporcionada por NASA.

La topografía local es un factor determinante en los patrones de dispersión de contaminantes atmosféricos, ya que influye directamente en la canalización de los vientos, la formación de recirculaciones y la estabilidad atmosférica en valles y quebradas. En zonas de relieve complejo, como la del proyecto, las variaciones en la elevación generan gradientes de presión y flujos locales que pueden favorecer tanto la acumulación de contaminantes en condiciones de estabilidad como su dispersión acelerada en presencia de vientos canalizados. Por lo anterior, la incorporación de la topografía mediante datos SRTM3 en WRF y CALPUFF resulta fundamental para asegurar una representación realista de la meteorología y, en consecuencia, de la dispersión de contaminantes en el área de estudio.

5.5 Análisis trianual meteorología medida, años 2023-2025

Se realiza un análisis de tres años de los vientos medidos en las estaciones Cerrillos II, Parque O´Higgins, Pudahuel, Rinconada Lo Vial y El Villorrio. Este análisis se realiza con el fin de escoger el año meteorológico a modelar con WRF.

5.5.1 Estadígrafos velocidad del viento

En la Tabla 5-5 presenta los valores de promedios, máximos y porcentajes de calmas, correspondientes a las estaciones analizadas durante los tres años de muestreo. Los resultados muestran un comportamiento consistente entre los datos de los tres años para las estaciones analizadas, con valores promedios y variaciones acotadas en los máximos. En el caso de los promedios, se observa que el año 2025 presenta las velocidades de viento promedio más bajas en las estaciones Parque O´Higgins y El Villorrio, así como también el año con los mayores porcentajes de calmas, siendo una condición relevante, dado que menores velocidades de viento se asocian a una menor capacidad de dispersión atmosférica.

Tabla 5-5. Estadígrafos velocidad del viento

Variable	Parque O´Higgins			Pudahuel			El Villorrio		
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Promedio (m/s)	0,83	0,87	0,81	1,02	1,27	1,31	1,04	1,00	0,96
Máximo (m/s)	5,68	12,5	4,56	4,83	5,01	5,45	6,75	6,22	6,03
Porcentaje de calmas (%)	40,3	42,6	45,8	35,8	24,1	20,4	54,8	55,8	59,1

Fuente: GAC

Para la selección del año meteorológico utilizado en la modelación se han tenido en cuenta dos criterios, el primero relacionado con las concentraciones ambientales de la línea de base de calidad del aire considerada en el estudio y el segundo relacionado con las condiciones meteorológicas registradas en cada año.

El primer criterio, relacionado con la línea de base de calidad del aire, fue considerar el año de mayores concentraciones ambientales de las normas de MP10 y MP2,5, dentro del trienio 2023-2025. En este contexto, la estación Cerrillo II registró durante 2025 el mayor promedio anual del periodo analizado, alcanzando 71,2 µg/m3, mientras que el percentil 98 diario fue de 160,0 µg/m3, valor similar al máximo registrado en 2024 (161,8 µg/m3). Por su parte, en las estaciones Parque O´Higgins, Pudahuel y Rinconada

Lo Vial, las concentraciones registradas durante 2025 se mantienen, en términos generales, dentro de los rangos similares a los observados durante el trienio.

Tabla 5-6. Concentraciones medidas de MP10, 2023-2025 (µg/m3)

Año	Cerrillos II		Parque O´Higgins		Pudahuel		Rinconada Lo Vial	
	Promedio anual	P98 24h	Promedio anual	P98 24h	Promedio anual	P98 24h	Promedio anual	P98 24h
2023	68,6	157,7	70,6	160,3	62,9	155,9	44,7	118,1
2024	66,2	161,8	65,8	148,5	60,7	155,3	33,9	65,0
2025	71,2	160,0	66,3	156,0	61,0	155,3	34,5	66,9

Fuente: GAC

Por lo tanto, de acuerdo con los criterios presentados, y en línea con la Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA, se ha seleccionado el año 2025 como el peor año meteorológico, por lo tanto el año meteorológico a modelar con WRF.

5.6 Evaluación del modelo meteorológico

Para evaluar el desempeño de la modelación meteorológica utilizada en el modelo, se han analizado estadísticamente los datos medidos de vientos y temperatura durante el año 2025 para la estación meteorológica Parque O´Higgins ubicada a 5,73 kilómetros al este del proyecto, la estación Pudahuel ubicada a 1,37 kilómetros al norte del Proyecto y la estación El Villorrio ubicada a 14,52 kilómetros al suroeste del Proyecto. Las coordenadas se presentan en la Tabla 5-7 y las estaciones se pueden ver en la Figura 5-3. Para la evaluación del modelo se han extraído los resultados del modelo meteorológico para la coordenada (*x,y*) donde se emplaza la estación meteorológica, a 10 metros de altura, coincidente con la altura del anemómetro de la estación. Las variables consideradas para la evaluación corresponden a: velocidad del viento y dirección del viento y temperatura. Para cada parámetro se evaluó el ciclo diario y la serie de tiempo. Es importante tener en cuenta que los datos de la estación monitora corresponden a datos medidos en un punto, mientras que los datos obtenidos del modelo corresponden a datos representativos de una celda de 1 x 1 kilómetros.

Para la evaluación del modelo, además de comparaciones gráficas, se han utilizado distintos estadígrafos, los que se describen a continuación:

- **n** corresponde al número total de pares completos

- **Sesgo:** Corresponde a la diferencia entre el promedio modelado y el promedio observado

- **FAC2:** Predicción fraccionada, o factor de predicciones dentro de un factor de dos de las observaciones

$$0{,}5 \leq \frac{M_i}{O_i} \leq 2$$

- **Sesgo medio (SM):** Éste representa la tendencia del modelo a sobrestimar o subestimar las condiciones reales, cuantificando así el error sistemático del modelo. Para valores negativos el modelo tiende a subestimar el valor de las variables modeladas, y para valores positivos, el modelo tiende a sobreestimar.

	$\boldsymbol{SP = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{N}(M_i - O_i)}$	

- **Error absoluto medio (MAE):** Este coeficiente se utiliza para medir el desempeño de modelos y consiste en el promedio de los errores absolutos, este coeficiente ignora punto a punto si el error es una subestimación o sobreestimación del modelo.

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left|(M_i - O_i)\right|}{n}$$

- **Sesgo medio normalizado (SMN):** Sesgo medio pero normalizado respecto a los valores observados.

	$\boldsymbol{SMN = \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - O_i)}{\sum_{i=1}^{n}(O_i)}}$	

- **Error absoluto medio normalizado (NMAE**): Corresponde al MAE pero normalizado respecto a los valores observados.

$$NMAE = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{|(M_i - O_i)|}{O_i}}{n}$$

- **Error Cuadrático Medio (ECM):** Éste entrega la diferencia promedio entre los valores modelados y observados.

	$\boldsymbol{ECM = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(M_i - O_i)^2}{n}}}$	

- **Coeficiente de Correlación (r):** Este coeficiente entrega una medida de la relación lineal entre la variable modelada y la observada. El valor del coeficiente varía en el intervalo [-1,1]. Para el caso de la modelación, entre más cercano a 1, mejor es la capacidad del modelo de representar las condiciones atmosféricas.

	$\boldsymbol{r = \frac{1}{(1-n)} \sum_{i=1}^{N} \frac{(M_i - \bar{M})}{\sigma_M} \frac{(O_i - \bar{O})}{\sigma_o}}$

- **Índice de concordancia (IOA):** Éste corresponde al índice de concordancia revisado (Willmott et al. 2011). El valor del coeficiente varía en el intervalo [-1,1], donde 1 representa un modelo perfecto, un valor de 0,5 indica que la suma de las magnitudes de error son la mitad de la suma de las magnitudes de las desviaciones observadas, por lo general un IOA mayor que 0,5 indica un modelo con buen desempeño. Un coeficiente con valor de 0,0 indica que la suma de las magnitudes de error es equivalente a la suma de las magnitudes de las desviaciones observadas y un valor de -0,5 indica que son el doble.

$IOA = 1{,}0 - \frac{\sum_{i=1}^{n}|M_i - O_i|}{c\sum_{i=1}^{n}|O_i - \bar{O}|}$ cuando $\sum_{i=1}^{n}|M_i - O_i| \leq c\sum_{i=1}^{n}|O_i - \bar{O}|$

$IOA = \frac{c\sum_{i=1}^{n}|O_i - \bar{O}|}{\sum_{i=1}^{n}|M_i - O_i|} - 1{,}0$ cuando $\sum_{i=1}^{n}|M_i - O_i| > c\sum_{i=1}^{n}|O_i - \bar{O}|$

Con c = 2.

A continuación, se presentan los resultados para las variables consideradas, para las estaciones que se enumeran en la Tabla 5-7

Tabla 5-7. Coordenadas estación meteorológica

Estación de monitoreo	Coordenadas UTM Datum WGS 84 Huso 19S	
	Este	Norte
Parque O´Higgins	345.673	6.296.019
Pudahuel	337.311	6.298.809
El Villorrio	325.673	6.284.782

Fuente: GAC.

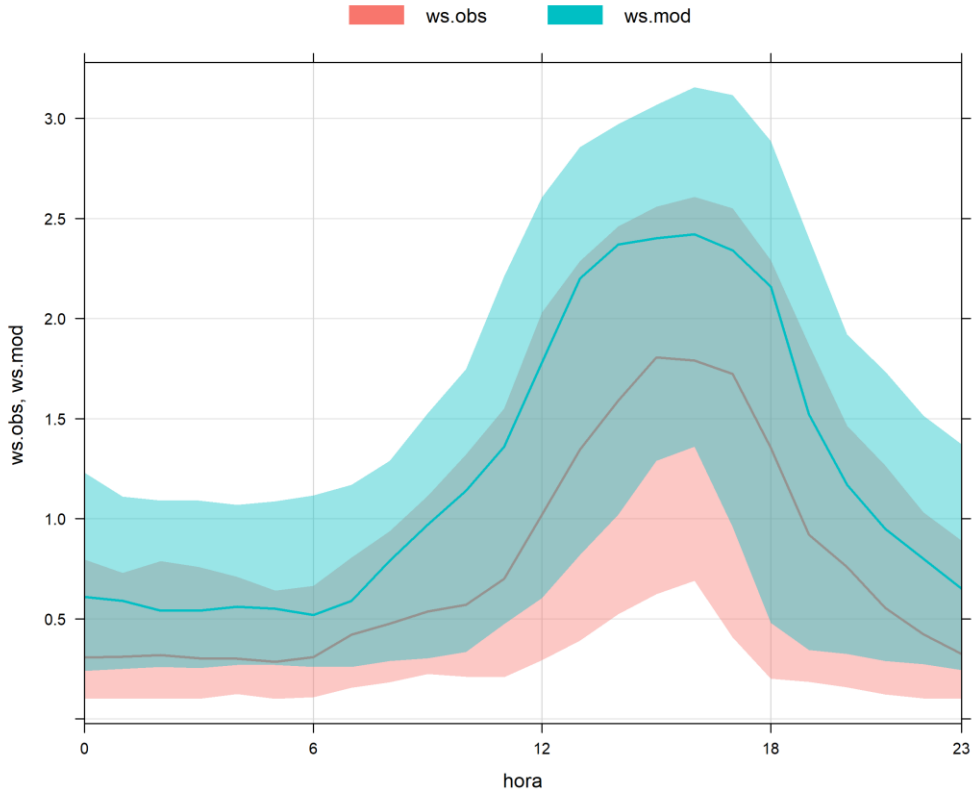
5.6.1 Velocidad del viento

A continuación, se presenta el análisis de la velocidad del viento en las tres estaciones analizadas.

5.6.1.1 Parque O´Higgins

En la Figura 5-6 se presenta el ciclo diario de la mediana de la velocidad del viento horaria modelada y observada junto con los percentiles 5 y 95 de los datos en el punto correspondiente a la estación meteorológica Parque O´Higgins. En ella, se puede observar que el ciclo diario de los datos modelados de velocidad del viento presenta una buena correlación respecto al ciclo diario de los datos medidos en la estación, con incremento progresivo de la velocidad del viento desde la mañana hasta alcanzar su máximo entre las 15:00 y 16:00 horas aproximadamente. Sin embargo, se aprecia un sesgo positivo sistemático a lo largo de todo el ciclo diario.

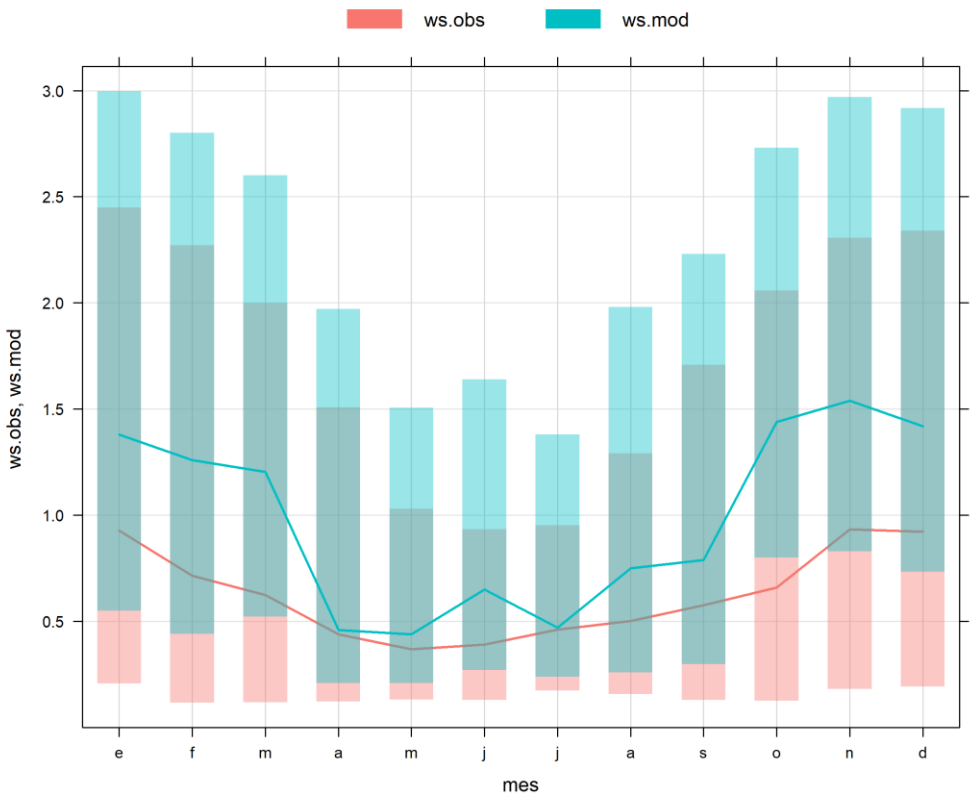
Figura 5-6. Ciclo diario de la velocidad del viento modelada y observada. Estación Parque O´Higgins, año 2025.



Fuente: GAC

En la Figura 5-7 se presenta el ciclo anual de la mediana de la velocidad del viento observada y modelada con los percentiles 5 y 95 en la estación meteorológica Parque O´Higgins. Se aprecia que ambos ciclos presentan una alta correlación, reproduciendo adecuadamente el patrón estacional de la velocidad del viento, con valores mínimos entre abril y julio y un incremento progresivo desde agosto, alcanzando los valores más altos entre octubre y diciembre.

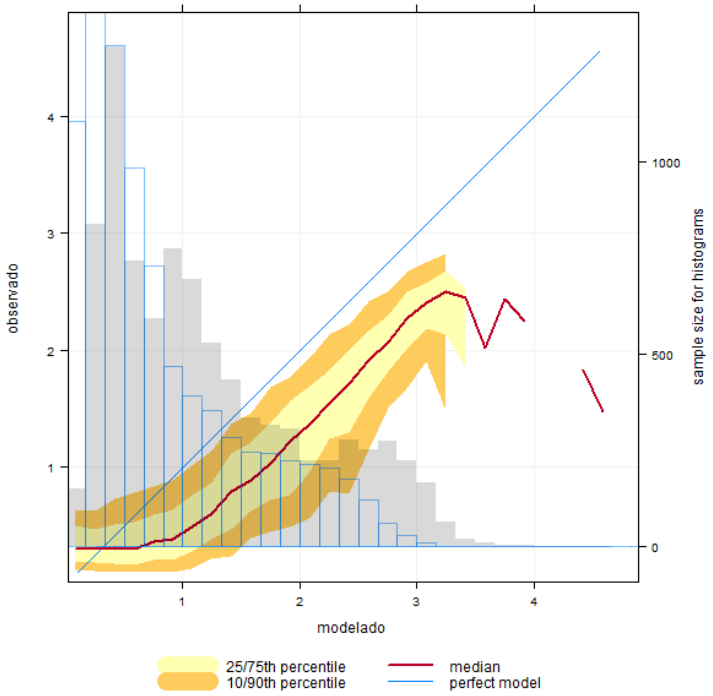
Figura 5-7. Ciclo mensual de la velocidad del viento modelada y observada. Estación Parque O´Higgins, año 2025.



Fuente: GAC

El grafico de la Figura 5-8 muestra una muy alta correlación entre las velocidades del viento observadas y modeladas en estación meteorológica Parque O´Higgins ya que el diagrama de dispersión muestra una mediana casi paralela a la recta de 45 grados. Con respecto al histograma, se observa que la velocidad del viento modelada presenta una mayor frecuencia de velocidades intermedias, mientras que la observada se concentra principalmente en velocidades bajas.

Figura 5-8. Cuantiles condicionales e histograma de velocidad del viento observada y modelada. Estación Parque O´Higgins, año 2025.

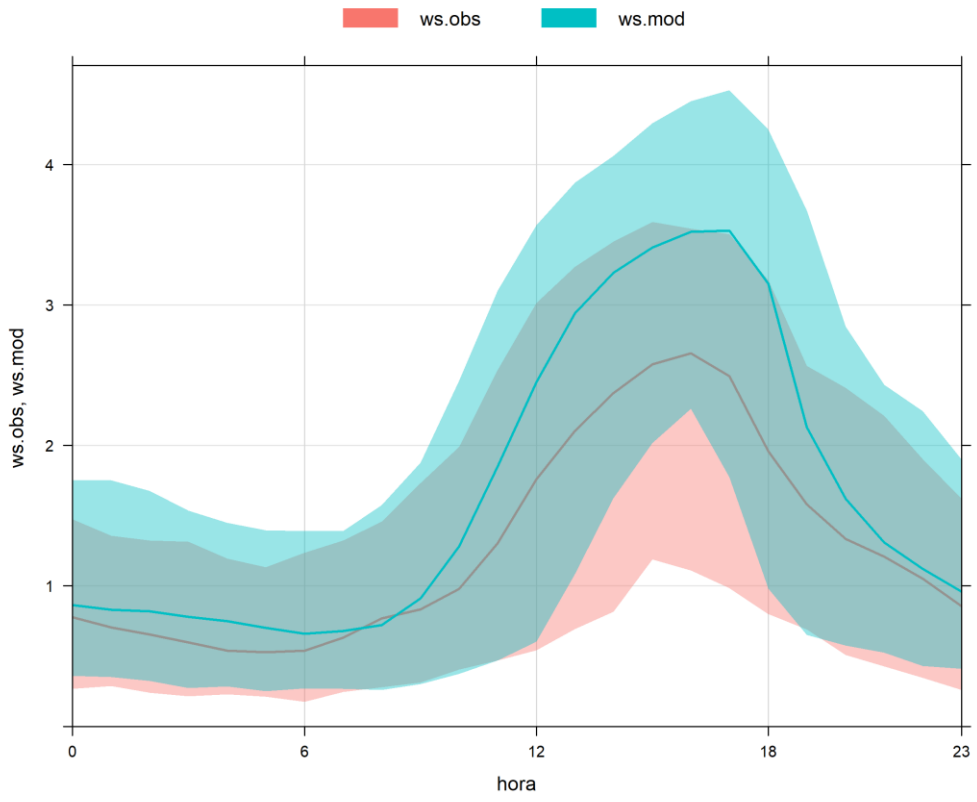


Fuente: GAC

5.6.1.2 Pudahuel

En la Figura 5-9 se presenta el ciclo diario de la mediana de la velocidad del viento horaria modelada y observada junto con los percentiles 5 y 95 de los datos en el punto correspondiente a la estación meteorológica Pudahuel. En ella, se puede observar que el modelo presenta una buena correlación con los datos medidos en la estación, con un incremento progresivo de la velocidad del viento desde la mañana hasta alcanzar su máximo entre las 14:00 y 16:00 horas aproximadamente. No obstante, se precia un sesgo positivo sistemático a lo largo del ciclo diario.

Figura 5-9. Ciclo diario de la velocidad del viento modelada y observada.

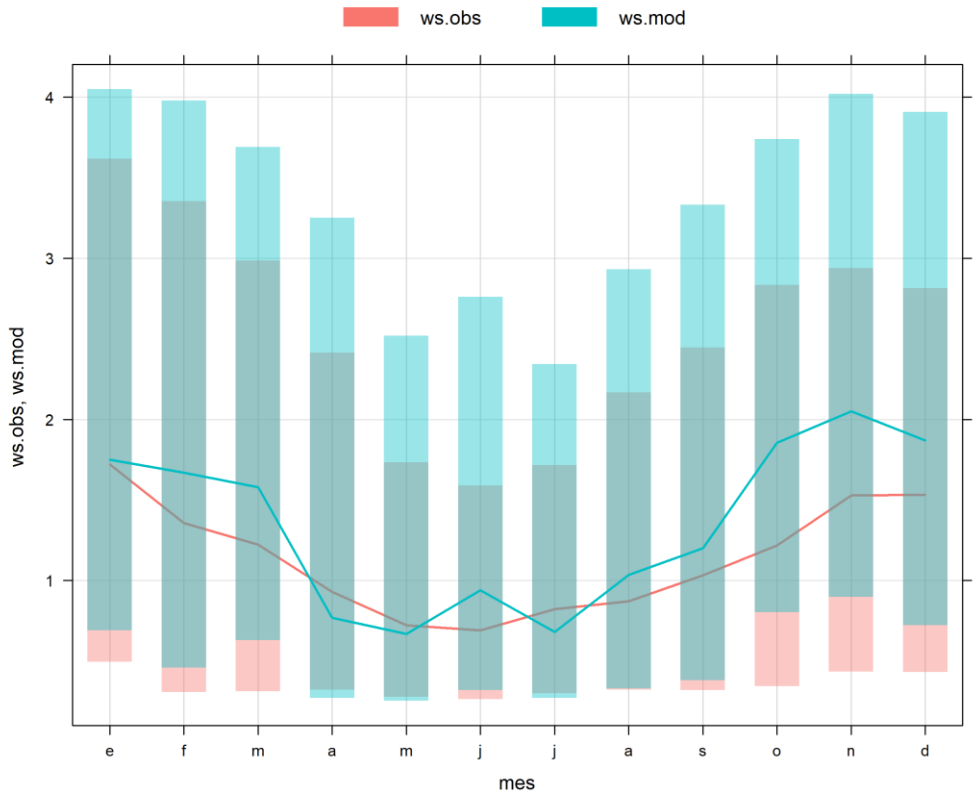


Fuente: GAC

En la Figura 5-10 se presenta el ciclo anual de la mediana de la velocidad del viento observada y modelada con los percentiles 5 y 95 en la estación Pudahuel, donde se observa en general una muy alta correlación entra ambos ciclos, pero con un sesgo positivo sistemático, con excepción de los meses de abril, mayo y julio, que presentan un sesgo negativo.

Figura 5-10. Ciclo mensual de la velocidad del viento modelada y observada.

Estación Pudahuel, año 2025.

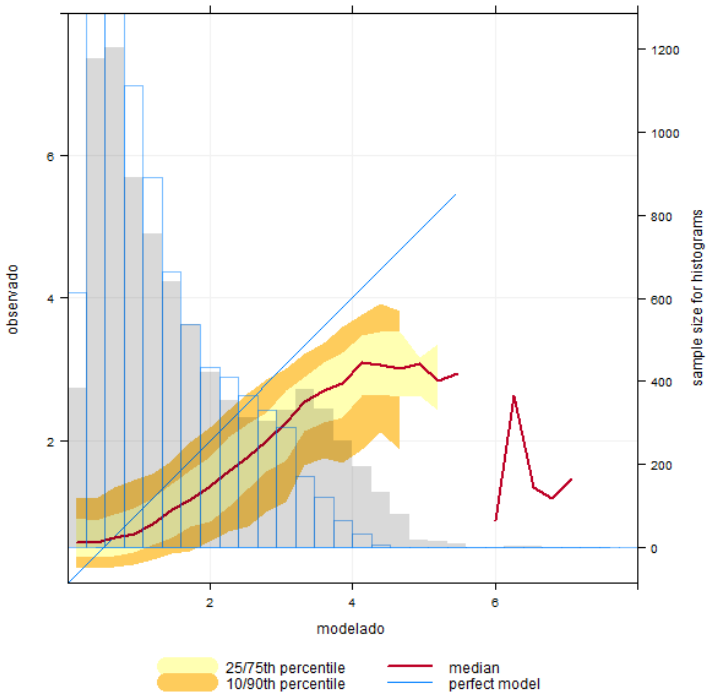


Fuente: GAC

El gráfico de la Figura 5-11 muestra una muy alta correlación entre las velocidades del viento observadas y modeladas en estación meteorológica Pudahuel. Con respecto a los histogramas, se observa que ambas distribuciones presentan una mayor concentración de registros en velocidades bajas.

Figura 5-11. Cuantiles condicionales e histograma de velocidad del viento observada y modelada.

Estación Pudahuel. año 2025.



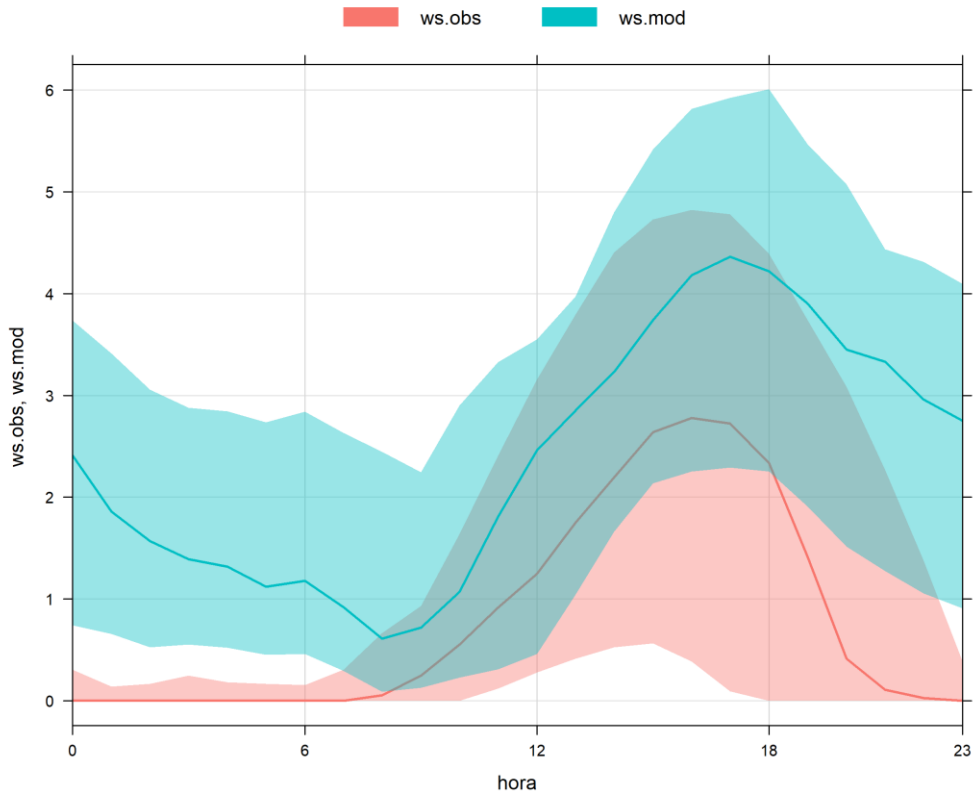
Fuente: GAC

5.6.1.3 El Villorrio

En la Figura 5-12 se presenta el ciclo diario de la mediana de la velocidad del viento horaria modelada y observada junto con los percentiles 5 y 95 de los datos en el punto correspondiente a la estación meteorológica El Villorrio. En ella, se puede observar que el ciclo diario de los datos modelados de velocidad del viento presenta una buena correlación respecto al ciclo diario de los datos medidos. No obstante, se identifica un sesgo positivo sistemático a lo largo de todo el día.

Figura 5-12. Ciclo diario de la velocidad del viento modelada y observada.

Estación El Villorrio, año 2025

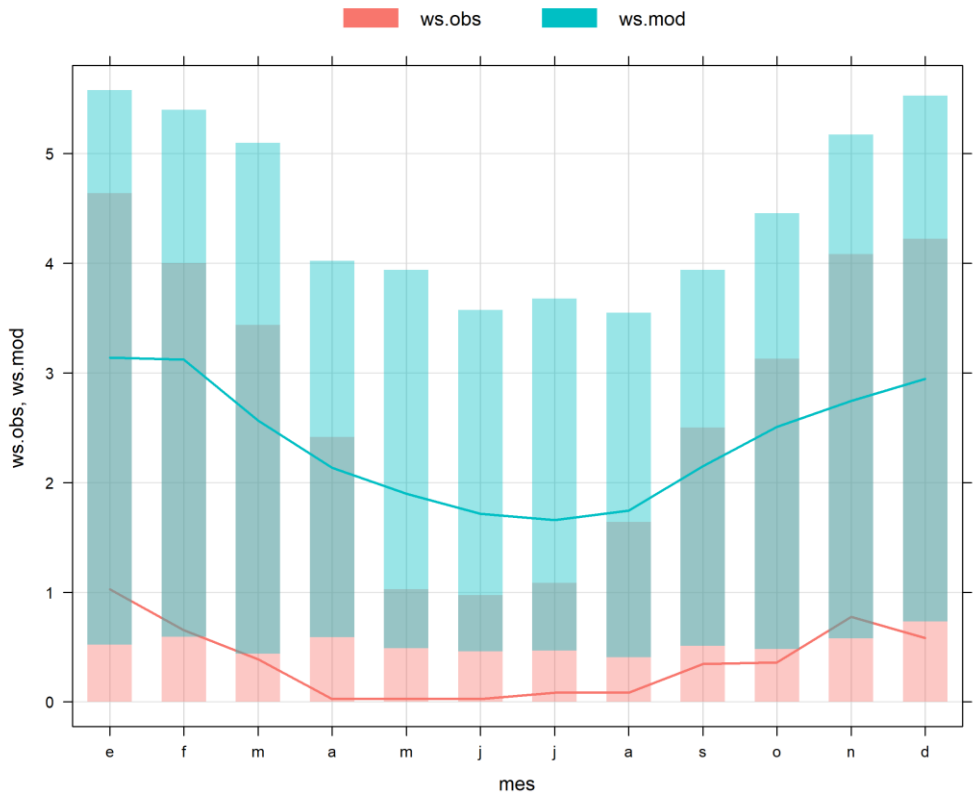


Fuente: GAC

En la Figura 5-13 se presenta el ciclo anual de la mediana de la velocidad del viento observada y modelada con los percentiles 5 y 95 en la estación meteorológica El Villorrio para el año 2025. Se aprecia que ambos ciclos presentan un comportamiento estacional similar, con mayores velocidades durante los meses de verano y menores durante el periodo invernal. No obstante, los datos modelados presentan medianas sistemáticamente más altas que las observadas a lo largo de todo el año.

Figura 5-13. Ciclo mensual de la velocidad del viento modelada y observada.

Estación El Villorrio, año 2025.

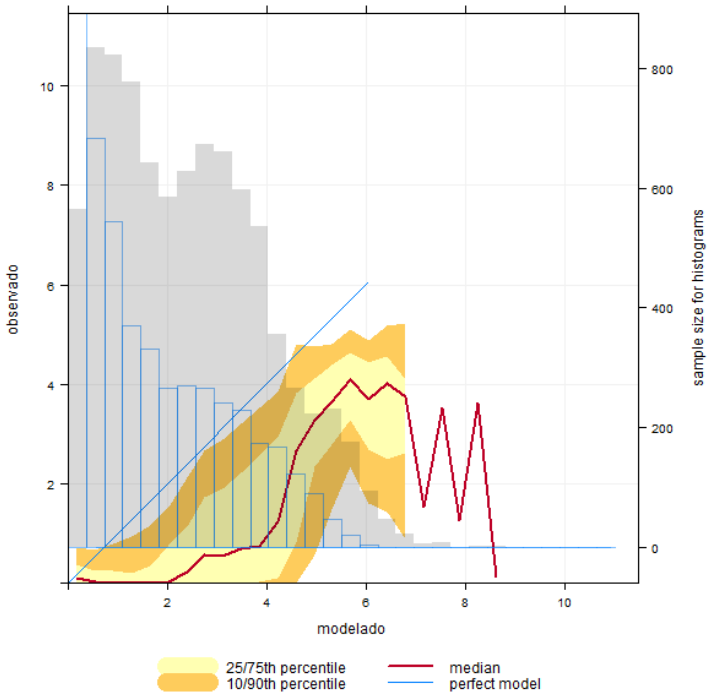


Fuente: GAC

El grafico de la Figura 5-14 muestra una muy alta correlación entre las velocidades del viento observadas y modeladas en estación meteorológica El Villorrio ya que el diagrama de dispersión muestra una mediana casi paralela a la recta de 45 grados. En el histograma se observa que las distribuciones de frecuencias entre datos observados y modelados son similares, concentrándose ambas en los rangos más frecuentes (aproximadamente entre 0 y 4 m/s), con un mayor número de datos para las velocidades modeladas.

Figura 5-14. Cuantiles condicionales e histograma de velocidad del viento observada y modelada.

Estación El Villorrio. año 2025.



Fuente: GAC

5.6.1.4 Estadígrafos de desempeño - Velocidad del viento

La Tabla 5-8 muestra los promedios y máximos de la velocidad del viento en conjunto con el porcentaje de calmas, para las estaciones Parque O´Higgins, Pudahuel y El Villorrio, considerando los datos observados y modelados. En las tres estaciones se observa un sesgo positivo en la velocidad media del viento, evidenciado por promedios modelados superiores a los registrados en las estaciones de monitoreo. Por su parte, los valores máximos modelados también superan a los observados en ambas estaciones. En cuanto al porcentaje de calmas, los datos observados presentan valores superiores a los modelados en todas las estaciones, siendo esta diferencia más marcada en la estación El Villorrio (59,09% observado y 9,61% modelado), seguida de Parque O´Higgins (45,65% observado y 25,41% modelado) y Pudahuel (20,31% observado y 15,61% modelado).

Tabla 5-8: Estadígrafos velocidad del viento.

Variable	Parque O´Higgins		Pudahuel		El Villorrio	
	Observado	Modelado	Observado	Modelado	Observado	Modelado
Promedio (m/s)	0,81	1,22	1,31	1,69	0,96	2,44
Mediana (m/s)	0,55	1,00	1,05	1,32	0,17	2,29
Máximo (m/s)	4,56	4,66	5,45	7,62	6,03	10,93
Porcentaje de calmas (%)	45,65	25,41	20,31	15,61	59,09	9,61

Fuente: GAC

La Tabla 5-9 muestra los estadígrafos de desempeño y comparación de los datos simulados por WRF respecto a los datos medidos en las estaciones meteorológicas. Para la estación Parque O´Higgins se aprecia un sesgo normalizado (SMN) de 50,8%, con un error absoluto medio normalizado (NMAE) de 62,4%, una correlación (r) de 0,81 y un índice de concordancia de 0,55.

Para la estación Pudahuel se aprecia un sesgo normalizado (SMN) de 28,3%, con un error absoluto medio normalizado (NMAE) de 48,4%, una correlación (r) de 0,78 y un índice de concordancia de 0,59.

Por último, para la estación El Villorrio se aprecia un sesgo normalizado (SMN) de 155,0%, con un error absoluto medio normalizado (NMAE) de 164,0%, una buena correlación (r) de 0,64 y un índice de concordancia de 0,28.

Tabla 5-9: Estadígrafos de desempeño velocidad del viento. Año 2025.

Estación	n	Sesgo	FAC2	BIAS	MAE	SMN	NMAE	RMSE	r	IOA
Parque O´Higgins	8750	0,41	0,61	0,41	0,50	50,8%	62,4%	0,64	0,81	0,55
Pudahuel	8744	0,37	0,71	0,37	0,64	28,3%	48,4%	0,86	0,78	0,59
El Villorrio	8759	1,48	0,30	1,48	1,57	155,0%	164,0%	1,96	0,64	0,28

Fuente: GAC

Acorde a la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” (MMA, 2023), a continuación, se indican la comparativa de las métricas para el análisis cuantitativo esperado y obtenido en las estaciones monitoras mencionadas anteriormente.

Tabla 5-10: Comparativa de Estadígrafos de desempeño velocidad del viento. Año 2025.

Estación	Obtenido				Esperado			
	BIAS	MAE	RMSE	r	BIAS	MAE	RMSE	r
Parque O´Higgins	0,41	0,50	0,64	0,81	[-2,5;2,5] (m/s)	≤3 (m/s)	≤3,5 (m/s)	>0,6
Pudahuel	0,37	0,64	0,86	0,78				
El Villorrio	1,48	1,57	1,96	0,64				

Fuente: Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” (MMA, 2023), GAC.

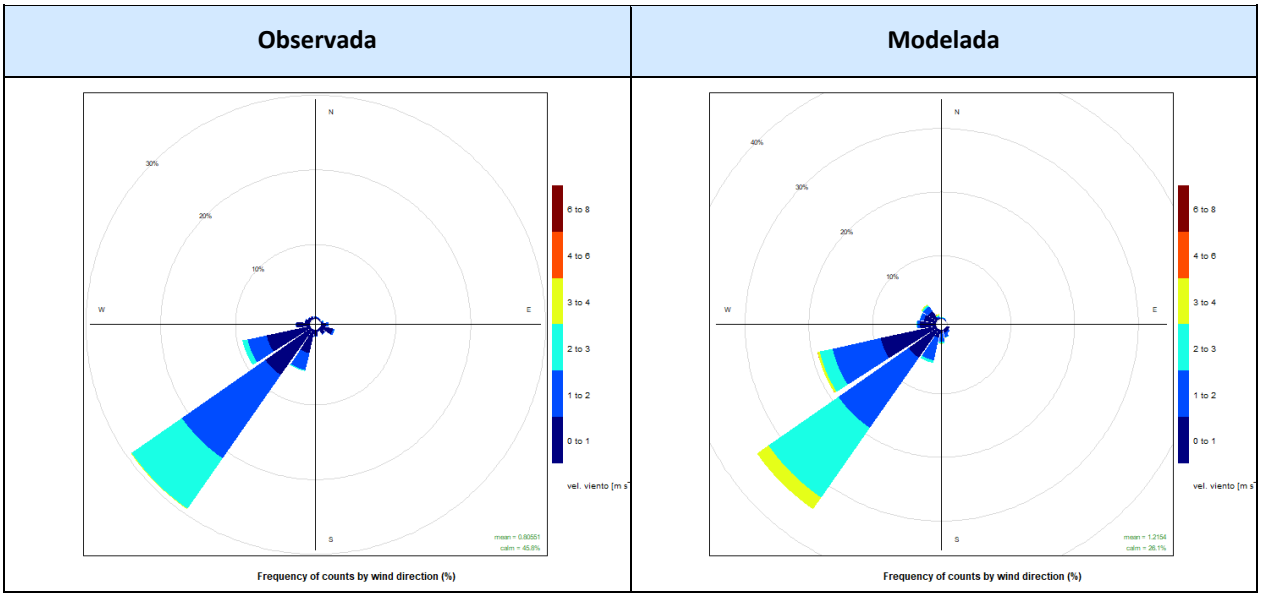
De la tabla anterior se observa que los estadígrafos muestran un buen desempeño de los datos modelados y por tanto entrega el grado de confianza necesario para una buena interpretación de la dispersión de los contaminantes en el área de estudio.

5.7 Dirección del viento

5.7.1.1 Parque O´Higgins

En la Figura 5-15 se presenta la rosa de los vientos correspondiente a los valores de dirección del viento modelada y observada en el punto correspondiente a la estación meteorológica Parque O´Higgins para el año 2025. Tanto la rosa observada como la modelada presentan un claro predominio de la componente Suroeste (SO). No obstante, la distribución modelada muestra una mayor participación de la componente Oeste-Suroeste (OSO) en comparación con la rosa observada. En términos generales, el modelo reproduce adecuadamente la dirección predominante del viento.

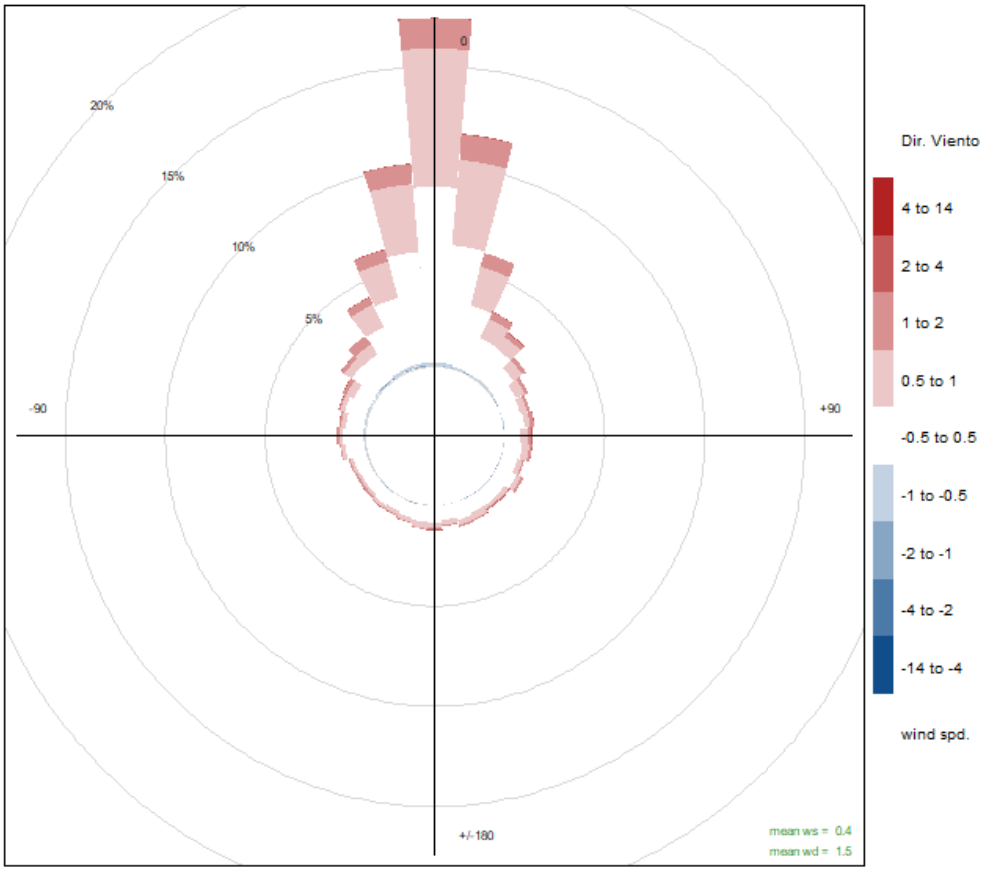
Figura 5-15. Rosa de los vientos observada y modelada año 2025.
Estación Parque O´Higgins



Fuente: GAC

El gráfico polar de la Figura 5-16 muestra una frecuencia mayor de datos en tonos burdeos que azules, pero también una gran frecuencia de datos en color blanco, lo que indica una frecuencia alta de datos modelados de magnitudes de vientos con sesgos cercanos a cero respecto a los datos medidos. El delta promedio de la magnitud del viento modelado es de 0,4 m/s respecto al promedio de las magnitudes observadas. Respecto a las direcciones de viento, los datos observados presentan una rotación promedio de 1,5 grados en sentido horario.

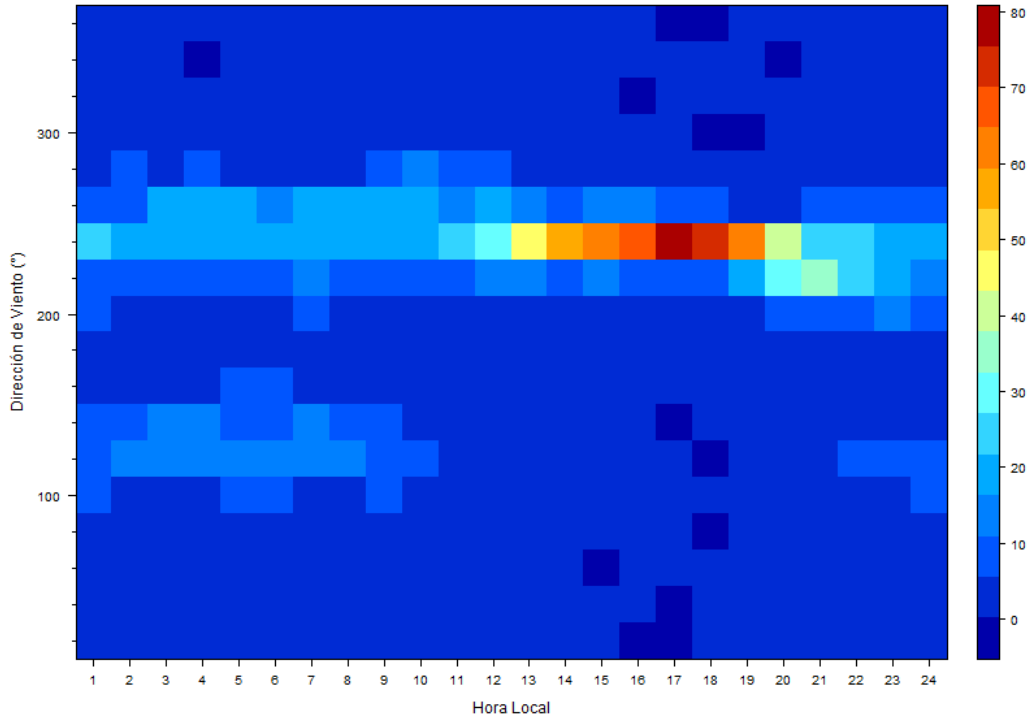
Figura 5-16. Gráfico polar con frecuencia de desviación entre direcciones de viento modeladas y observadas por intervalos de diferencia en magnitud de velocidad del viento. Estación Parque O´Higgins. Año 2025.



Fuente: GAC

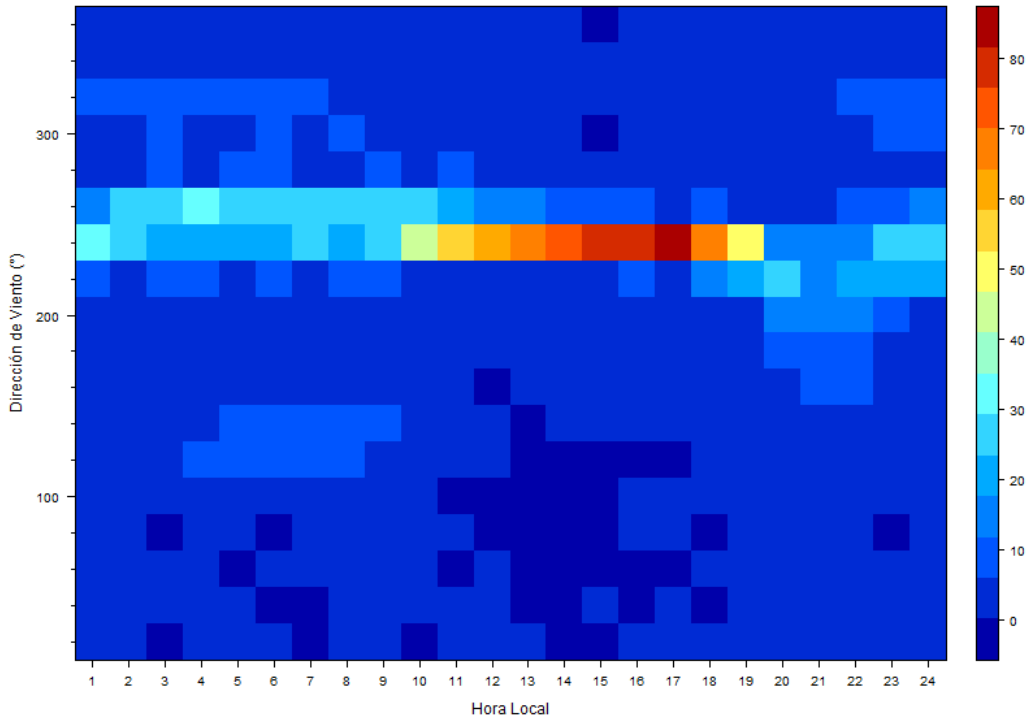
La Figura 5-17 y Figura 5-18 presentan el ciclo diario de la dirección del viento observada y modelada para la estación Parque O´Higgins el año 2025. En ambos ciclos se observa un predominio de vientos provenientes del cuadrante Suroeste (SO) a lo largo del día, concentrándose principalmente en torno a los 240°-250°. Esta componente se intensifica durante la tarde, aproximadamente entre las 13:00 y 19:00 horas, tanto en los datos observados como modelados. En términos generales, la modelación reproduce adecuadamente el patrón diario observado, tanto en la dirección predominante como en su intensificación durante las horas de la tarde.

Figura 5-17. Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025.



Fuente: GAC

Figura 5-18. Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025.

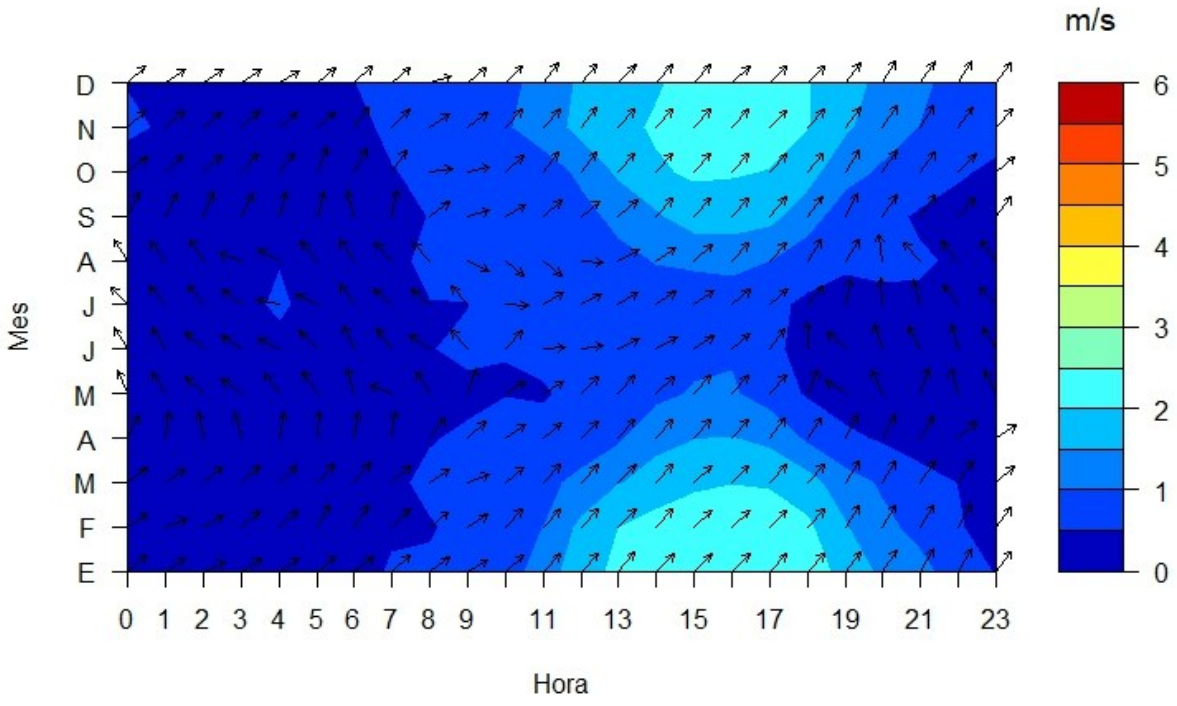


Fuente: GAC

La Figura 5-19 y Figura 5-20 muestran el ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada y modelada para la estación Parque O´Higgins durante el año 2025. En ambas representaciones se observa un marcado ciclo diario, con las mayores velocidades concentradas principalmente durante las horas de la tarde, aproximadamente entre las 12:00 y 18:00 horas, siendo más intensas durante los meses de primavera y verano.

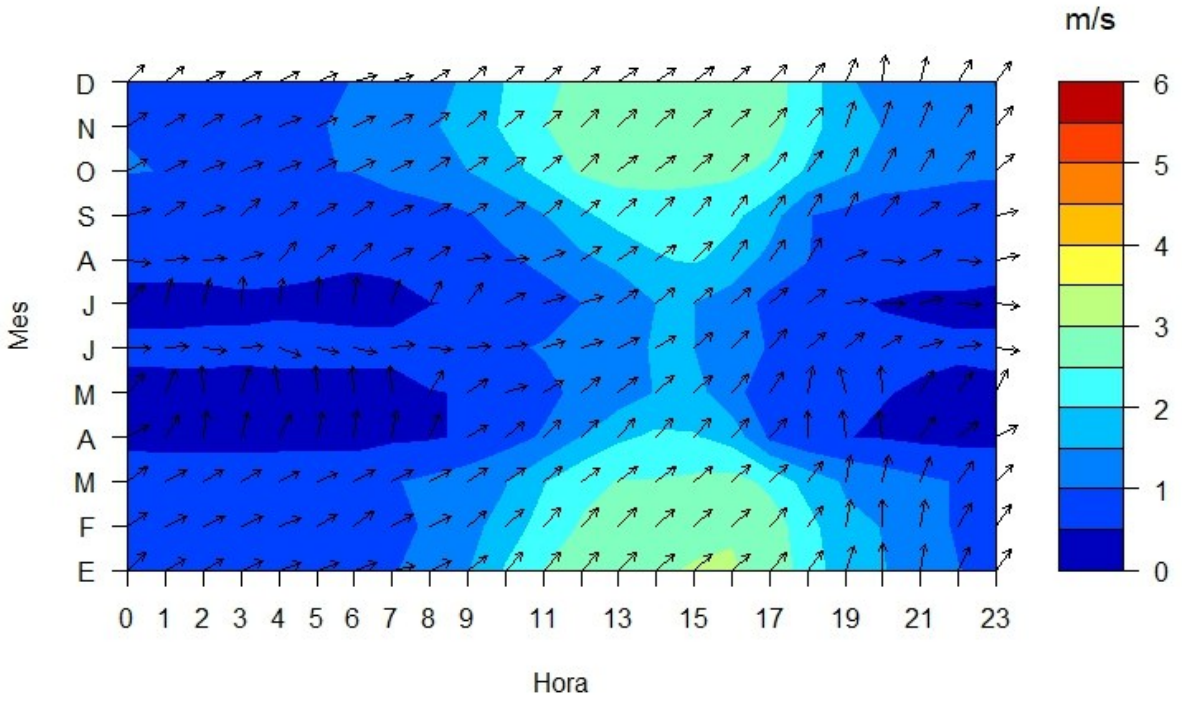
En términos de magnitud, las velocidades observadas y modeladas presentan una buen concordancia estacional, reproduciendo el incremento diurno y la disminución de las velocidades durante la noche y primeras horas de la mañana. No obstante, el modelo tiende a representar velocidades ligeramente superiores a las observadas, particularmente durante primavera y verano. Por su parte, los ciclos estacionales de la dirección del viento presentan, en términos generales, un comportamiento similar entre ellos.

Figura 5-19. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025.



Fuente: GAC

Figura 5-20. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento modelada. Estación Parque O´Higgins. Año 2025.

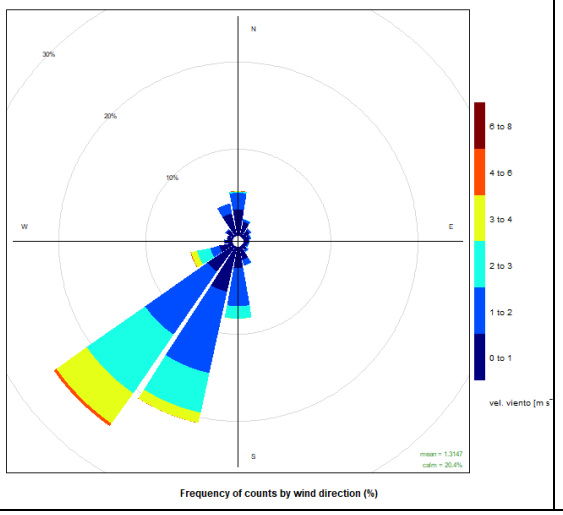
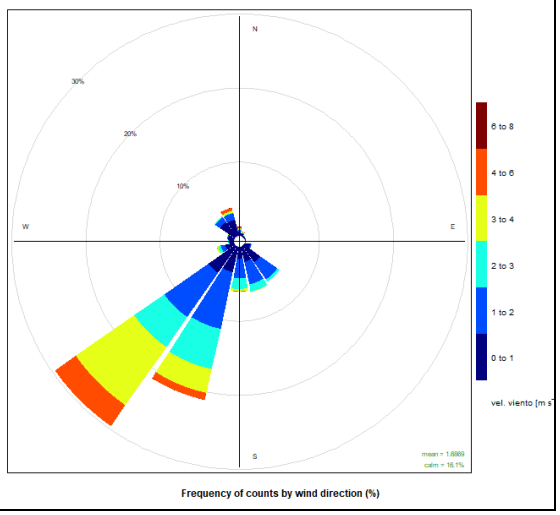


Fuente: GAC

5.7.1.2 Pudahuel

En la Figura 5-21 se presenta la rosa de los vientos correspondiente a los valores de dirección del viento modelada y observada en el punto correspondiente a la estación meteorológica Pudahuel para el año 2025. La rosa observada presenta un claro predominio de vientos provenientes del Suroeste (SO), con una participación secundaria de las componentes Sur-Suroeste (SSO) y Sur (S). Por su parte, la rosa modelada reproduce de igual forma los vientos con dirección Suroeste (SO) y una participación secundaria de vientos provenientes del Sur-Suroeste (SSO). En términos generales, ambas representaciones muestran concordancia respecto de la dirección predominante del viento, asociada principalmente al cuadrante suroeste.

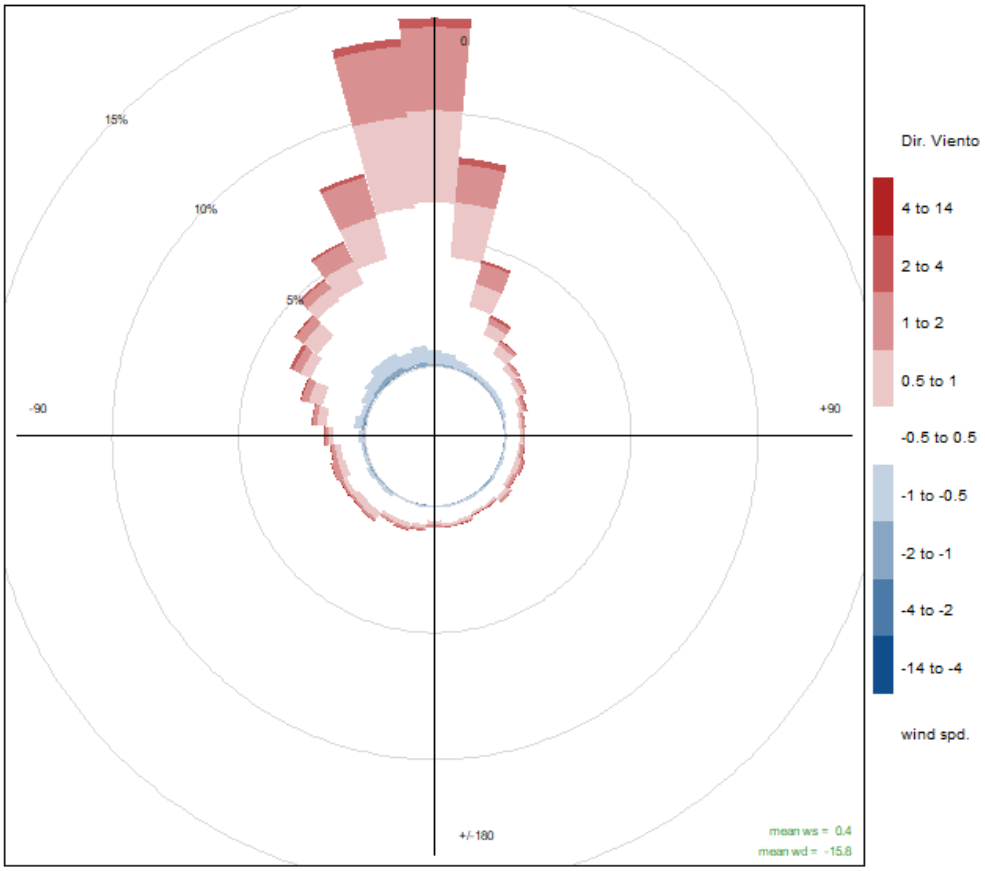
Figura 5-21. Rosa de los vientos observada y modelada año 2025.Estación Pudahuel.

Observada	Modelada
	

Fuente: GAC

El gráfico polar de la Figura 5-22 muestra una frecuencia mayor de datos en tonos burdeos que azules, con una frecuencia alta de datos en color blanco, lo que indica que existe un sesgo promedio entre ambas series de 0,4 m/s. Respecto a las direcciones de viento, los datos observados presentan una rotación promedio de 15,8 grados en sentido antihorario.

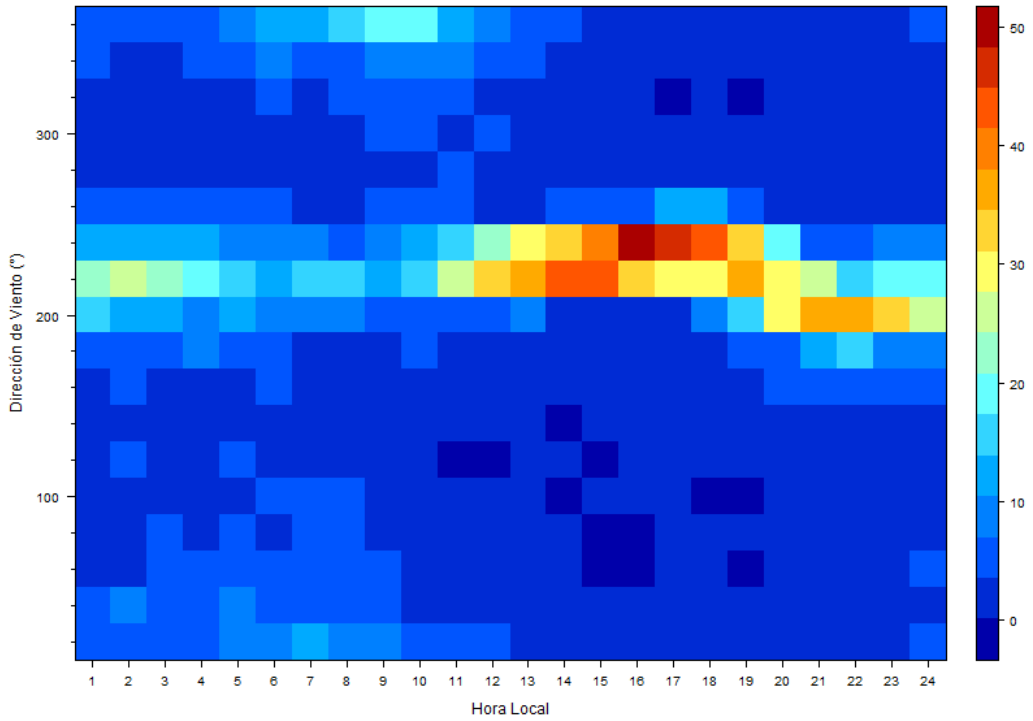
Figura 5-22. Gráfico polar con frecuencia de desviación entre direcciones de viento modeladas y observadas por intervalos de diferencia en magnitud de velocidad del viento. Estación Pudahuel. Año 2025.



Fuente: GAC

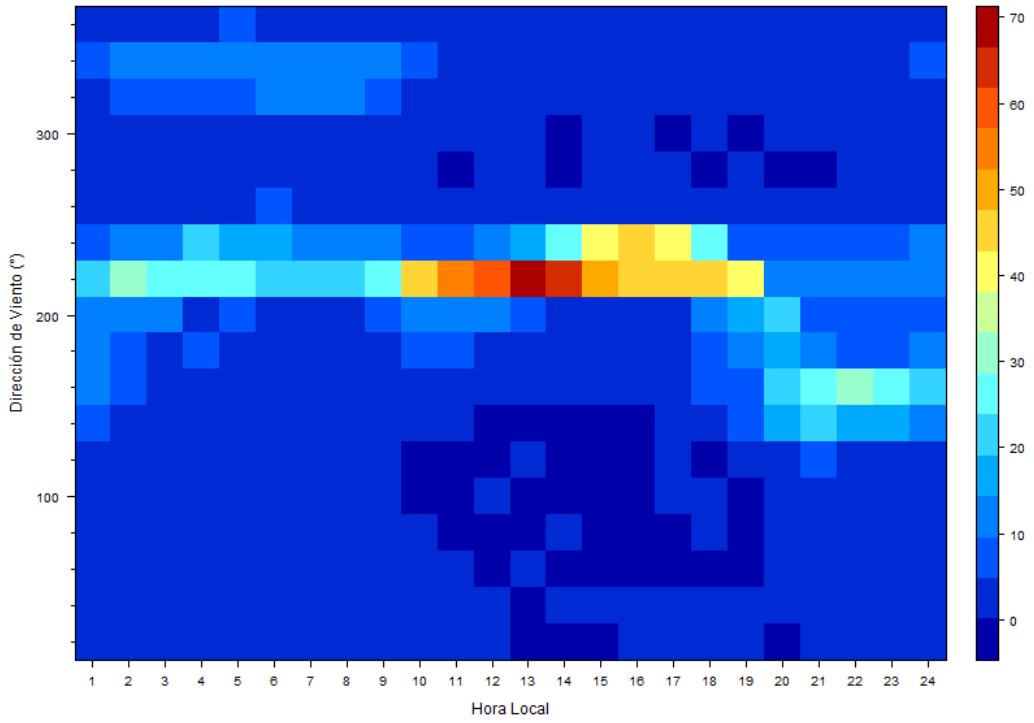
La Figura 5-23 y Figura 5-24 muestran las frecuencias de vientos observadas y modeladas para distintas horas del día. En ambas representaciones se observa un predominio de vientos provenientes del cuadrante suroeste durante el periodo diurno. No obstante, los datos observados presentan las mayores frecuencias principalmente ente las 13:00 y 19:00 horas, asociadas a las componentes Suroeste (SO) y Oeste-Suroeste (OSO), mientras que el modelo concentra las mayores frecuencias entre las 10:00 y 19:00 horas, con un predominio de la componente Suroeste (SO).

Figura 5-23. Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación Pudahuel. Año 2025.



Fuente: GAC

Figura 5-24. Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Estación Pudahuel. Año 2025.



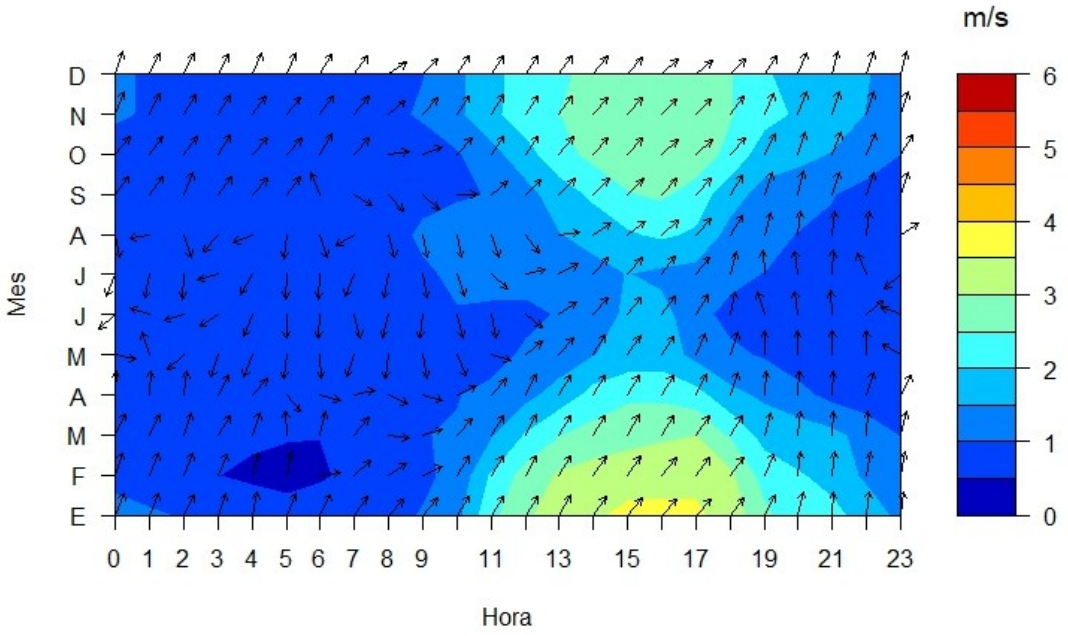
Fuente: GAC

La

Figura 5-25 y Figura 5-26muestran el ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada y modelada para la estación Pudahuel durante el año 2025. En ambas representaciones se observa que las mayores velocidades se presentan durante las horas de la tarde, aproximadamente entre las 10:00 y 19:00 horas, con una mayor intensidad durante los meses de primavera y verano.

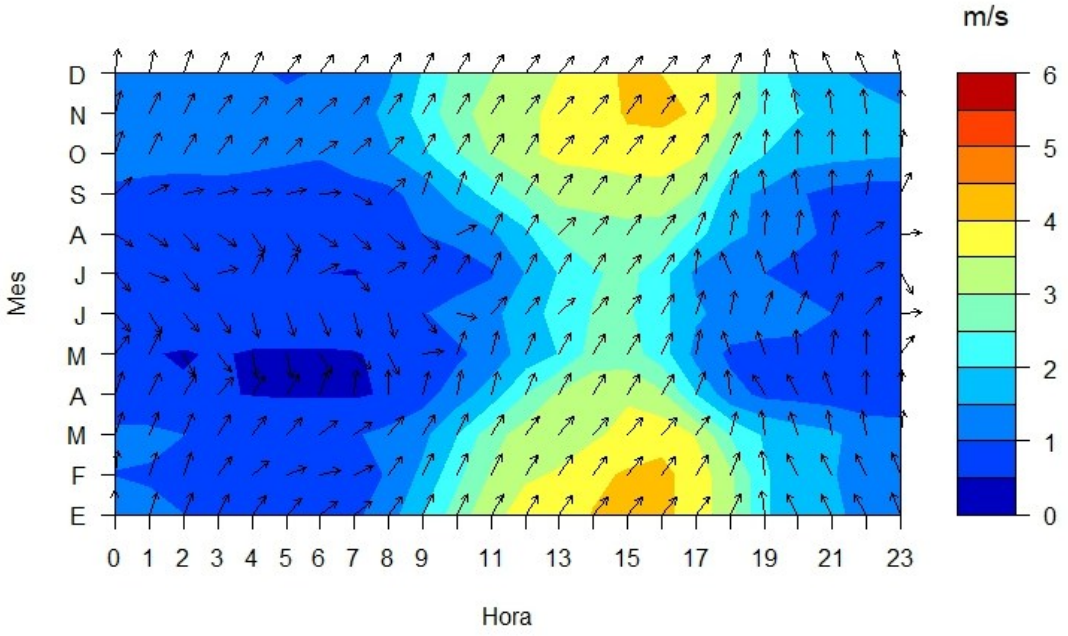
En términos de magnitud, ambos ciclos presentan un comportamiento estacional similar, sin embargo, el modelo tiende a representar velocidades superiores a las observadas, particularmente durante primavera y verano. Durante otoño e invierno predominan velocidades más bajas, especialmente en horas de la madrugada y mañana. En cuanto a la dirección del viento, los ciclos observados y modelados presentan un patrón general similar.

Figura 5-25. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada. Estación Pudahuel. Año 2025.



Fuente: GAC

Figura 5-26. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento modelada. Estación Pudahuel. Año 2025.

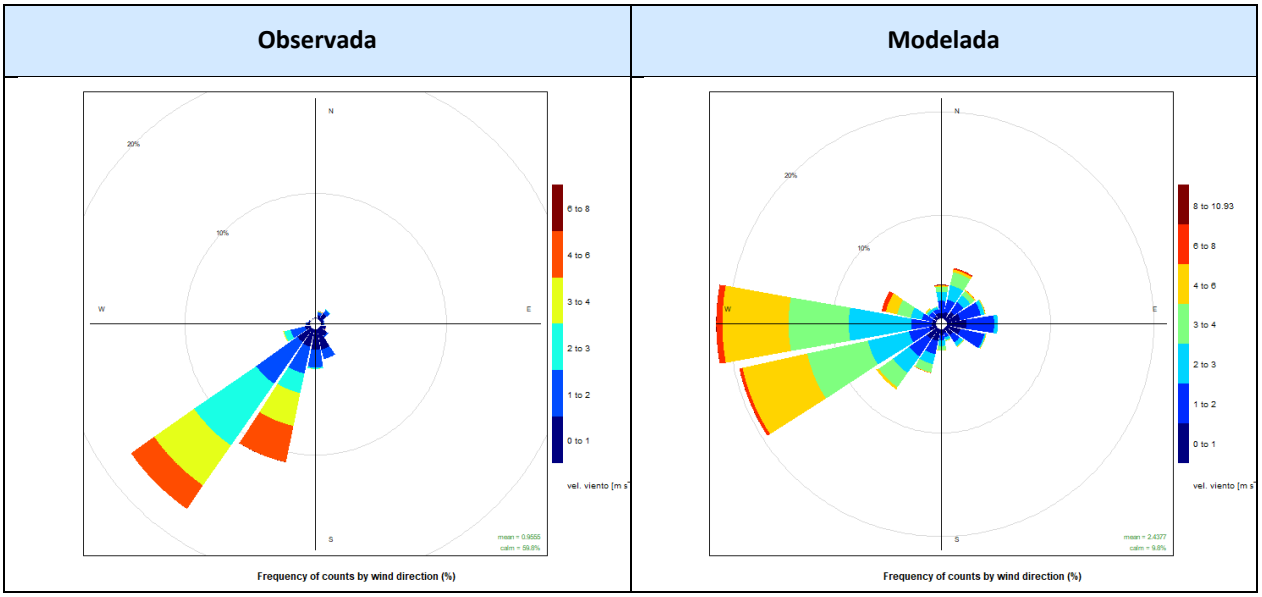


Fuente: GAC

5.7.1.3 El Villorrio

En la Figura 5-27 se presenta la rosa de los vientos correspondiente a los valores de dirección del viento modelada y observada en el punto correspondiente a la estación El Villorrio. La rosa observada presenta una marcada predominancia de vientos provenientes del Suroeste (SO), con una componente secundaria Sur-Suroeste (SSO). Por su parte, la rosa modelada reproduce la componente Suroeste (SO), aunque presenta una mayore predominancia de vientos provenientes del Oeste (O) y Oeste-Suroeste (OSO).

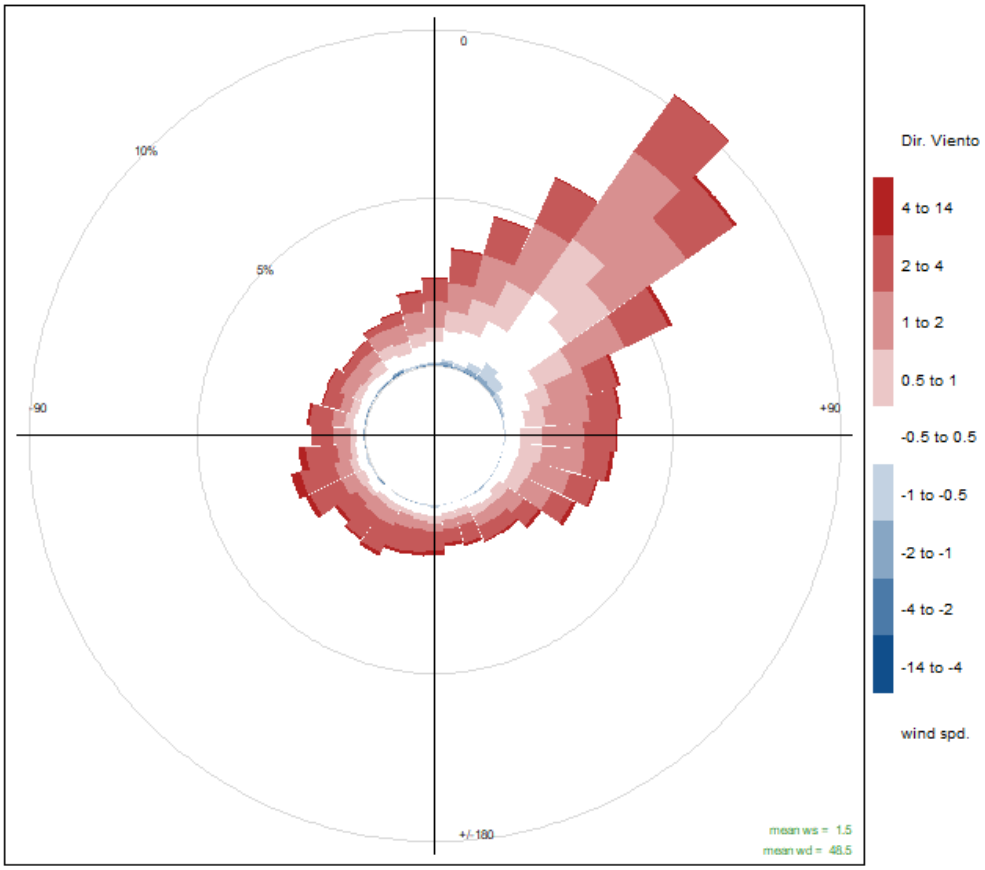
Figura 5-27. Rosa de los vientos observada y modelada año 2025. Estación El Villorrio.



Fuente: GAC

El gráfico polar de la Figura 5-28 muestra una frecuencia mayor de datos en tonos burdeos que azules, con una frecuencia alta de datos en color blanco, lo que indica que existe un sesgo promedio entre ambas series de 1,5 m/s. Respecto a las direcciones de viento, los datos observados presentan una rotación promedio de 48,5 grados en sentido horario.

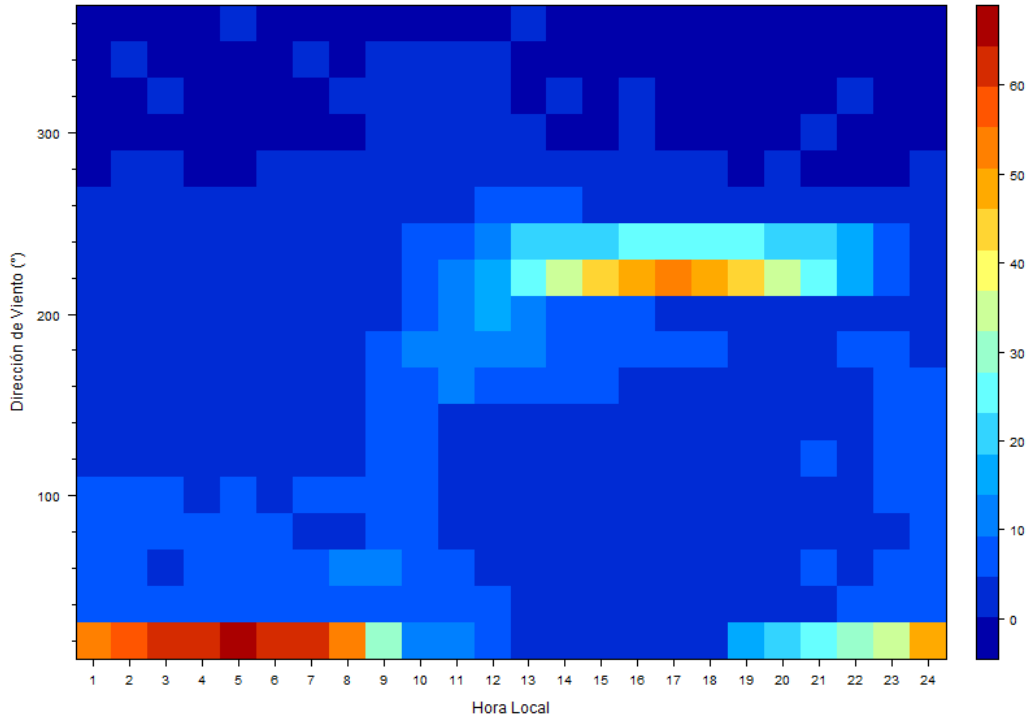
Figura 5-28. Gráfico polar con frecuencia de desviación entre direcciones de viento modeladas y observadas por intervalos de diferencia en magnitud de velocidad del viento. Estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

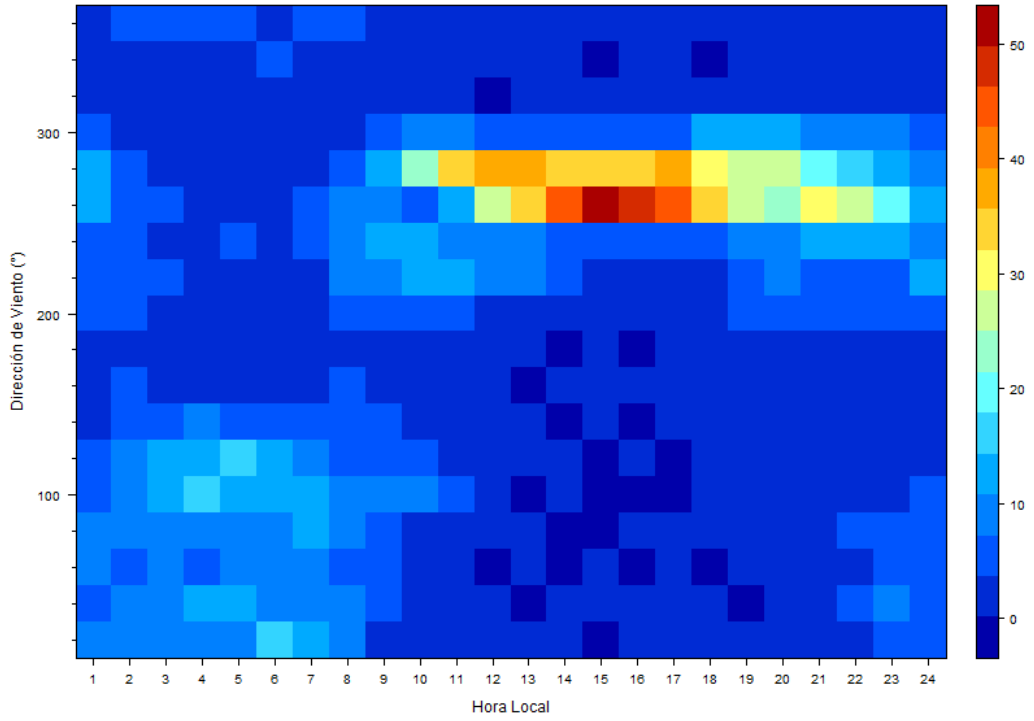
La Figura 5-29 y Figura 5-30 muestran las frecuencias de vientos observadas y modeladas para distintas horas del día, donde es posible observar una alta correlación entre las direcciones de viento modeladas y observadas más predominantes. En los datos observados se aprecia una marcada componente Norte durante la madrugada, principalmente entre las 01:00 y 08:00 horas, mientras que durante el periodo diurno predominan los vientos del Suroeste, especialmente entre las 14:00 y 19:00 horas. Por su parte, los datos modelados presentan un predominio de vientos del Oeste durante el periodo diurno, principalmente entre las 14:00 y 18:00 horas.

Figura 5-29. Ciclo diario de la dirección del viento observada. Estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

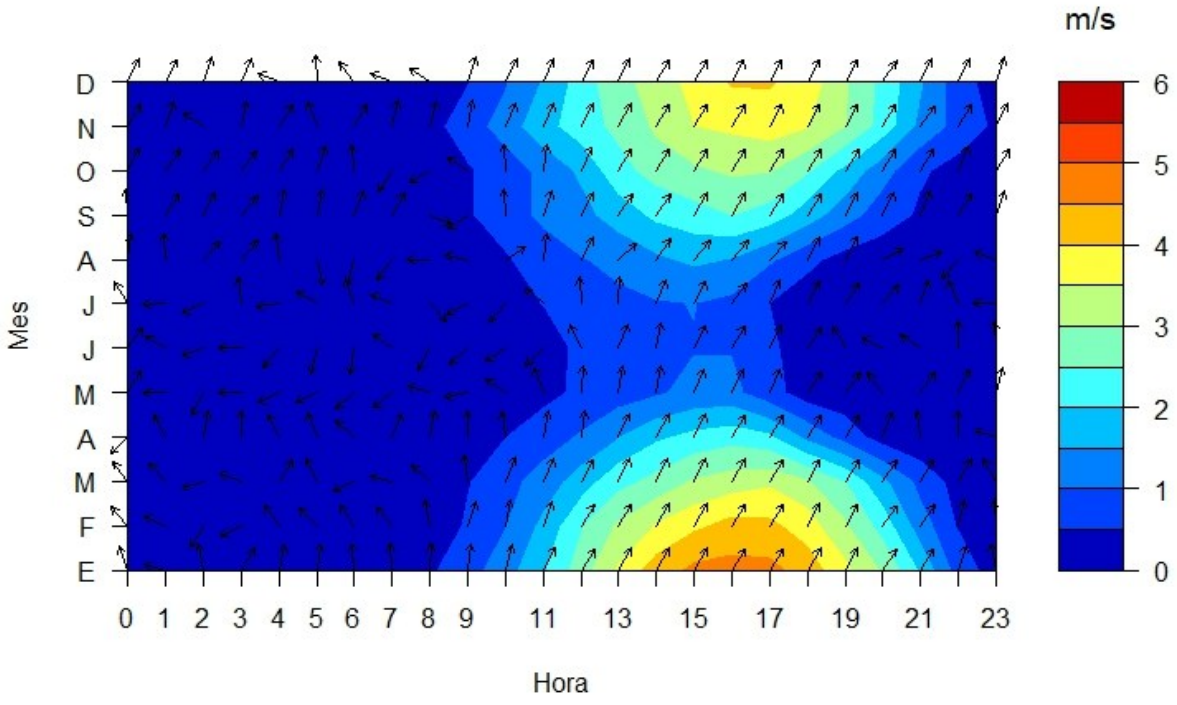
Figura 5-30. Ciclo diario de la dirección del viento modelada. Estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

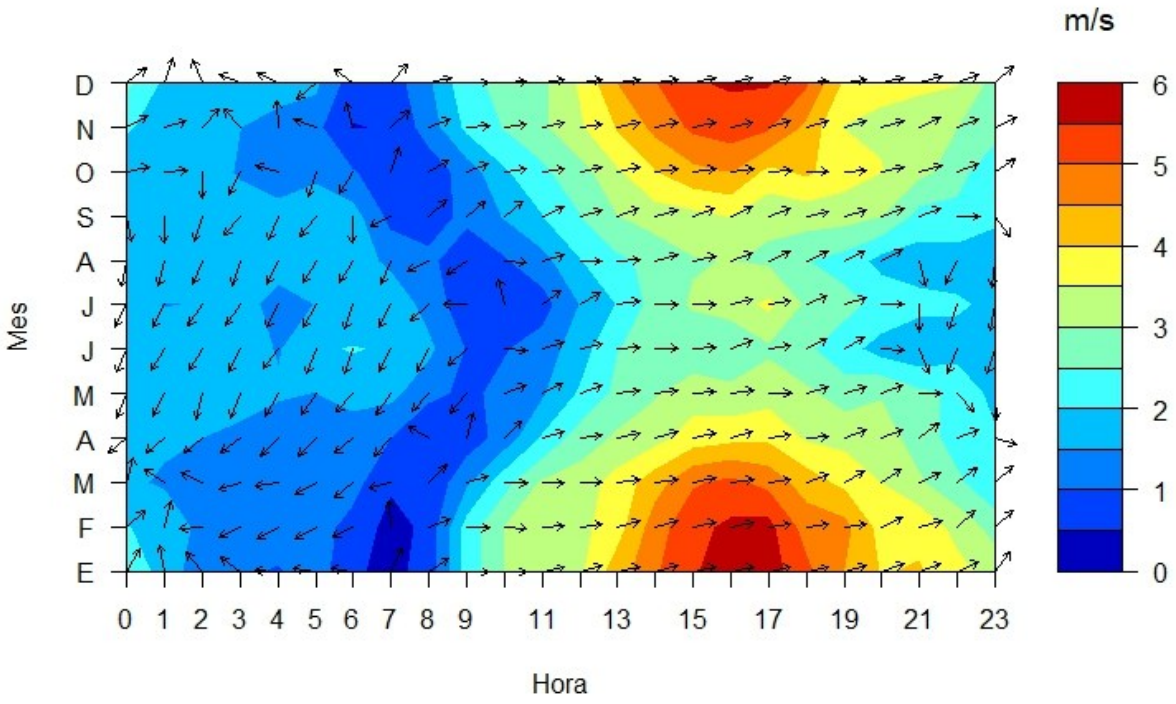
La Figura 5-31 y Figura 5-32 muestran que tanto la velocidad del viento observada y modelada presentan máximos durante horas de la tarde, los cuales son más acentuados durante los meses de verano. En términos generales, los ciclos diarios por mes del año resultan muy similares entre ambas series, no obstante, en el ciclo estacional modelado se identifican mayores magnitudes de velocidad del viento, evidenciando que el modelo tiende a reproducir intensidades ligeramente superiores respecto de las observaciones. Aun así, el patrón estacional se mantiene bien representado y los vectores de viento observados y modelados muestran una alta coherencia.

Figura 5-31. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento observada. Estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

Figura 5-32. Ciclo estacional de la dirección y velocidad del viento modelada. Estación El Villorrio. Año 2025.



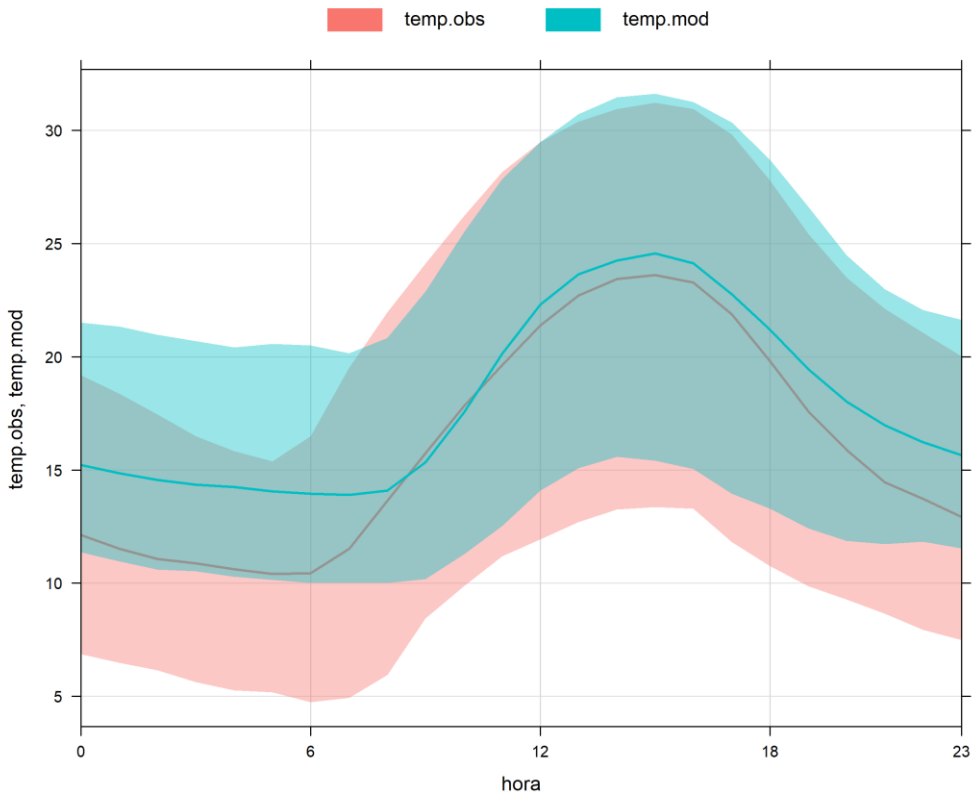
Fuente: GAC

5.7.2 Temperatura

5.7.2.1 Parque O´Higgins

En la Figura 5-33 se presenta el ciclo diario de las medianas de la temperatura horaria modelada y observada junto con los percentiles 5 y 95 de los datos en el punto correspondiente a la estación Parque O´Higgins. En ella se puede ver que los ciclos diarios presentan una alta correlación entre ellos, sin embargo el modelo estima mayores temperaturas para la mayoría de las horas del ciclo diario.

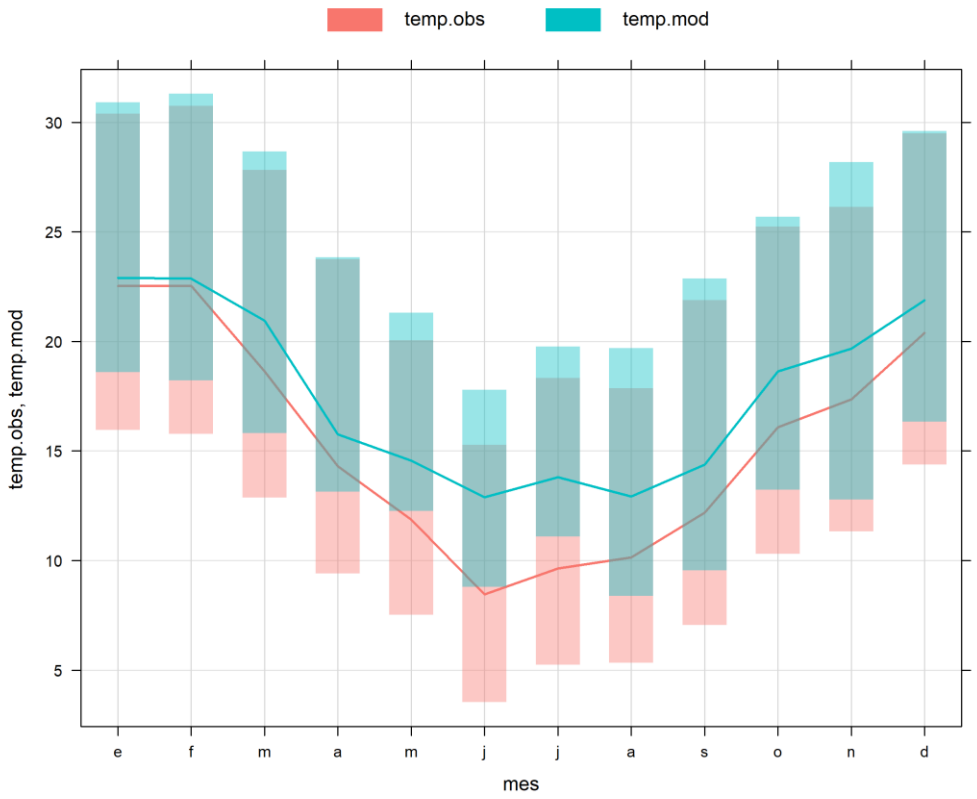
Figura 5-33. Ciclo diario de la temperatura modelada y observada, estación Parque O´Higgins. Año 2025.



Fuente: GAC

En la Figura 5-34 se presenta el ciclo mensual de temperatura observada y modelada con los percentiles 5 y 95 en la estación Parque O´Higgins, donde es posible apreciar que el ciclo mensual de temperatura estimado por el modelo presenta una alta correlación respecto a los datos observados pero con un sesgo positivo para todos los meses.

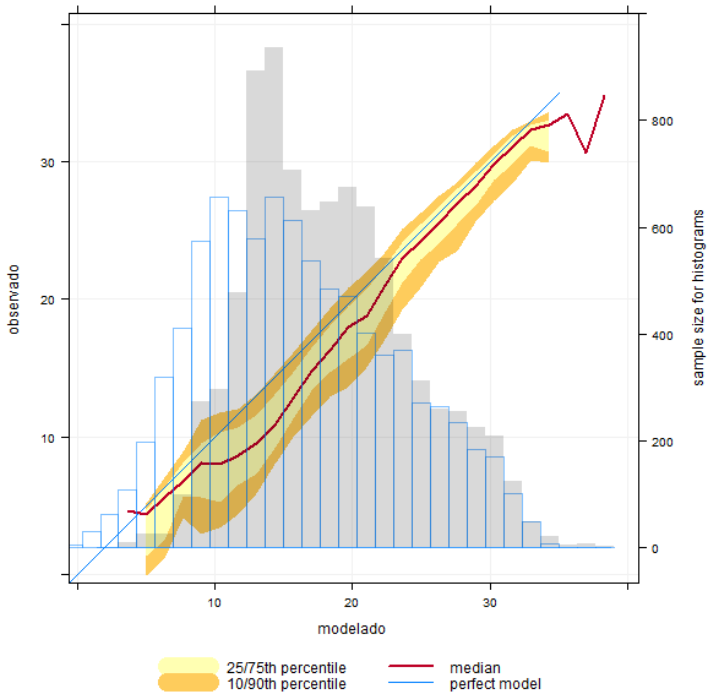
Figura 5-34. Ciclo mensual de la temperatura modelada y observada, estación Parque O´Higgins, año 2025.



Fuente: GAC

El gráfico de dispersión de la Figura 5-35 muestra una muy alta correlación entre las temperaturas observadas y modeladas en estación Parque O´Higgins, presentándose una mediana casi idéntica a la del modelo perfecto, con diagramas también muy similares.

Figura 5-35. Cuantiles condicionales e histograma de temperatura observada y modelada, estación Parque O´Higgins, año 2025.

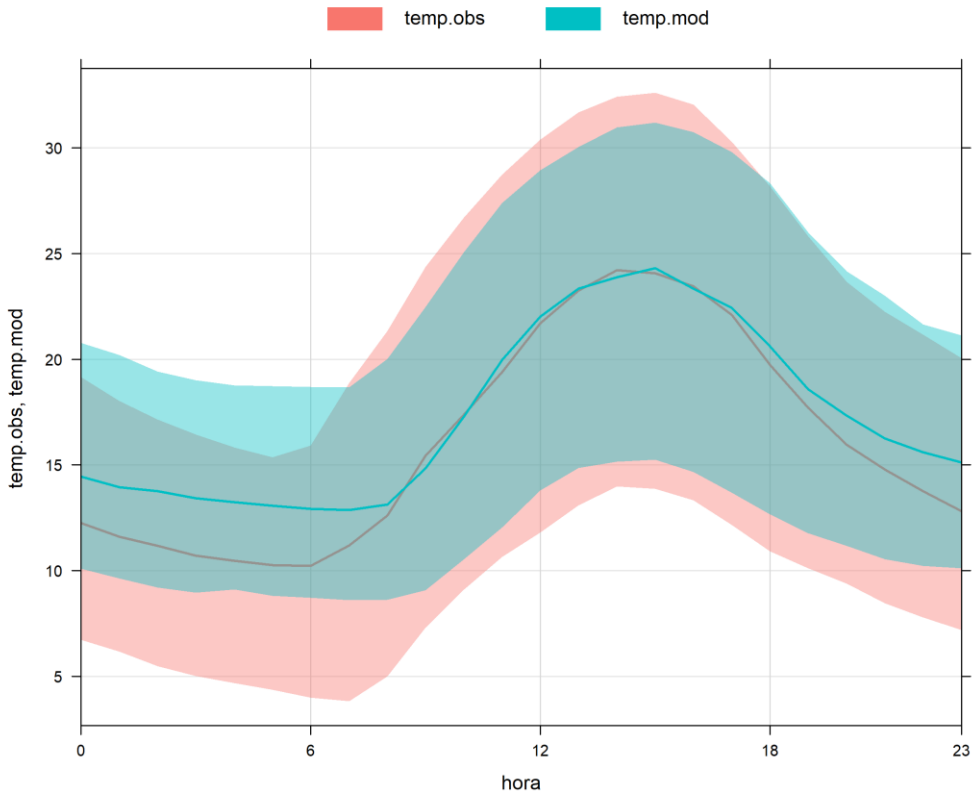


Fuente: GAC

5.7.2.2 Pudahuel

En la Figura 5-36 se presenta el ciclo diario de las medianas de la temperatura horaria modelada y observada junto con los percentiles 5 y 95 de los datos en el punto correspondiente a la estación Pudahuel. En ella se puede ver que los ciclos diarios presentan una alta correlación entre ellos, sin embargo, el modelo estima mayores temperaturas en la mayoría de las horas del ciclo diario.

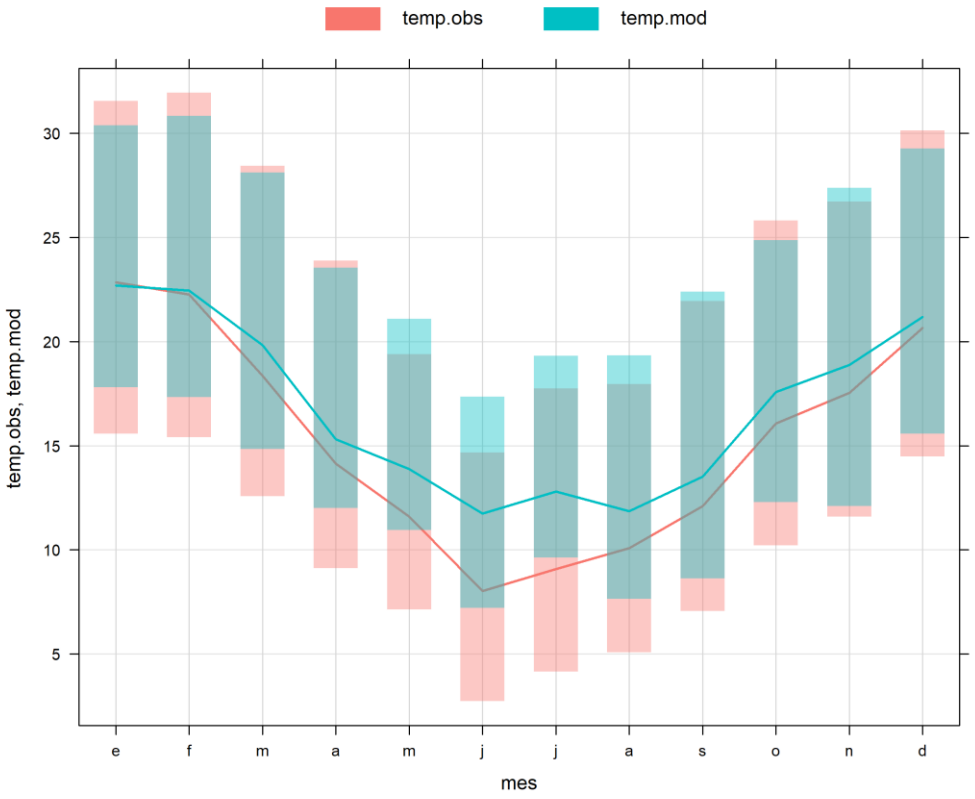
Figura 5-36. Ciclo diario de la temperatura modelada y observada, estación Pudahuel. Año 2025.



Fuente: GAC

En la Figura 5-37 se presenta el ciclo mensual de temperatura observada y modelada con los percentiles 5 y 95 en la estación Pudahuel, donde es posible apreciar que el ciclo mensual de temperatura estimado por el modelo presenta una alta correlación respecto a los datos observados pero con un sesgo positivo para todos los meses.

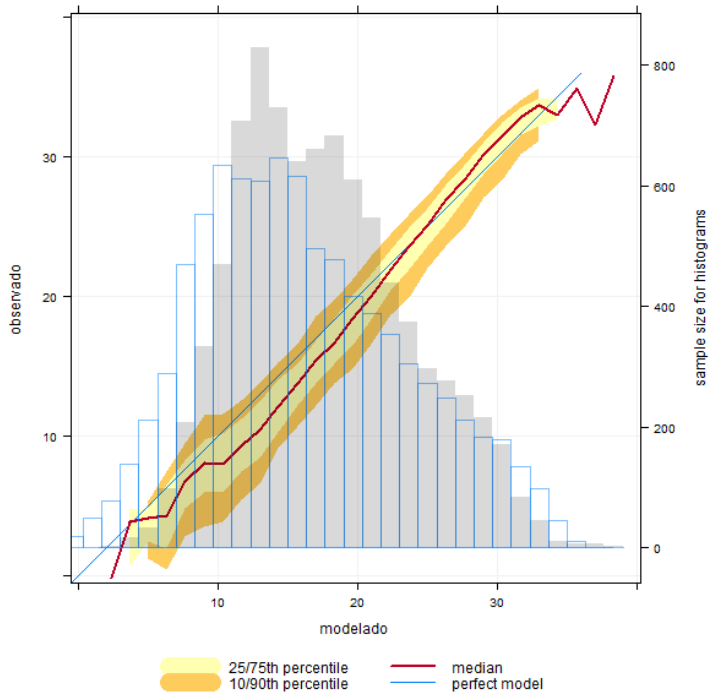
Figura 5-37. Ciclo mensual de la temperatura modelada y observada, estación Pudahuel. Año 2025



Fuente: GAC

El gráfico de dispersión de la Figura 5-38 muestra una muy alta correlación entre las temperaturas observadas y modeladas en estación Pudahuel, presentándose una mediana casi idéntica a la del modelo perfecto, con diagramas también muy similares.

Figura 5-38. Cuantiles condicionales e histograma de temperatura observada y modelada, estación Pudahuel. Año 2025

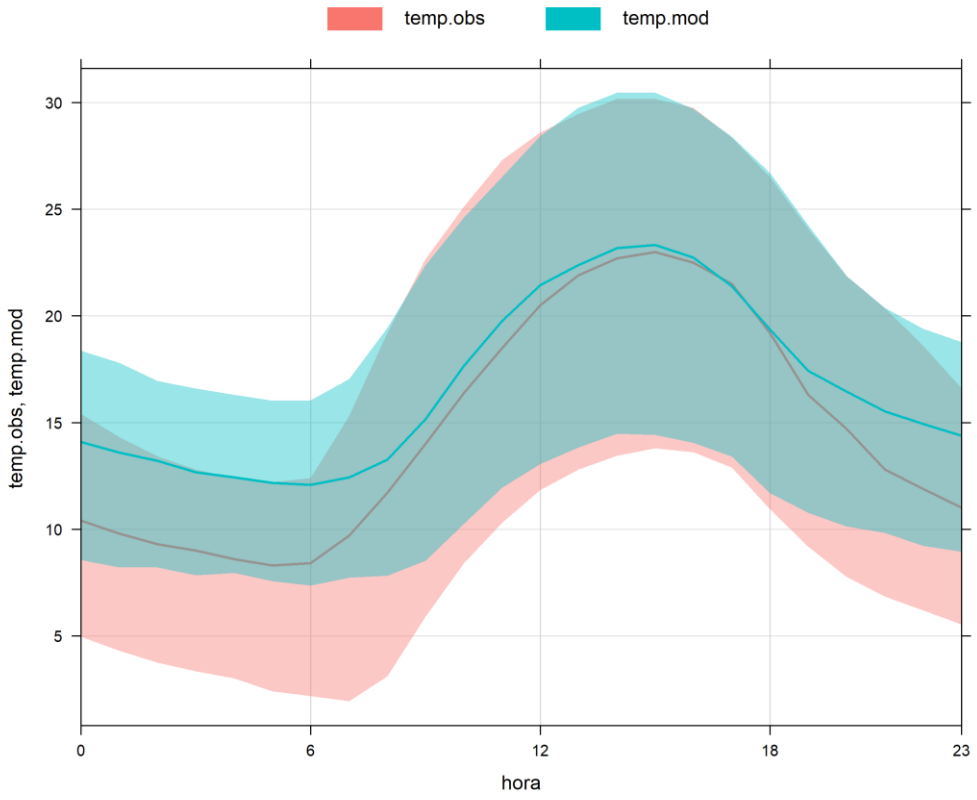


Fuente: GAC

5.7.2.3 El Villorrio

En la Figura 5-39 se presenta el ciclo diario de las medianas de la temperatura horaria modelada y observada junto con los percentiles 5 y 95 de los datos en el punto correspondiente a la estación El Villorrio. En ella se puede ver que los ciclos diarios presentan una alta correlación entre ellos, pero con un sesgo positivo sistemático a lo largo de todo el ciclo diario.

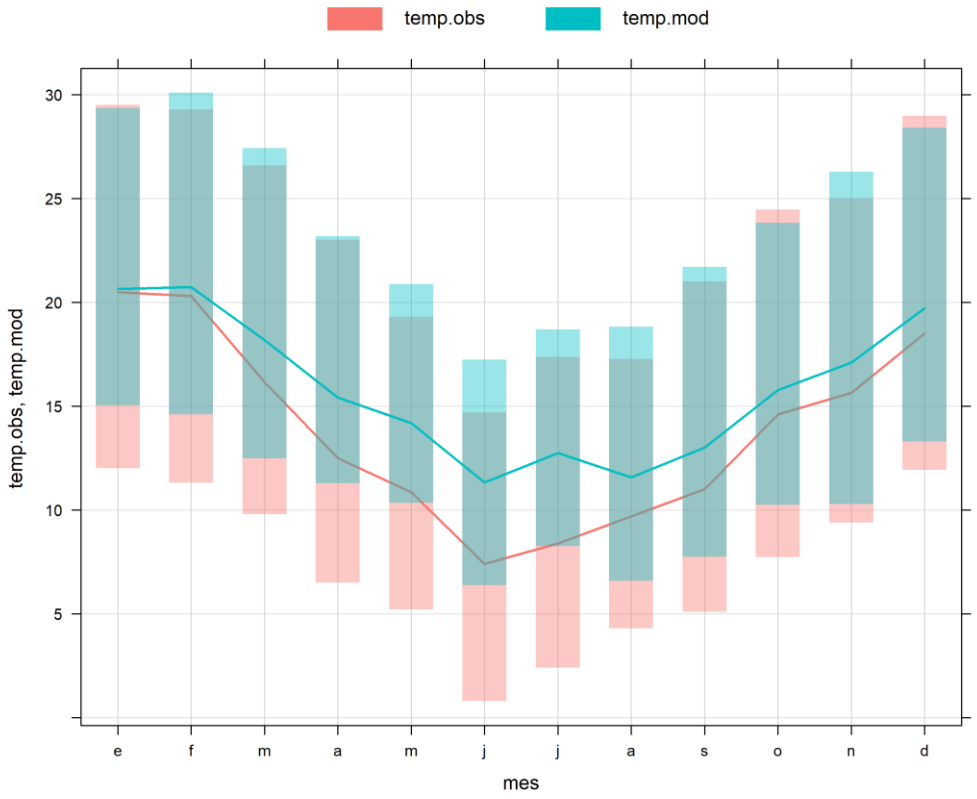
Figura 5-39. Ciclo diario de la temperatura modelada y observada, estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

En la Figura 5-40 se presenta el ciclo mensual de temperatura observada y modelada con los percentiles 5 y 95 en la estación El Villorrio, donde es posible apreciar que el ciclo mensual de temperatura estimado por el modelo presenta una alta correlación respecto a los datos observados pero con un sesgo positivo para la mayoría de los meses, presentándose una mayor amplitud estacional en los datos medidos con respecto a los modelados.

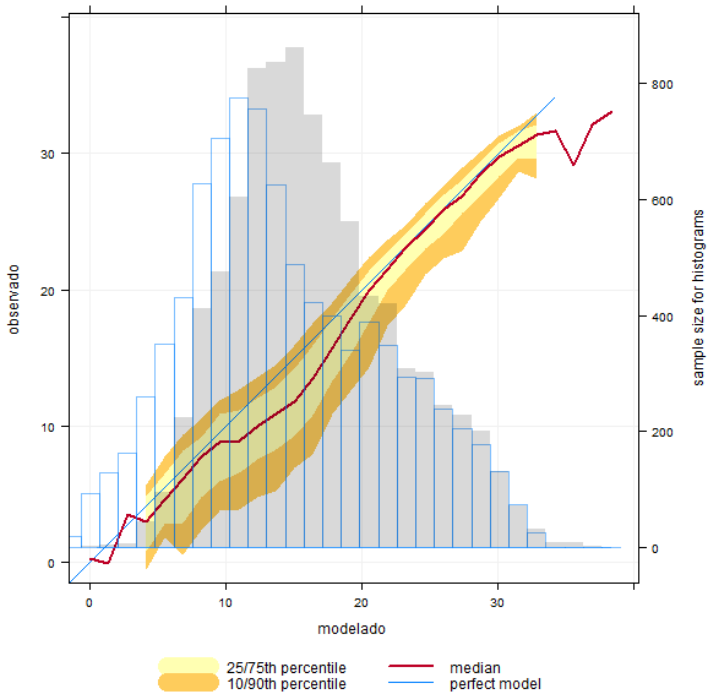
Figura 5-40. Ciclo mensual de la temperatura modelada y observada, estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

El gráfico de dispersión de la Figura 5-41 muestra una muy alta correlación entre las temperaturas observadas y modeladas en estación El Villorrio, presentándose una mediana casi idéntica a la del modelo perfecto, con diagramas también muy similares.

Figura 5-41. Cuantiles condicionales e histogramas de temperatura observada y modelada, estación El Villorrio. Año 2025.



Fuente: GAC

5.7.2.4 Estadígrafos de desempeño - Temperatura

La Tabla 5-11 muestra el promedio, mediana máximo y mínimo de temperatura observada y modelada para las estaciones Parque O´Higgins, Pudahuel y El Villorrio. En general, se observa que el modelo sobreestima las temperaturas respecto de los valores observados en las tres estaciones, tanto en los valores promedio como en las medianas, máximos y mínimos. Por otra parte, la Tabla 5-12 muestra un coeficiente de correlación (r) e índice de concordancia altos, con valores de 0,93, 0,94 y 0,90 para las estaciones Parque O´Higgins, Pudahuel y El Villorrio respectivamente.

Tabla 5-11: Estadígrafos de temperatura.

Variable	Parque O´Higgins		Pudahuel		El Villorrio	
	Observado	Modelado	Observado	Modelado	Observado	Modelado
Promedio (°C)	16,10	18,37	16,09	17,61	14,48	16,63
Mediana (°C)	15,29	17,69	15,12	17,01	13,20	15,75

Máximo (°C)	35,03	38,88	35,96	38,36	34,10	38,42
Mínimo (°C)	-0,62	3,23	-0,54	2,39	-1,50	0,47

Fuente: GAC

Tabla 5-12: Estadígrafos desempeño por temperatura, datos observados y modelados.

Estación	n	Sesgo	FAC2	BIAS	MAE	SMN	NMAE	RMSE	r	IOA
Parque O´Higgins	8748	2,27	0,95	2,27	2,70	14,1%	16,8%	3,49	0,93	0,77
Pudahuel	8741	1,52	0,95	1,51	2,35	9,4%	14,6%	3,03	0,94	0,81
El Villorrio	8756	2,15	0,90	2,15	2,90	14,9%	20,1%	3,93	0,90	0,76

Fuente: GAC

Acorde a la “Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” (MMA, 2023), a continuación, se indican la comparativa de las métricas para el análisis cuantitativo esperado y obtenido en la estación estudiada.

Tabla 5-13: Comparativa de Estadígrafos de desempeño temperatura. Año 2025.

Estación	Obtenido				Esperado			
	BIAS	MAE	RMSE	r	BIAS	MAE	RMSE	r
Parque O´Higgins	2,27	2,70	3,49	0,93	[-4;4] (°C)	≤4 (°C)	≤ 4,5 (°C)	>0,8
Pudahuel	1,51	2,35	3,03	0,94				
El Villorrio	2,15	2,90	3,93	0,90				

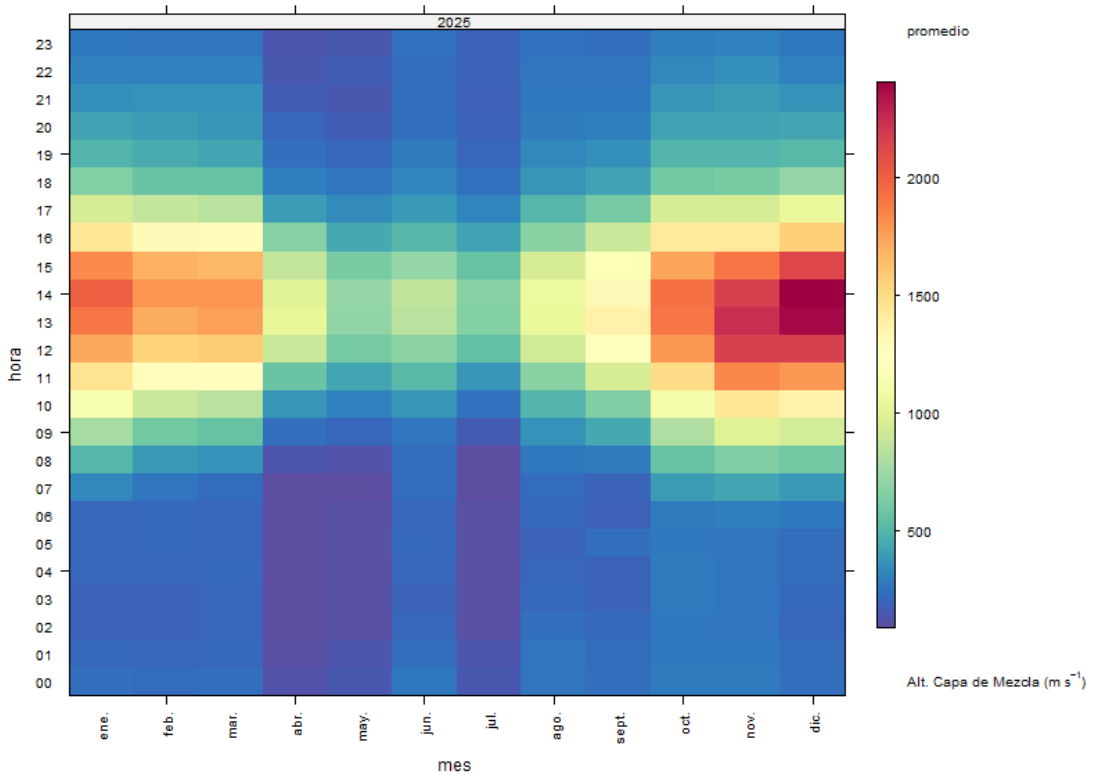
Fuente: Guía para el uso de modelos de calidad del aire en el SEIA” (MMA, 2023), GAC.

De la tabla anterior se observa que los estadígrafos muestran un muy buen desempeño de los datos modelados y por tanto entrega el grado de confianza necesario para una buena interpretación de la dispersión de los contaminantes en el área de estudio.

5.7.3 Altura capa de mezcla en zona modelada

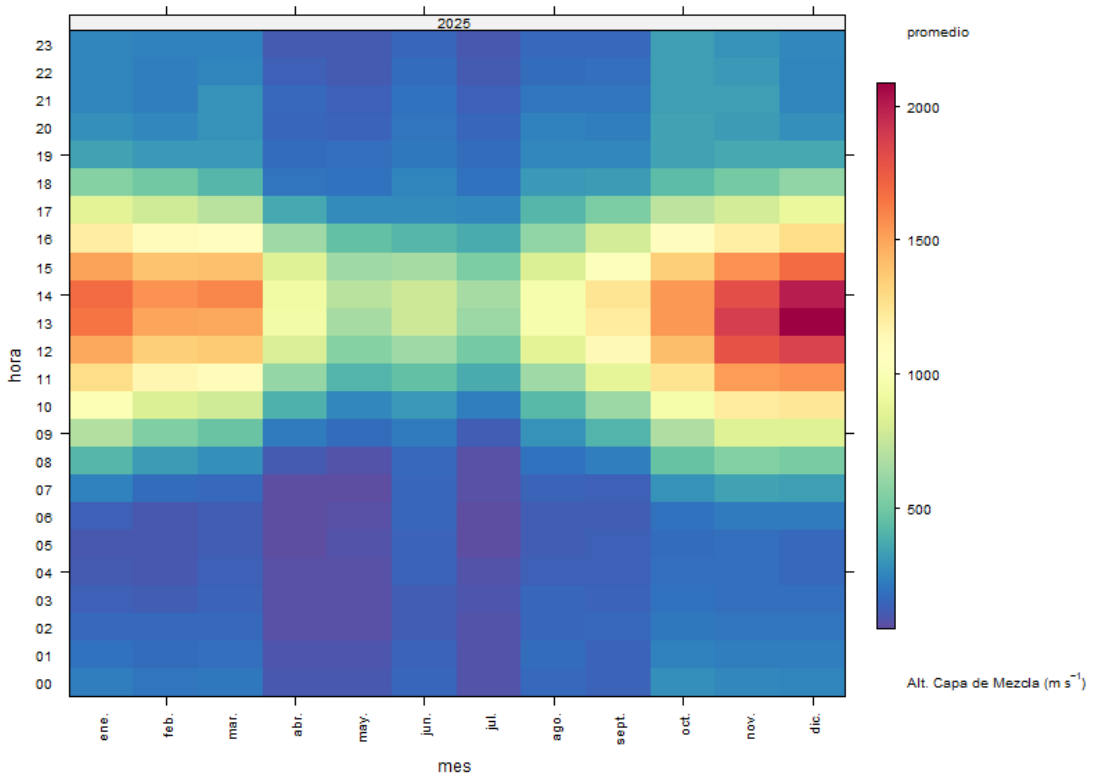
A continuación, se presenta un análisis cualitativo del comportamiento estacional y horario de la altura de capa de mezcla modelada con el modelo WRF, se realiza un análisis cualitativo ya que no existen datos medidos para dicho parámetro. La Figura 5-42, Figura 5-43 y Figura 5-44 muestra el perfil diario promedio por mes del año de la altura de capa de mezcla modelada en la celda donde está en cada una de las estaciones. Se puede apreciar que los máximos diarios para todos los meses se alcanzan entre las 11:00 y 15:00 horas, alcanzando un máximo diario promedio de unos 2000 metros de altura para las estaciones Parque O´Higgins y Pudahuel y 1600 metros de altura para la estación El Villorrio entre los meses de noviembre-febrero. Se puede apreciar que la altura de capa de mezcla se eleva más temprano y baja más tarde durante los meses de verano, mientras que en los meses de invierno la capa de mezcla se mantiene durante más horas en niveles bajos, debido principalmente a que las horas de luz diurna son menores en invierno. La variación temporal de la altura de capa de mezcla modelada, tanto estacional como horaria, presenta un patrón típico de este parámetro.

**Figura 5-42. Ciclo diario modelado altura de capa de mezcla.
Estación Parque O´Higgins. Año 2025.**



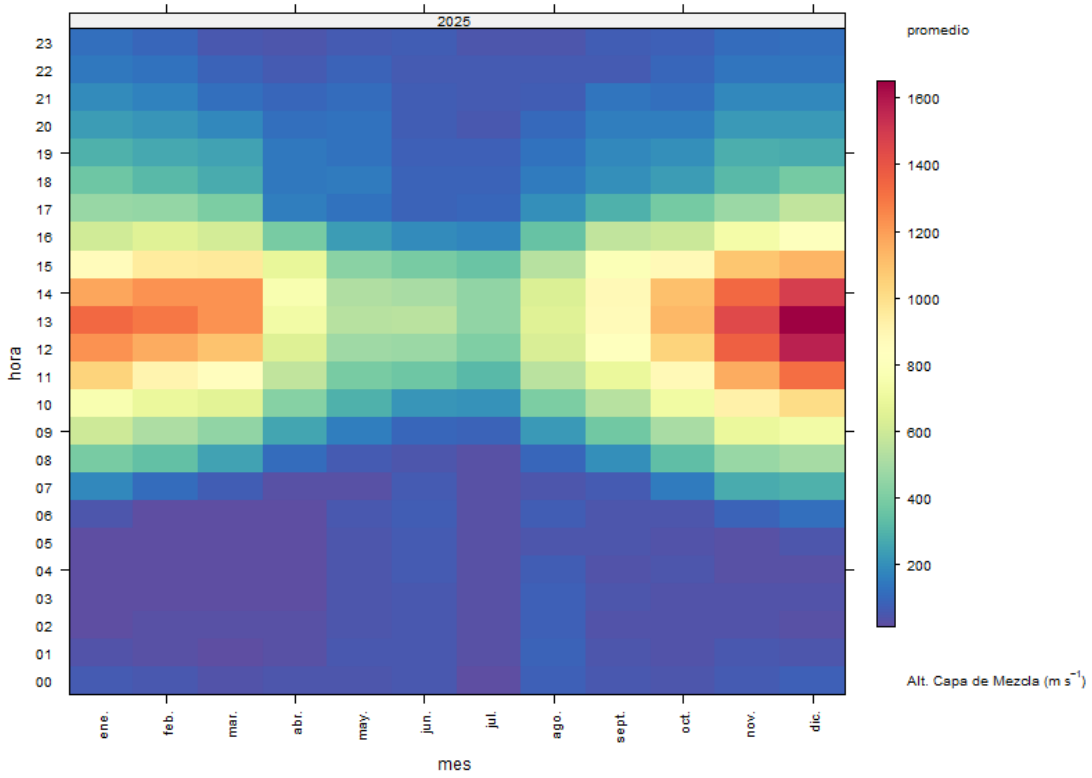
Fuente: GAC

Figura 5-43. Ciclo diario modelado altura de capa de mezcla. Estación Pudahuel. Año 2025.



Fuente: GAC

**Figura 5-44. Ciclo diario modelado altura de capa de mezcla.
Estación El Villorrio. Año 2025.**



Fuente: GAC

5.7.4 Conclusiones modelo meteorológico

Con relación al análisis de incertidumbre del modelo meteorológico WRF, el desempeño para la estimación de vientos y temperatura se evaluó en la estación meteorológica Parque O´Higgins ubicada a 5,73 kilómetros al este del proyecto, la estación Pudahuel ubicada a 1,37 kilómetros al norte del Proyecto y la estación El Villorrio ubicada a 14,52 kilómetros al suroeste del Proyecto.

Para la estación Parque O´Higgins se aprecia un sesgo normalizado (SMN) de 50,8%, con un error absoluto medio normalizado (NMAE) de 62,4%, una buena correlación (r) de 0,81 y un índice de concordancia alto (mayor a 0,5) de 0,55. Por su parte, la estación Pudahuel presenta un sesgo normalizado (SMN) de 28,3%, con un error absoluto medio normalizado (NMAE) de 48,4%, una correlación (r) de 0,78 y un índice de concordancia de 0,59. Mientras que, la estación El Villorrio presenta un sesgo normalizado (SMN) de 155,0%, con un error absoluto medio normalizado (NMAE) de 164,0%, una correlación (r) de 0,64 y un índice de concordancia de 0,28.

Todos los estadígrafos de magnitud del viento cumplen con los valores recomendados en la actualización de la Guía del uso de modelos de calidad del aire en el SEIA.

Las tres estaciones presentan una buena concordancia entre datos modelados y medidos de dirección del viento. A su vez, presentan un buen desempeño en temperaturas modeladas respecto a datos medidos, donde se muestra un coeficiente de correlación (r) altos, con un valor de 0,93, 0,94 y 0,90 para las estaciones Parque O´Higgins, Pudahuel y El Villorrio, respectivamente. Todos los estadígrafos de temperatura cumplen con los valores recomendados en la actualización de la Guía del uso de modelos de calidad del aire en el SEIA.

Finalmente se analizó cualitativamente el comportamiento de la altura de capa de mezcla promedio horaria por mes del año, cualitativamente ya que no existen datos medidos del parámetro, la cual presenta un comportamiento estimado satisfactorio respecto al ciclo diario y estacional de dicho parámetro en todas las estaciones evaluadas.

6 MODELO CALIDAD DEL AIRE

6.1 Justificación modelo calidad del aire

De acuerdo con lo establecido en la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, la selección del modelo de Calidad del Aire se basa en la topografía compleja del área donde se emplaza el proyecto y al alcance de las emisiones. Por esta razón, el modelo utilizado fue un modelo tipo “Puff” como lo es CALPUFF.

6.2 Descripción modelo de calidad del aire

La simulación del aporte del proyecto a las concentraciones de contaminantes se realizará mediante el modelo CALPUFF, recomendado por la U.S. EPA para la evaluación de dispersión de contaminantes desde fuentes continuas.

CALPUFF es un sistema de modelación avanzado para calidad del aire que considera además la meteorología de carácter no permanente. Su desarrollo estuvo a cargo del “*Sigma Research Corporation*”, mientras que su mantenimiento actual es responsabilidad de Exponent[4]. Debido a su desempeño,

CALPUFF fue catalogado por la USEPA como modelo recomendado[5] para la evaluación del impacto en la calidad del aire de distintos tipos de proyectos, especialmente aquellos donde es necesario considerar la variación en el tiempo y en el espacio de las condiciones meteorológicas y su incidencia en el transporte, transformación y remoción de contaminantes.

El sistema de modelación está compuesto por los siguientes componentes principales:

- CALMET: es un modelo meteorológico que genera campos de viento tridimensionales horarios, en base a registros superficiales y del perfil de altura. Además, las salidas de este modelo entregan información en el dominio de la modelación sobre alturas de la capa de mezcla, características superficiales y propiedades de dispersión.

[4] www.src.com/calpuff/calpuff1.htm

[5] Los modelos de dispersión y calidad del aire recomendados por USEPA, así como su campo de aplicación, están contenidos en el Appendix W del 40 CFR Part 51 “Directrices para Modelos de Calidad del Aire” (http://www.epa.gov/scram001/guidance_permit.htm#appw).

- CALPUFF: corresponde a un modelo Lagrangiano-Gaussiano de transporte y dispersión de soplos o “puff” emitidos por las fuentes consideradas por el proyecto. De esta forma, a partir de la información de emisiones y meteorología proporcionada, el programa simula el proceso de dispersión y transformación de los contaminantes, en un rango de validez desde metros hasta cientos de kilómetros.
- CALPOST: es un programa utilizado para el post-procesamiento de los resultados obtenidos en la modelación de CALPUFF, permitiendo calcular las concentraciones en los receptores según los promedios requeridos por cada norma. Además, es capaz de gestionar los datos de cada contaminante según el período de tiempo requerido, ordenando las máximas concentraciones obtenidas e identificando el momento en que cada una de éstas suceden (hora, día, mes y año).

Dentro de las capacidades del sistema de modelación se destacan los siguientes puntos:

- Permite modelar transporte de largo alcance (hasta 200 Km).
- Simula procesos meteorológicos complejos tales como: velocidades de vientos muy bajas, estancamiento, fumigación y recirculación.
- Es capaz de incorporar efectos debidos a la proximidad al borde costero o a causa de topografía compleja.
- Modela contaminantes de forma simultánea fuentes de diverso tipo y que modifican su nivel de actividad a lo largo del tiempo.
- Permite diferenciar entre contaminantes inertes y aquellos que experimentan transformaciones de primer orden.

El modelo en esta ocasión se utilizó con el mecanismo químico Rivad/Isorropia (mech=6 en CALPUFF), este mecanismo estima la proporción entre el NO y NO_2 y además los nitratos (NO_3) y sulfatos (SO_4), éstos fueron agregados a las concentraciones de MP10 y MP2.5 estimadas por el modelo.

Cabe mencionar que, siguiendo los lineamientos de la Guía para el Uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA, no fue utilizado el modelo meteorológico CALMET, por esta razón la meteorología modelada por el modelo meteorológico WRF y procesada en MMIF v4.1 para ser ingresada al modelo de dispersión CALPUFF de manera directa.

7 RECEPTORES

7.1 Receptores discretos

Se presentan los receptores discretos a utilizarse en la evaluación de calidad del aire, tanto para medio humano como para flora y vegetación. Sus coordenadas se presentan en la Tabla 7-1 y su ubicación en la Figura 7-1, donde se observan en rojo los de medio humano y en verde los de Recursos Naturales.

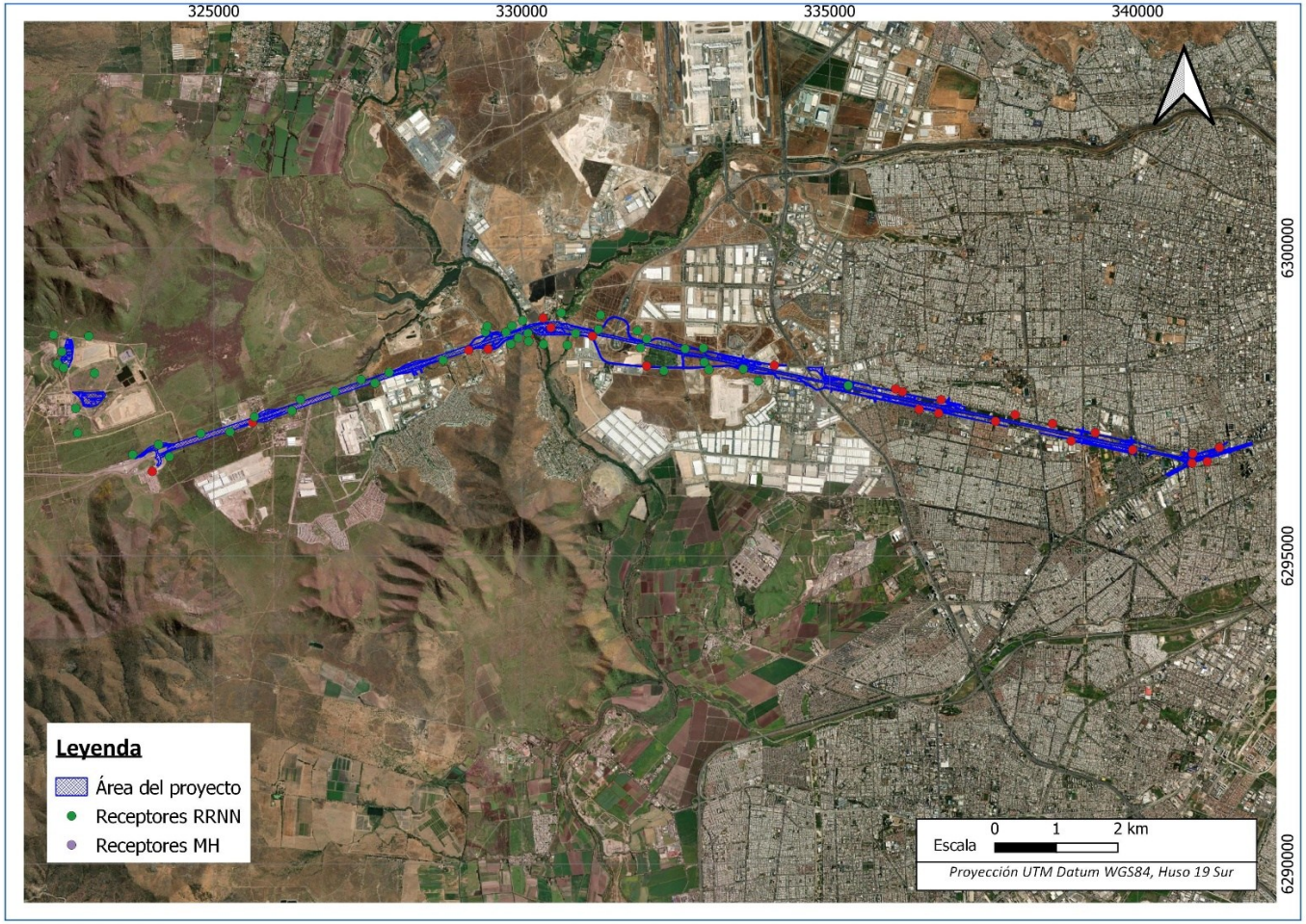
Tabla 7-1. Receptores de Interés definidos para la modelación

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J	
		UTM E:	UTM N:
1	Calidad del Aire	339.895	6.296.722
2	Calidad del Aire	339.328	6.296.986
3	Calidad del Aire	338.862	6.297.063
4	Calidad del Aire	338.933	6.296.876
5	Calidad del Aire	338.013	6.297.293
6	Calidad del Aire	337.712	6.297.143
7	Calidad del Aire	336.756	6.297.328
8	Calidad del Aire	336.829	6.297.522
9	Calidad del Aire	336.181	6.297.666
10	Calidad del Aire	336.081	6.297.700
11	Calidad del Aire	336.429	6.297.402
12	Calidad del Aire	334.100	6.298.102
13	Calidad del Aire	331.576	6.298.105
14	Calidad del Aire	331.150	6.298.569
15	Calidad del Aire	330.257	6.298.971
16	Calidad del Aire	329.141	6.298.340
17	Calidad del Aire	325.632	6.297.167
18	Calidad del Aire	324.101	6.296.096
19	Calidad del Aire	341.329	6.296.760
20	Calidad del Aire	341.133	6.296.532
21	Calidad del Aire	340.897	6.296.662
22	Calidad del Aire	340.885	6.296.504
23	R. Naturales BN15	330.356	6.298.437
24	R. Naturales BE01	330.103	6.298.614
25	R. Naturales BE02	330.740	6.298.423
26	R. Naturales BE03	330.644	6.298.945
27	R. Naturales MAT02	330.877	6.298.613
28	R. Naturales BNP01	322.533	6.298.314
29	R. Naturales BNP02	322.399	6.298.589
30	R. Naturales BNP03	322.971	6.298.568
31	R. Naturales BN01	322.462	6.298.120
32	R. Naturales MAT01	322.564	6.298.055
33	R. Naturales FX01	323.067	6.297.967
34	R. Naturales FX02	322.760	6.297.397
35	R. Naturales BN02	322.791	6.296.995
36	R. Naturales BN03	323.685	6.296.644
37	R. Naturales BN04	324.790	6.296.988
38	R. Naturales BN05	324.280	6.296.610

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J	
		UTM E:	UTM N:
39	R. Naturales PR01	324.104	6.296.808
40	R. Naturales BN06	325.265	6.297.015
41	R. Naturales FA01	325.661	6.297.257
42	R. Naturales BN07	326.270	6.297.359
43	R. Naturales BN08	326.408	6.297.540
44	R. Naturales FA02	326.966	6.297.668
45	R. Naturales PR02	327.392	6.297.863
46	R. Naturales BN10	327.618	6.297.805
47	R. Naturales BN09	327.846	6.297.979
48	R. Naturales BN11	328.726	6.298.179
49	R. Naturales PL01	329.411	6.298.636
50	R. Naturales PL02	329.440	6.298.730
51	R. Naturales BNP04	329.744	6.298.634
52	R. Naturales BNP05	329.823	6.298.441
53	R. Naturales BNP06	330.113	6.298.485
54	R. Naturales BN12	329.842	6.298.735
55	R. Naturales BN13	329.945	6.298.540
56	R. Naturales BN14	330.015	6.298.822
57	R. Naturales PR03	331.246	6.298.678
58	R. Naturales BN16	331.282	6.298.911
59	R. Naturales BN17	331.879	6.298.657
60	R. Naturales PR04	332.032	6.298.523
61	R. Naturales BN18	331.929	6.298.379
62	R. Naturales BN19	332.308	6.298.007
63	R. Naturales BN20	333.041	6.298.024
64	R. Naturales FX03	333.842	6.297.839
65	R. Naturales BN21	332.952	6.298.375
66	R. Naturales PR05	332.966	6.298.146
67	R. Naturales PR06	332.654	6.298.363
68	R. Naturales PR07	333.598	6.298.035
69	R. Naturales FA03	335.303	6.297.768

Fuente: GAC, 2026.

Figura 7-1. Ubicación de los receptores de interés definidos para la modelación

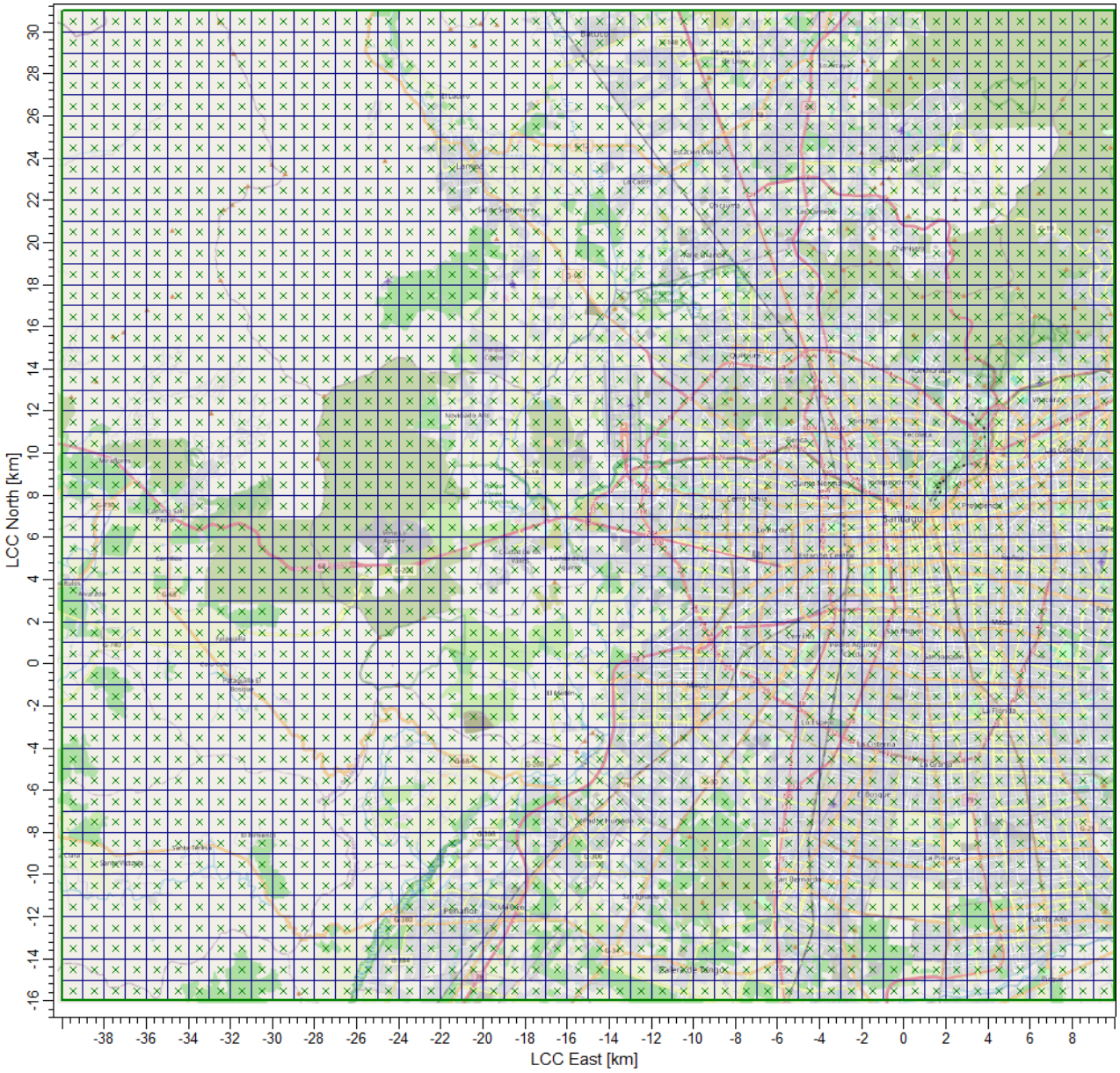


Fuente: GAC, 2026.

7.2 Receptores grilla

Para la modelación de cada escenario se generó una grilla de receptores con una resolución espacial de 1.000 × 1.000 metros, resolución concordante con la resolución del modelo meteorológico, el área de modelación considerada y la grilla de receptores se observan en laFigura 7-2. A partir de estos receptores se generan mapas de isoconcentraciones para cada uno de los contaminantes analizados.

Figura 7-2. Grilla de receptores



Fuente: GAC, 2026.

8 FUENTES DE EMISIÓN

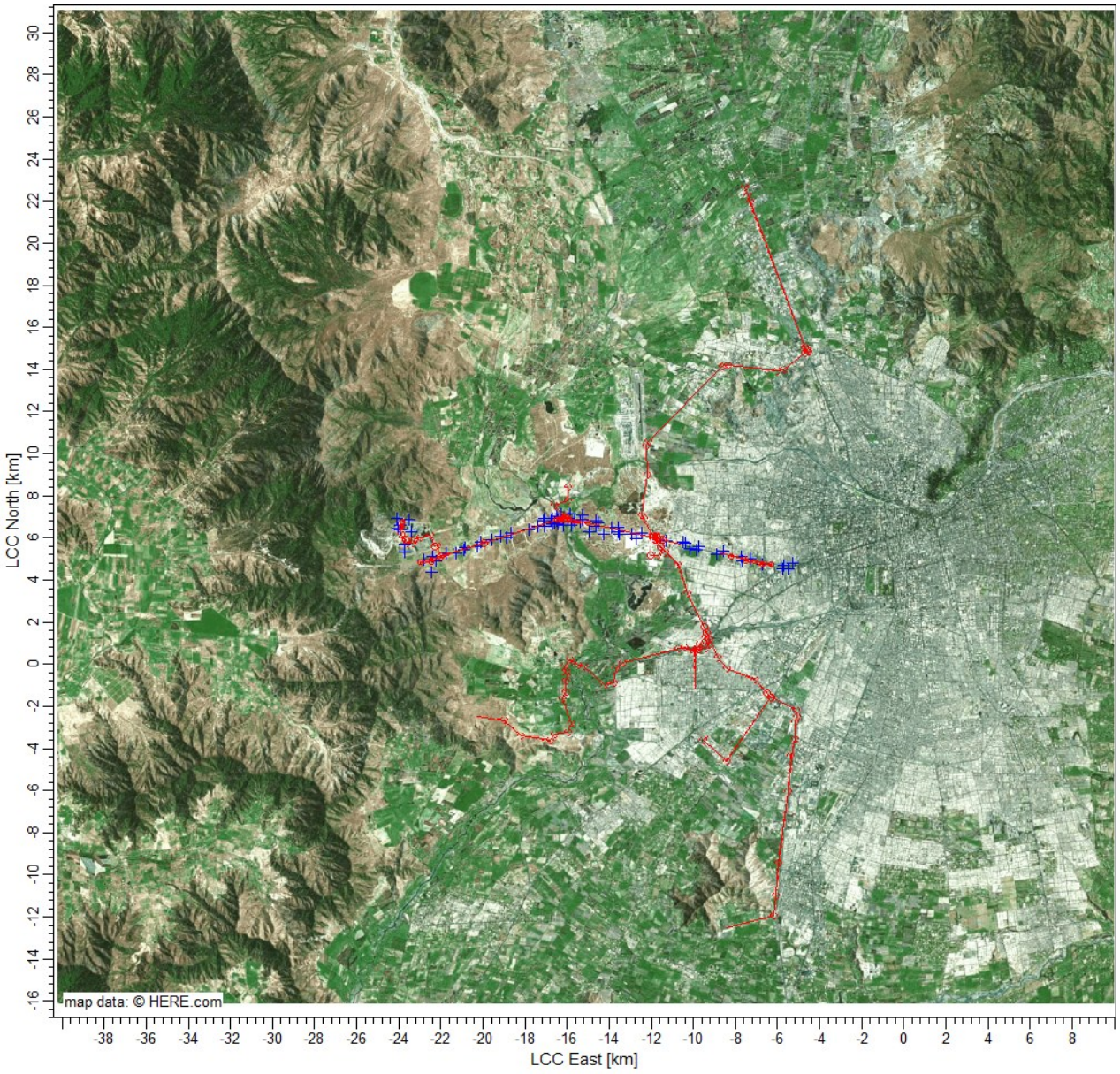
Las emisiones ingresadas al modelo corresponden a las emisiones totales del año 3 de la fase de construcción, el que fue seleccionado ya que presenta las mayores emisiones de MP del Proyecto. Estas se presentan en la Tabla 8-1. Las fuentes ingresadas se presentan con líneas rojas y los receptores discretos con cruces en la Figura 8-1.

Tabla 8-1.Emisiones escenario año 3 de la fase de construcción.

Actividad	Emisión t/año 3							
	MP30	MP10	MP2.5	NOx	SO2	NH3	CO	COV
Demolición	1,38	0,41	0,04					
Escarpe	0,30	0,30	0,05					
Nivelación	0,48	0,14	0,01					
Compactación	0,21	0,04	0,02					
Excavación	5,08	1,04	0,53					
Carguío y volteo de material	0,18	0,09	0,01					
Resuspensión por tránsito de vehículos por caminos no pavimentados	35,27	10,80	1,08					
Resuspensión por tránsito de vehículos por caminos pavimentados	3,88	0,75	0,18					
Perforaciones	0,63	0,19	0,03					
Combustión maquinaria	1,68	1,68	1,68	20,24	0,38	0,10	85,75	7,15
Combustión vehículos		0,02	0,02	1,95	0,00	0,01	0,76	0,42
Generadores	1,18	1,18	1,18	17,65	0,02	-	16,95	0,03
Planta Asfalto	1,03	0,66	0,66	2,93	0,21	-	9,76	0,20
Planta Hormigón	0,51	0,20	0,06					
Planta Áridos	0,14	0,07	0,01					
Total	51,96	17,56	5,57	42,78	0,62	0,11	113,22	7,80

Fuente: GAC, 2026.

Figura 8-1. Fuentes emisoras ingresadas al modelo, escenario año 3 Fase de construcción.



Fuente: GAC, 2026.

9 RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de concentración ambiental obtenidos a partir de las emisiones modeladas, para el año de mayores emisiones correspondiente al año 3 de la fase de construcción.

9.1 Resultados de modelación

A continuación, se presentan los aportes del escenario modelado, la concentración en los receptores discretos, para lo que se consideran los estadígrafos de las normas de calidad aplicables MPS, MP10, MP2,5, NO_2, SO_2, CO. Cabe recordar que tanto el MP10 como el MP2,5 estimado por el modelo consideran la formación de nitratos y sulfatos provenientes del NOx y SO_2 respectivamente.

La Tabla 9-1 presenta los resultados del modelo de dispersión en los distintos receptores de interés para el escenario modelado.

Tabla 9-1. Resultados del modelo para el aporte del año 3 de la fase de construcción.

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		NO_2 (µg/m³)			SO_2 (µg/m³)			CO (µg/m³)	MPS Seco + Húmedo (mg/m2/día) promedio anual
		UTM E:	UTM N:	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Horario	Anual	24 horas	Horario	Max. diario 1H	
1	C.Aire	339.895	6.296.722	0,24	0,81	0,14	0,51	0,11	0,57	1,83	0,04	0,27	0,87	328,68	1,35
2	C.Aire	339.328	6.296.986	0,36	1,30	0,20	0,68	0,15	0,50	1,56	0,06	0,18	0,77	570,59	2,35
3	C.Aire	338.862	6.297.063	0,54	2,24	0,24	1,01	0,11	0,53	2,07	0,05	0,17	0,67	427,73	5,99
4	C.Aire	338.933	6.296.876	0,52	1,63	0,24	0,79	0,10	0,53	1,62	0,05	0,17	0,72	513,47	6,42
5	C.Aire	338.013	6.297.293	0,26	0,77	0,12	0,39	0,06	0,33	0,89	0,01	0,08	0,26	318,10	3,74
6	C.Aire	337.712	6.297.143	0,17	0,51	0,08	0,26	0,04	0,19	0,85	0,00	0,05	0,11	144,21	2,37
7	C.Aire	336.756	6.297.328	0,02	0,14	0,01	0,09	0,01	0,11	0,20	0,00	0,01	0,02	49,82	0,01
8	C.Aire	336.829	6.297.522	0,02	0,12	0,01	0,08	0,01	0,09	0,22	0,00	0,01	0,02	44,92	0,01
9	C.Aire	336.181	6.297.666	0,01	0,06	0,00	0,03	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	25,44	0,01
10	C.Aire	336.081	6.297.700	0,01	0,06	0,00	0,03	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,01	23,33	0,01
11	C.Aire	336.429	6.297.402	0,01	0,09	0,01	0,06	0,00	0,05	0,09	0,00	0,01	0,01	37,56	0,01
12	C.Aire	334.100	6.298.102	0,02	0,06	0,01	0,02	0,01	0,03	0,10	0,00	0,00	0,01	21,38	0,07
13	C.Aire	331.576	6.298.105	0,07	0,33	0,05	0,25	0,05	0,25	1,29	0,01	0,05	0,25	86,76	0,14
14	C.Aire	331.150	6.298.569	0,22	0,64	0,15	0,48	0,13	0,56	2,64	0,03	0,11	0,52	359,48	1,11
15	C.Aire	330.257	6.298.971	0,67	2,14	0,33	1,25	0,26	1,27	3,83	0,19	1,02	4,21	898,20	4,73
16	C.Aire	329.141	6.298.340	0,07	0,36	0,04	0,22	0,04	0,19	0,73	0,36	1,28	7,46	110,71	0,15
17	C.Aire	325.632	6.297.167	0,27	0,53	0,09	0,15	0,06	0,11	0,53	0,02	0,15	0,51	42,36	3,88
18	C.Aire	324.101	6.296.096	0,09	0,44	0,03	0,15	0,02	0,10	0,42	0,01	0,07	0,27	93,70	0,18
19	C.Aire	341.329	6.296.760	0,01	0,05	0,01	0,03	0,00	0,02	0,06	0,01	0,01	0,05	13,80	0,01
20	C.Aire	341.133	6.296.532	0,01	0,06	0,01	0,03	0,00	0,02	0,08	0,01	0,04	0,13	20,66	0,02
21	C.Aire	340.897	6.296.662	0,02	0,09	0,01	0,05	0,01	0,03	0,12	0,00	0,01	0,03	45,22	0,03
22	C.Aire	340.885	6.296.504	0,02	0,09	0,01	0,05	0,01	0,03	0,12	0,00	0,01	0,03	36,43	0,02
23	R.Naturales BN15	330.356	6.298.437												1,02
24	R.Naturales BE01	330.103	6.298.614												2,55
25	R.Naturales BE02	330.740	6.298.423												1,19
26	R.Naturales BE03	330.644	6.298.945												2,91
27	R.Naturales MAT02	330.877	6.298.613												3,31
28	R.Naturales BNP01	322.533	6.298.314												2,53
29	R.Naturales BNP02	322.399	6.298.589												1,53
30	R.Naturales BNP03	322.971	6.298.568												2,16
31	R.Naturales BN01	322.462	6.298.120												2,35
32	R.Naturales MAT01	322.564	6.298.055												2,52
33	R.Naturales FX01	323.067	6.297.967												6,04
34	R.Naturales FX02	322.760	6.297.397												13,43
35	R.Naturales BN02	322.791	6.296.995												1,37
36	R.Naturales BN03	323.685	6.296.644												1,24
37	R.Naturales BN04	324.790	6.296.988												4,02
38	R.Naturales BN05	324.280	6.296.610												1,63
39	R.Naturales PR01	324.104	6.296.808												3,63
40	R.Naturales BN06	325.265	6.297.015												0,82

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		NO_2 (µg/m³)			SO_2 (µg/m³)			CO (µg/m³)	MPS Seco + Húmedo (mg/m2/día) promedio anual
		UTM E:	UTM N:	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Horario	Anual	24 horas	Horario	Max. diario 1H	
41	R. Naturales FA01	325.661	6.297.257												3,33
42	R. Naturales BN07	326.270	6.297.359												0,46
43	R. Naturales BN08	326.408	6.297.540												0,40
44	R. Naturales FA02	326.966	6.297.668												0,15
45	R. Naturales PR02	327.392	6.297.863												0,13
46	R. Naturales BN10	327.618	6.297.805												0,11
47	R. Naturales BN09	327.846	6.297.979												0,13
48	R. Naturales BN11	328.726	6.298.179												0,24
49	R. Naturales PL01	329.411	6.298.636												0,24
50	R. Naturales PL02	329.440	6.298.730												0,26
51	R. Naturales BNP04	329.744	6.298.634												0,91
52	R. Naturales BNP05	329.823	6.298.441												0,71
53	R. Naturales BNP06	330.113	6.298.485												1,12
54	R. Naturales BN12	329.842	6.298.735												1,07
55	R. Naturales BN13	329.945	6.298.540												1,33
56	R. Naturales BN14	330.015	6.298.822												3,01
57	R. Naturales PR03	331.246	6.298.678												0,80
58	R. Naturales BN16	331.282	6.298.911												1,77
59	R. Naturales BN17	331.879	6.298.657												0,08
60	R. Naturales PR04	332.032	6.298.523												0,06
61	R. Naturales BN18	331.929	6.298.379												0,06
62	R. Naturales BN19	332.308	6.298.007												0,07
63	R. Naturales BN20	333.041	6.298.024												0,12
64	R. Naturales FX03	333.842	6.297.839												0,08
65	R. Naturales BN21	332.952	6.298.375												0,12
66	R. Naturales PR05	332.966	6.298.146												0,15
67	R. Naturales PR06	332.654	6.298.363												0,13
68	R. Naturales PR07	333.598	6.298.035												0,09
69	R. Naturales FA03	335.303	6.297.768												0,39

Fuente: GAC, 2026.

La Tabla 9-2 presenta los aportes del Proyecto en relación con las respectivas normas vigentes.

Tabla 9-2. Resultados del modelo para el aporte del año 3 de la fase de construcción, porcentaje respecto a normas/umbral.

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		NO_2 (µg/m³)			SO_2 (µg/m³)			CO (µg/m³)	MPS Seco + Húmedo (mg/m2/día) promedio anual
		UTM E:	UTM N:	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Horario	Anual	24 horas	Horario	Max. diario 1H	
1	C.Aire	339.895	6.296.722	0,48%	0,62%	0,69%	1,02%	0,26%	0,57%	0,91%	0,07%	0,18%	0,25%	1,10%	0,68%
2	C.Aire	339.328	6.296.986	0,73%	1,00%	1,02%	1,36%	0,37%	0,50%	0,78%	0,10%	0,12%	0,22%	1,90%	1,18%
3	C.Aire	338.862	6.297.063	1,09%	1,72%	1,22%	2,02%	0,27%	0,53%	1,03%	0,08%	0,11%	0,19%	1,43%	2,99%
4	C.Aire	338.933	6.296.876	1,04%	1,25%	1,18%	1,58%	0,26%	0,53%	0,81%	0,09%	0,12%	0,21%	1,71%	3,21%
5	C.Aire	338.013	6.297.293	0,52%	0,59%	0,61%	0,78%	0,14%	0,33%	0,44%	0,02%	0,05%	0,07%	1,06%	1,87%
6	C.Aire	337.712	6.297.143	0,35%	0,39%	0,42%	0,52%	0,11%	0,19%	0,43%	0,01%	0,03%	0,03%	0,48%	1,18%
7	C.Aire	336.756	6.297.328	0,03%	0,11%	0,05%	0,19%	0,02%	0,11%	0,10%	0,00%	0,01%	0,00%	0,17%	0,01%
8	C.Aire	336.829	6.297.522	0,03%	0,09%	0,05%	0,16%	0,02%	0,09%	0,11%	0,00%	0,01%	0,00%	0,15%	0,01%
9	C.Aire	336.181	6.297.666	0,02%	0,05%	0,02%	0,07%	0,01%	0,03%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%
10	C.Aire	336.081	6.297.700	0,02%	0,04%	0,02%	0,06%	0,01%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,08%	0,01%
11	C.Aire	336.429	6.297.402	0,02%	0,07%	0,03%	0,12%	0,01%	0,05%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,13%	0,00%
12	C.Aire	334.100	6.298.102	0,03%	0,05%	0,03%	0,04%	0,02%	0,03%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%	0,03%
13	C.Aire	331.576	6.298.105	0,14%	0,25%	0,25%	0,50%	0,11%	0,25%	0,64%	0,01%	0,04%	0,07%	0,29%	0,07%
14	C.Aire	331.150	6.298.569	0,44%	0,49%	0,73%	0,97%	0,33%	0,56%	1,32%	0,04%	0,08%	0,15%	1,20%	0,55%
15	C.Aire	330.257	6.298.971	1,34%	1,65%	1,68%	2,50%	0,64%	1,27%	1,91%	0,32%	0,68%	1,20%	2,99%	2,37%
16	C.Aire	329.141	6.298.340	0,15%	0,27%	0,21%	0,45%	0,09%	0,19%	0,36%	0,60%	0,86%	2,13%	0,37%	0,08%
17	C.Aire	325.632	6.297.167	0,54%	0,41%	0,43%	0,29%	0,14%	0,11%	0,26%	0,04%	0,10%	0,15%	0,14%	1,94%
18	C.Aire	324.101	6.296.096	0,19%	0,34%	0,15%	0,29%	0,05%	0,10%	0,21%	0,02%	0,05%	0,08%	0,31%	0,09%
19	C.Aire	341.329	6.296.760	0,02%	0,04%	0,03%	0,05%	0,01%	0,02%	0,03%	0,01%	0,01%	0,02%	0,05%	0,01%
20	C.Aire	341.133	6.296.532	0,03%	0,05%	0,04%	0,06%	0,01%	0,02%	0,04%	0,01%	0,03%	0,04%	0,07%	0,01%
21	C.Aire	340.897	6.296.662	0,04%	0,07%	0,05%	0,10%	0,01%	0,03%	0,06%	0,00%	0,00%	0,01%	0,15%	0,01%
22	C.Aire	340.885	6.296.504	0,04%	0,07%	0,05%	0,10%	0,01%	0,03%	0,06%	0,00%	0,01%	0,01%	0,12%	0,01%
23	R.Naturales BN15	330.356	6.298.437	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,51%
24	R.Naturales BE01	330.103	6.298.614	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,27%
25	R.Naturales BE02	330.740	6.298.423	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,59%
26	R.Naturales BE03	330.644	6.298.945	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,45%
27	R.Naturales MAT02	330.877	6.298.613	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,66%
28	R.Naturales BNP01	322.533	6.298.314	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,26%
29	R.Naturales BNP02	322.399	6.298.589	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76%
30	R.Naturales BNP03	322.971	6.298.568	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,08%
31	R.Naturales BN01	322.462	6.298.120	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,18%
32	R.Naturales MAT01	322.564	6.298.055	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,26%
33	R.Naturales FX01	323.067	6.297.967	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,02%
34	R.Naturales FX02	322.760	6.297.397	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,72%
35	R.Naturales BN02	322.791	6.296.995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,69%
36	R.Naturales BN03	323.685	6.296.644	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,62%
37	R.Naturales BN04	324.790	6.296.988	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,01%
38	R.Naturales BN05	324.280	6.296.610	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82%
39	R.Naturales PR01	324.104	6.296.808	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,81%

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		NO_2 (µg/m³)			SO_2 (µg/m³)			CO (µg/m³)	MPS Seco + Húmedo (mg/m2/día) promedio anual
		UTM E:	UTM N:	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Horario	Anual	24 horas	Horario	Max. diario 1H	
40	R. Naturales BN06	325.265	6.297.015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,41%
41	R. Naturales FA01	325.661	6.297.257	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,66%
42	R. Naturales BN07	326.270	6.297.359	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,23%
43	R. Naturales BN08	326.408	6.297.540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20%
44	R. Naturales FA02	326.966	6.297.668	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08%
45	R. Naturales PR02	327.392	6.297.863	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07%
46	R. Naturales BN10	327.618	6.297.805	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,05%
47	R. Naturales BN09	327.846	6.297.979	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08%
48	R. Naturales BN11	328.726	6.298.179	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12%
49	R. Naturales PL01	329.411	6.298.636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,12%
50	R. Naturales PL02	329.440	6.298.730	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13%
51	R. Naturales BNP04	329.744	6.298.634	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,46%
52	R. Naturales BNP05	329.823	6.298.441	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,38%
53	R. Naturales BNP06	330.113	6.298.485	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,56%
54	R. Naturales BN12	329.842	6.298.735	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54%
55	R. Naturales BN13	329.945	6.298.540	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67%
56	R. Naturales BN14	330.015	6.298.822	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,50%
57	R. Naturales PR03	331.246	6.298.678	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40%
58	R. Naturales BN16	331.282	6.298.911	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,89%
59	R. Naturales BN17	331.879	6.298.657	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04%
60	R. Naturales PR04	332.032	6.298.523	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03%
61	R. Naturales BN18	331.929	6.298.379	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03%
62	R. Naturales BN19	332.308	6.298.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03%
63	R. Naturales BN20	333.041	6.298.024	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03%
64	R. Naturales FX03	333.842	6.297.839	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04%
65	R. Naturales BN21	332.952	6.298.375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03%
66	R. Naturales PR05	332.966	6.298.146	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07%
67	R. Naturales PR06	332.654	6.298.363	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07%
68	R. Naturales PR07	333.598	6.298.035	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,04%
69	R. Naturales FA03	335.303	6.297.768	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,19%
			Norma	50	130	20	50	40	100	200	60	150	350	30.000	200

Fuente: GAC, 2026.

9.1.1 Concentraciones totales

A continuación, se presentan las concentraciones totales del Proyecto, acorde a la sección 4 Metodología modelación del presente documento, y que se detalla a continuación. La calidad del aire proyectada se estima de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$CA_Pa_i = LB + Pa_i$$

Donde:

CA_Pa_i: corresponde a la calidad del aire proyectada para la parte i del proyecto.

LB: corresponde a la línea base de calidad del aire medida en el área de estudio.

al aporte de otros proyectos que poseen RCA vigentes, pero que no se encuentran aún en operación.

Pa_i: corresponde al aporte en la calidad del aire de la parte i del Proyecto.

La Tabla 9-3presenta las concentraciones totales proyectadas para para el aporte del año 3 de la fase de construcción, de donde se observa que todos los receptores superan la normativa de calidad del aire vigente, por lo que en el acápite siguiente se presenta el análisis para el aporte a la calidad del aire del proyecto en zonas saturadas.

Tabla 9-3. Concentraciones totales para el aporte del año 3 de la fase de construcción.

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J		Aporte del proyecto				Línea de base				Proyectado				% Norma			
				MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		LdBMP10 (µg/m³)		LdBMP2.5 (µg/m³)		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)	
		UTME:	UTMN:	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas
1	Calidad del Aire	339.895	6.296.722	0,24	0,81	0,14	0,51	61,5	155,3	23,4	74,3	61,7	156,1	23,5	74,8	123,48%	120,08%	117,69%	149,62%
2	Calidad del Aire	339.328	6.296.986	0,36	1,30	0,20	0,68	61,5	155,3	23,4	74,3	61,9	156,6	23,6	75,0	123,73%	120,46%	118,02%	149,96%
3	Calidad del Aire	338.862	6.297.063	0,54	2,24	0,24	1,01	61,5	155,3	23,4	74,3	62,0	157,5	23,6	75,3	124,03%	121,19%	118,22%	150,62%
4	Calidad del Aire	338.933	6.296.876	0,52	1,63	0,24	0,79	61,5	155,3	23,4	74,3	62,0	156,9	23,6	75,1	124,04%	120,71%	118,18%	150,18%
5	Calidad del Aire	338.013	6.297.293	0,26	0,77	0,12	0,39	61,5	155,3	23,4	74,3	61,8	156,1	23,5	74,7	123,52%	120,03%	117,61%	149,38%
6	Calidad del Aire	337.712	6.297.143	0,17	0,51	0,08	0,26	61,5	155,3	23,4	74,3	61,7	155,8	23,5	74,6	123,35%	119,85%	117,42%	149,12%
7	Calidad del Aire	336.756	6.297.328	0,02	0,14	0,01	0,09	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,4	123,03%	119,57%	117,03%	148,79%
8	Calidad del Aire	336.829	6.297.522	0,02	0,12	0,01	0,08	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,4	123,03%	119,55%	117,03%	148,76%
9	Calidad del Aire	336.181	6.297.666	0,01	0,06	0,00	0,03	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,3	123,02%	119,51%	117,02%	148,67%
10	Calidad del Aire	336.081	6.297.700	0,01	0,06	0,00	0,03	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,3	123,02%	119,51%	117,02%	148,66%
11	Calidad del Aire	336.429	6.297.402	0,01	0,09	0,01	0,06	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,4	123,02%	119,53%	117,03%	148,72%
12	Calidad del Aire	334.100	6.298.102	0,02	0,06	0,01	0,02	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,3	123,03%	119,51%	117,03%	148,64%
13	Calidad del Aire	331.576	6.298.105	0,07	0,33	0,05	0,25	61,5	155,3	23,4	74,3	61,6	155,6	23,4	74,5	123,14%	119,71%	117,25%	149,10%
14	Calidad del Aire	331.150	6.298.569	0,22	0,64	0,15	0,48	61,5	155,3	23,4	74,3	61,7	155,9	23,5	74,8	123,44%	119,99%	117,73%	149,57%
15	Calidad del Aire	330.257	6.298.971	0,67	2,14	0,34	1,25	61,5	155,3	23,4	74,3	62,2	157,4	23,7	75,6	124,34%	121,11%	118,68%	151,10%
16	Calidad del Aire	329.141	6.298.340	0,07	0,36	0,04	0,22	61,5	155,3	23,4	74,3	61,6	155,7	23,4	74,5	123,15%	119,74%	117,21%	149,03%
17	Calidad del Aire	325.632	6.297.167	0,27	0,53	0,09	0,15	61,5	155,3	23,4	74,3	61,8	155,8	23,5	74,4	123,54%	119,87%	117,43%	148,89%
18	Calidad del Aire	324.101	6.296.096	0,09	0,44	0,03	0,15	61,5	155,3	23,4	74,3	61,6	155,7	23,4	74,4	123,19%	119,80%	117,15%	148,89%
19	Calidad del Aire	341.329	6.296.760	0,01	0,05	0,01	0,03	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,3	123,02%	119,50%	117,03%	148,65%
20	Calidad del Aire	341.133	6.296.532	0,01	0,06	0,01	0,03	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,3	123,03%	119,51%	117,04%	148,66%
21	Calidad del Aire	340.897	6.296.662	0,02	0,09	0,01	0,05	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,4	123,04%	119,53%	117,03%	148,70%
22	Calidad del Aire	340.885	6.296.504	0,02	0,09	0,01	0,05	61,5	155,3	23,4	74,3	61,5	155,4	23,4	74,3	123,04%	119,53%	117,03%	148,70%

Fuente: GAC, 2026.

9.2 Análisis de resultados de modelación

9.2.1 Análisis de significancia de los aportes del proyecto en zona saturada (MP10 y MP2,5)

La zona de emplazamiento del proyecto se encuentra dentro de la zona declarada saturada por Material Particulado Respirable MP10, mediante el D.S. 131 de 1996 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, y zona saturada por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración de 24 horas, mediante el D.S. 67 de 2014 del Ministerio del Medio Ambiente.

Para evaluar la significancia de los aportes del proyecto, obtenidos de la modelación de calidad del aire se utiliza el “Criterio de evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5” SEA, 2023. Acorde a este criterio, la evaluación, se realiza en el marco de existencia de un escenario de riesgo preexistente para los receptores identificados. En este contexto, el análisis de significancia se realiza sobre el aporte incremental de concentraciones asociadas al Proyecto, comparándolas con los valores de SILs presentados en la Tabla 9-4.

Tabla 9-4. Valores de significancia para el aumento de concentraciones de MP10 y M2,5 sobre receptores humanos en un período igual o mayor a 3 años en zonas que sobrepasen el valor de la norma (SILs)

Contaminante	Período	Incremento de concentración (µg/m³)
MP10	24 horas	5,00
MP10	Anual	1,00
MP2,5	24 horas	1,71
MP2,5	Anual	0,33

Fuente: “Criterio de evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5” del SEA, 2023

La Tabla 9-5 presenta la comparación entre las concentraciones aportadas por el Proyecto, obtenidas mediante el modelo de calidad del aire en los receptores identificados, y los valores de significancia (SILs) aplicables a cada contaminante y período de evaluación. De los resultados se observa que, en todos los receptores evaluados, los aportes del Proyecto no superan los SILs, por lo que no se superan los criterios establecidos por él SEA.

Tabla 9-5. Evaluación de significancia de los Aportes de MP10 y MP 2,5 del proyecto (SILs)

Receptor	Tipo Receptor	Coordenadas WGS84 19J		MP10 (µg/m³)		MP2.5 (µg/m³)		SILs MP10 (µg/m³)		SILs MP2.5 (µg/m³)		Cumple SILs
		UTM E:	UTM N:	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	Anual	24 horas	
1	C. Aire	339.895	6.296.722	0,24	0,81	0,14	0,51	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
2	C. Aire	339.328	6.296.986	0,36	1,30	0,20	0,68	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
3	C. Aire	338.862	6.297.063	0,54	2,24	0,24	1,01	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
4	C. Aire	338.933	6.296.876	0,52	1,63	0,24	0,79	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
5	C. Aire	338.013	6.297.293	0,26	0,77	0,12	0,39	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
6	C. Aire	337.712	6.297.143	0,17	0,51	0,08	0,26	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
7	C. Aire	336.756	6.297.328	0,02	0,14	0,01	0,09	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
8	C. Aire	336.829	6.297.522	0,02	0,12	0,01	0,08	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
9	C. Aire	336.181	6.297.666	0,01	0,06	0,00	0,03	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
10	C. Aire	336.081	6.297.700	0,01	0,06	0,00	0,03	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
11	C. Aire	336.429	6.297.402	0,01	0,09	0,01	0,06	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
12	C. Aire	334.100	6.298.102	0,02	0,06	0,01	0,02	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
13	C. Aire	331.576	6.298.105	0,07	0,33	0,05	0,25	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
14	C. Aire	331.150	6.298.569	0,22	0,64	0,15	0,48	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
15	C. Aire	329.455	6.298.357	0,11	0,53	0,07	0,34	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
16	C. Aire	329.141	6.298.340	0,07	0,36	0,04	0,22	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
17	C. Aire	325.632	6.297.167	0,27	0,53	0,09	0,15	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
18	C. Aire	324.101	6.296.096	0,09	0,44	0,03	0,15	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
19	C. Aire	341.329	6.296.760	0,01	0,05	0,01	0,03	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
20	C. Aire	341.133	6.296.532	0,01	0,06	0,01	0,03	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
21	C. Aire	340.897	6.296.662	0,02	0,09	0,01	0,05	1,00	5,00	0,33	1,71	Si
22	C. Aire	340.885	6.296.504	0,02	0,09	0,01	0,05	1,00	5,00	0,33	1,71	Si

Fuente: GAC, 2026

9.3 Mapas de gradientes espaciales de concentración (isoconcentraciones)

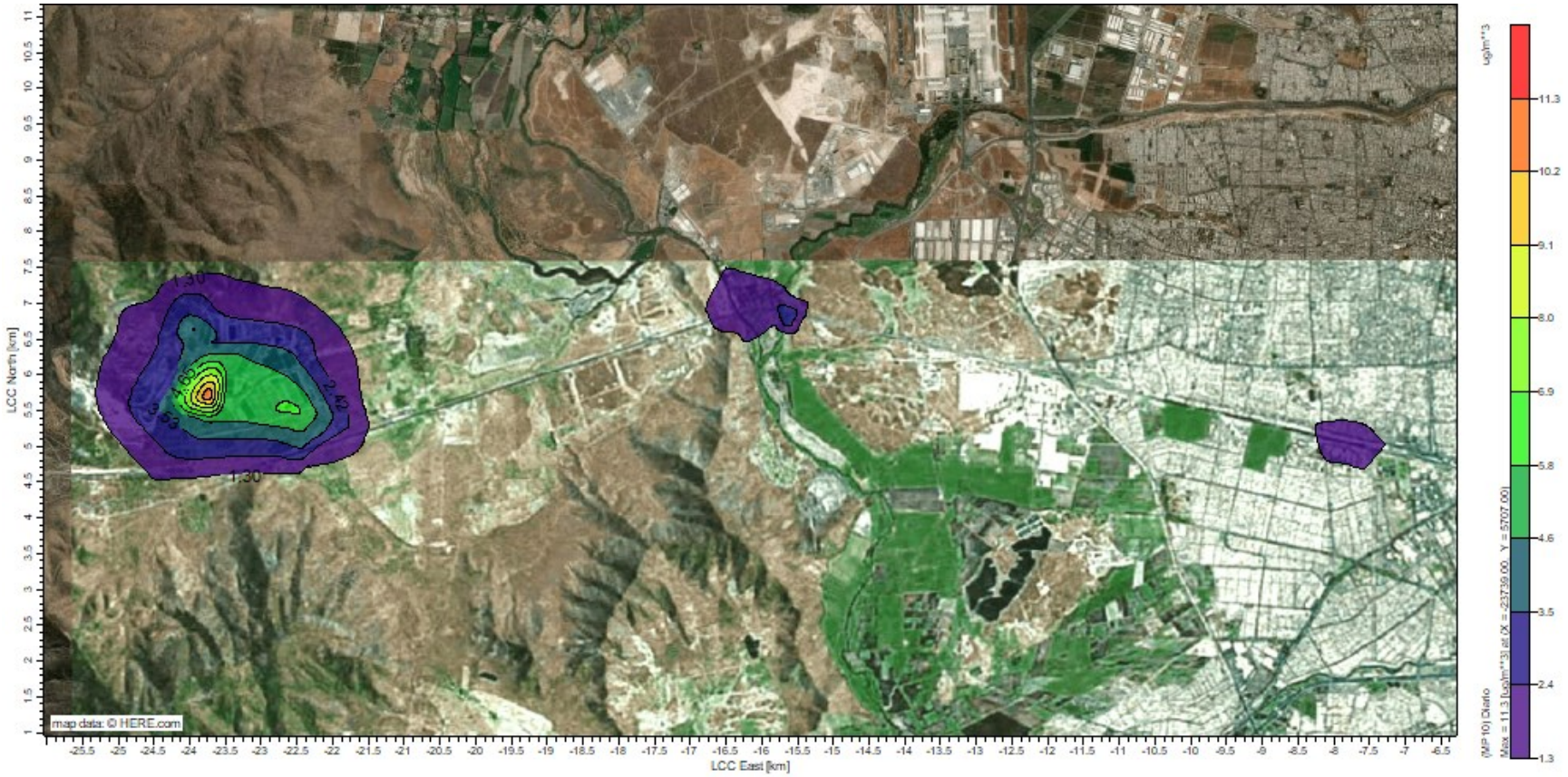
A continuación, se presentan las curvas de isoconcentración por contaminante del escenario modelado. Cabe mencionar que se utiliza el 1% de las respectivas normas como umbral inferior de corte para definir el área de influencia de los contaminantes.

Figura 9-1. Isoconcentraciones MP10 Anual



Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-2. Isoconcentraciones MP10 Diario



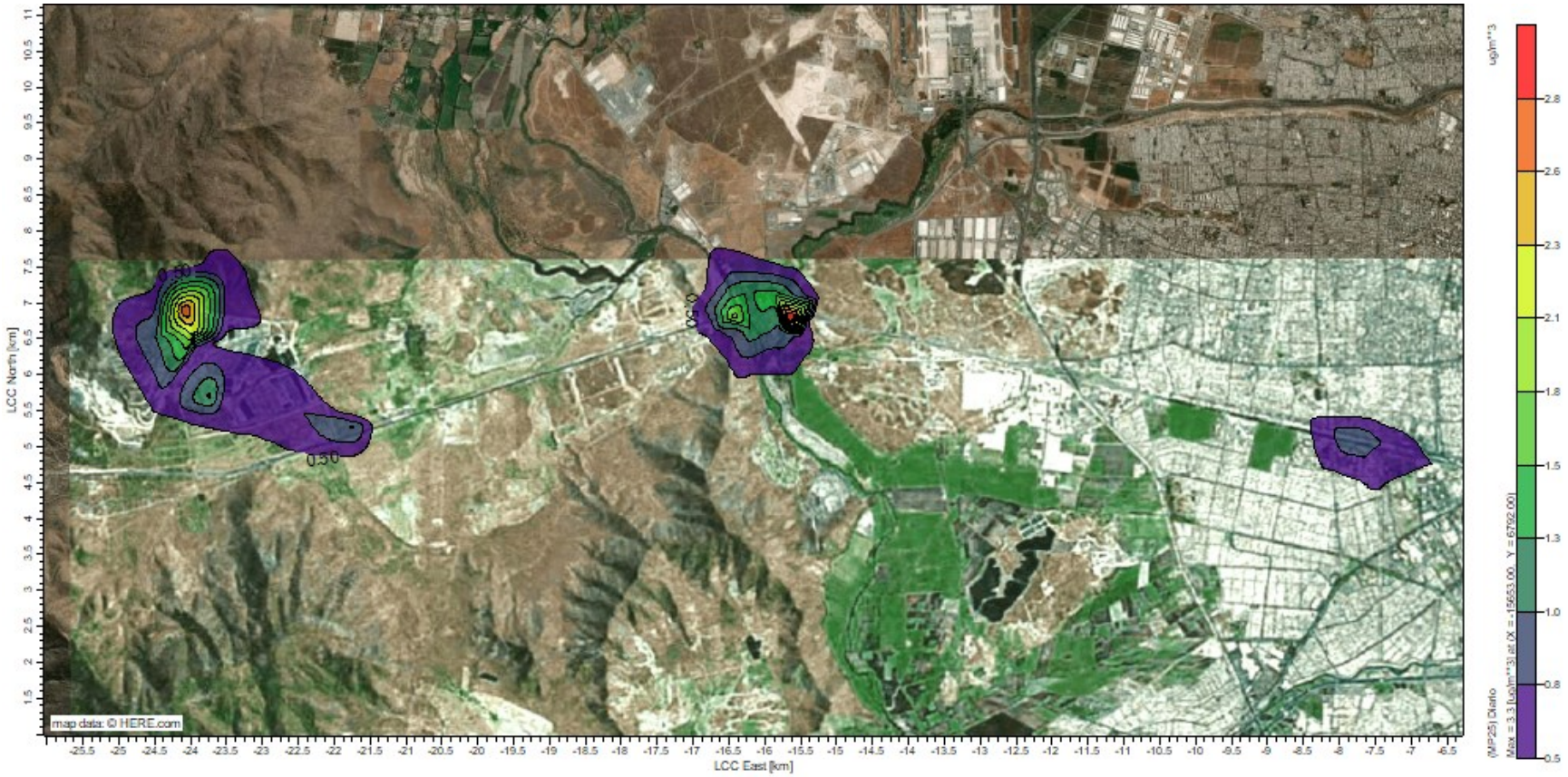
Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-3. Isoconcentraciones: MP2,5 anual



Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-4. Isoconcentraciones: MP2,5 diario



Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-5. Isoconcentraciones: NO_2 Anual



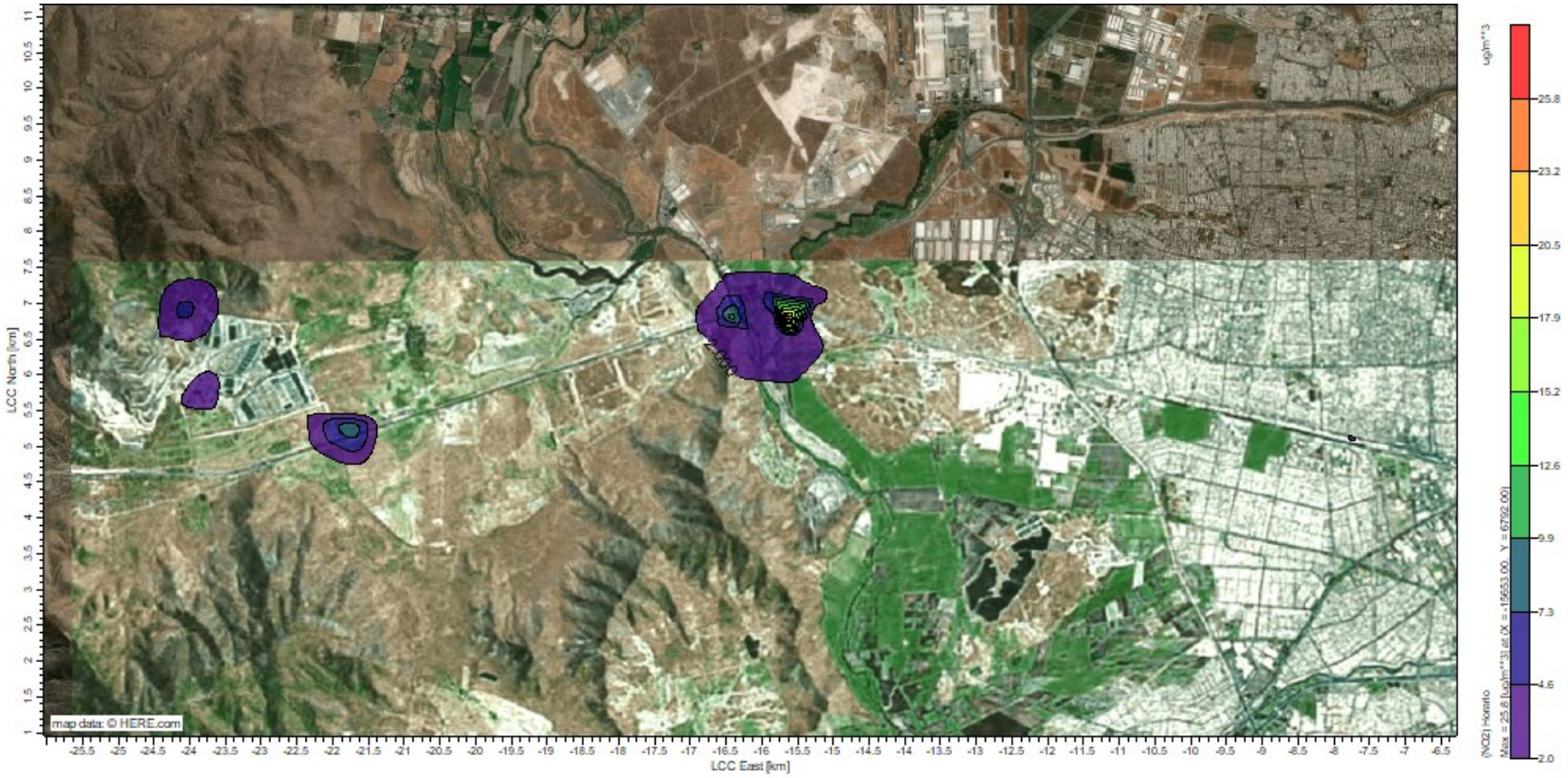
Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-6. Isoconcentraciones: NO_2 diario



Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-7. Isoconcentraciones: NO_2 horario



Fuente: GAC, 2026.

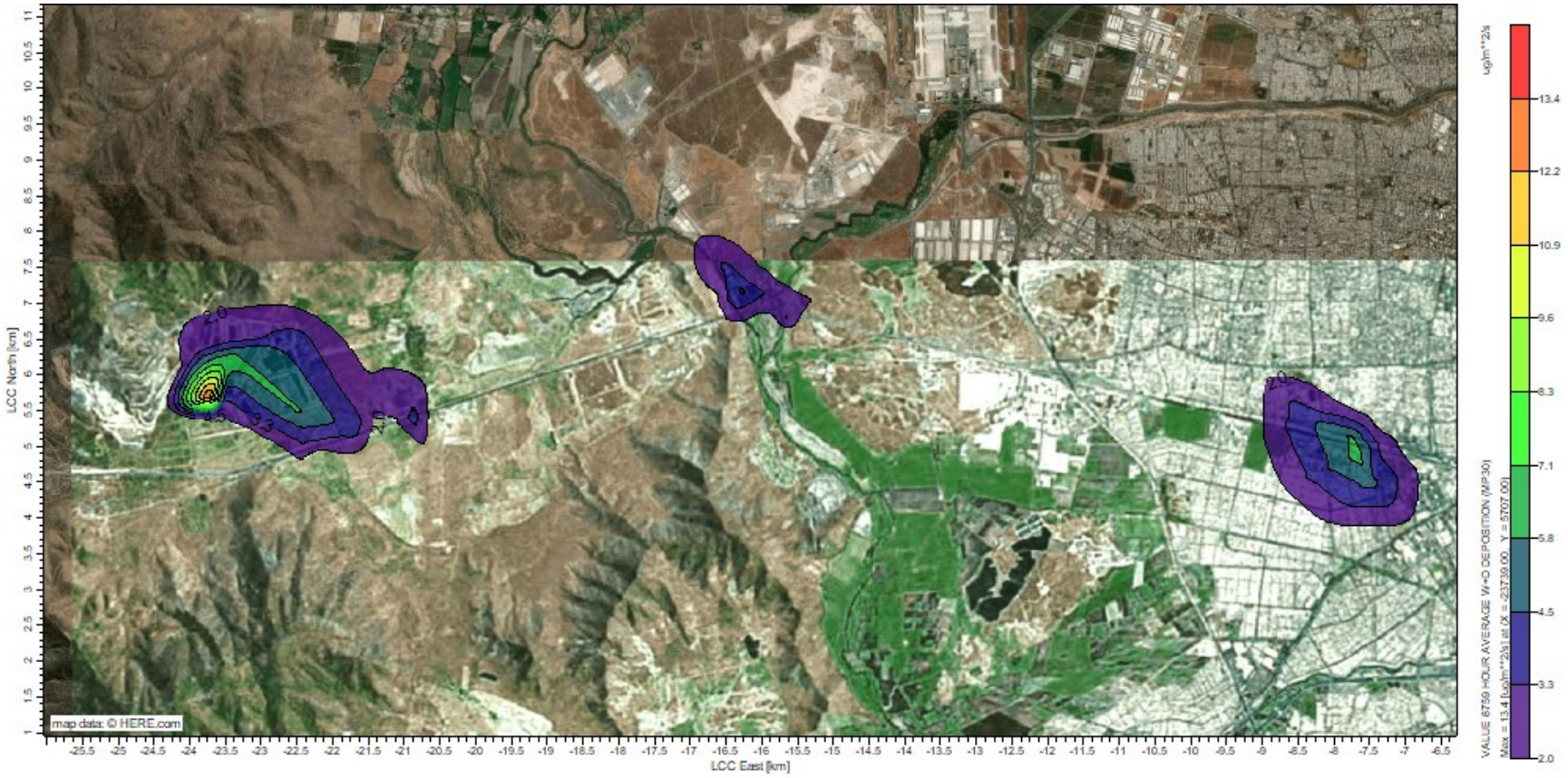
Figura 9-8. Isoconcentraciones: SO_2 horario

Los aportes de SO_2 modelados son inferiores a los umbrales de corte definido, por lo que la siguiente figura solo se presenta de manera referencial



Fuente: GAC, 2026.

Figura 9-9. Isoconcentraciones: MPS Anual



Fuente: GAC, 2026.

10 CONCLUSIONES

Para evaluar los aportes de concentración del proyecto en la calidad del aire asociado a las emisiones atmosféricas, se realizó la modelación de dispersión de contaminantes, utilizando las variables meteorológicas modeladas con WRF, de acuerdo con lo establecido en la Guía para el uso de Modelos de Calidad del Aire en el SEIA.

De manera conservadora se seleccionó para la modelación el año 3 de la fase de construcción correspondientes al año de mayores emisiones. Los resultados de la estimación de emisiones para este año son de 51,96t/año de MP30, 17,56 t/año de MP10, 5,57 t/año de MP2.5, 42,78 t/año de NOx, 0,62 t/año de SO2, 0,11 t/año de NH3, 113,22 t/año de CO y 7,80 t/año de COV, la fuente de mayores emisiones corresponde al tránsito por caminos no pavimentados.

De los resultados modelados, se concluye que:

Para MP10 y MP2,5 tanto diario como anual, la concentración total presentada como la suma proyectada de los aportes del proyecto más la línea de base superan la normativa vigente. Esto se debe a que la zona de emplazamiento del proyecto se encuentra dentro de la zona declarada saturada por Material Particulado Respirable MP10, mediante el D.S. 131/1996 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, y por Material Particulado Fino Respirable MP2,5, como concentración de 24 horas, mediante el D.S. 67/2014 del Ministerio del Medio Ambiente. En consideración de esta condición, la evaluación de significancia de los aportes del Proyecto se realizó conforme al “Criterio de Evaluación en el SEIA: Impacto de emisiones en zonas saturadas por material particulado respirable MP10 y material particulado fino respirable MP2,5” (SEA, 2023), reconociendo la existencia de un escenario de riesgo preexistente para los receptores humanos presentes en el área de influencia. Por lo que el análisis de significancia se realizó sobre el aporte incremental de concentraciones en los evaluados. Los resultados de la modelación entregan que el receptor que el receptor 3 es el que recibe un mayor aporte, con 0,54 µg/m^3 de MP10 anual, 2,24 µg/m^3 de MP10 diario, 0,24 µg/m^3 de MP2,5 anual y 1,01 µg/m^3 de MP2,5 diario, bajo los valores de significancia SILs para MP10 ni MP2,5 considerando los periodos y duración del impacto evaluados.

Respecto a los aportes de los gases del proyecto y el cumplimiento de la normativa primaria de calidad del aire se observa que no se supera ninguna de las normas de calidad del aire vigentes en los receptores evaluados.

Respecto a la presencia de Recursos Naturales, particularmente Flora y Vegetación se desarrolló el análisis de MPS utilizando como norma de referencia la Ordenanza de la confederación Suiza, se consideraron receptores en las zonas de emplazamiento del proyecto, no se observa superación de a la norma en ninguno de los receptores evaluados.

Finalmente, con base en los antecedentes y la evaluación presentada, y considerando que la modelación corresponde conservadoramente al año de mayores emisiones atmosféricas del Proyecto, se concluye que los aportes modelados no modifican significativamente la calidad del aire del área de estudio. Asimismo, para MP10 y MP2,5, los aportes incrementales del Proyecto en los receptores humanos evaluados no superan los valores de significancia aplicables en el escenario de riesgo preexistente. En consecuencia, los resultados obtenidos no generan efectos significativos adversos en calidad del aire asociados a las emisiones atmosféricas del Proyecto.