



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

INFORME FINAL DE MODELACIÓN DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS PARA



AngloAmerican

FUNDICIÓN CHAGRES

2019





ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

“Estudio de análisis de la calidad del aire y simulación de dispersión para Fundición Chagres – Anglo American”

INFORME 3

Preparado por:
PARTICUOLOTECH LTDA.

Versión del Documento		1	
<i>Responsables Elaboración de Informe Rev. 2</i>		<i>Responsable Revisión y Aprobación de Informe Rev.2</i>	
Nombre:	Fidel Vallejo Gallardo	Nombre:	Luis Alonso Díaz Robles
Cargo:	Ingeniero Senior Magíster en Ciencias de la Ingeniería Particulotech Ltda.	Cargo:	Jefe de Proyecto Gerente General Particulotech Ltda.
Fecha:	18-11-2019	Fecha:	18-11-2019



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	7
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. OBJETIVOS.....	11
2.1. OBJETIVO GENERAL	11
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
3. METODOLOGÍA.....	12
3.1. DATA DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA.....	12
3.2. SISTEMA DE MODELACIÓN WRF	12
3.3. DOMINIO DE MODELACIÓN	13
3.4. UBICACIÓN DE FUENTES Y PERFIL DE EMISIONES DE CONTAMINANTES.....	16
3.5. SISTEMA DE MODELACIÓN CALPUFF	25
4. RESULTADOS.....	30
4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELACIÓN WRF	30
4.1.1. Datos meteorológicos observados	30
4.2. MODELACIÓN CALPUFF	37
4.3. Análisis de escenarios para el SO ₂	48
5. CONCLUSIONES.....	53



Índice de tablas

Tabla 1. Información del dominio 'd01'	14
Tabla 2. Resumen del Inventario de emisiones	16
Tabla 3. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 1 (g/s)	17
Tabla 4. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 2 (g/s)	17
Tabla 5. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 3 (g/s)	18
Tabla 6. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 4 (g/s)	18
Tabla 7. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 5 (g/s)	18
Tabla 8. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 6 (g/s)	19
Tabla 9. Perfil de emisiones para Secador Kumera (g/s)	19
Tabla 10. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Reducción) (g/s)	19
Tabla 11. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Sedimentación) (g/s)	20
Tabla 12. Perfil de emisiones para Planta de ácido (g/s)	20
Tabla 13. Perfil de emisiones para Horno de refino 1 (g/s)	21
Tabla 14. Perfil de emisiones para Horno de refino 2 (g/s)	21
Tabla 15. Perfil de emisiones para Sangrado eje (g/s)	21
Tabla 16. Perfil de emisiones para Sangrado escoria (g/s)	22
Tabla 17. Porcentajes de frecuencia horaria de velocidad del viento en Santa Margarita	23
Tabla 18. Emisiones areales-fugitivas de SO ₂ horarias en perfil mensual (g/m ² s)	24
Tabla 19. Velocidad del viento (m/s) modelada y observada como promedio anual, año 2018	30
Tabla 20. Concentración promedio anual de SO ₂ modelada y observada año 2018	37
Tabla 21. Descripción de escenarios	48
Tabla 22. Reducción de concentraciones anuales del SO ₂ en Estación Margarita, año 2018	52



Índice de Figuras

Figura 1. Zona de Estudio de Fundición Chagres.....	10
Figura 2. Diagrama del funcionamiento del modelo WRF v3.9 y sus módulos	13
Figura 3. Malla de dominio anidado 'd03'. Celdas de 1 km.....	14
Figura 4. Topografía del Dominio de Modelación en 2D.....	15
Figura 5. Dominio de modelación en Calpuff con data superficial y tamaño de celda de 200 m.....	16
Figura 6. Ubicación de fuentes puntuales (círculos) y aerales-fugitivas (rectángulo) en Chagres	25
Figura 7. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información	27
Figura 8. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF View 8.6	28
Figura 9. Ejemplo de representación de resultados Calpuff.....	29
Figura 10. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Catemu, año 2018	31
Figura 11. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Romeral, año 2018.....	31
Figura 12. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Santa Margarita, año 2018	32
Figura 13. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Lo Campo, año 2018 ..	32
Figura 14. Rosa de los vientos observada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche	33
Figura 15. Rosa de los vientos modelada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche	34
Figura 16. Rosa de los vientos observada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche	34
Figura 17. Rosa de los vientos modelada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche	35
Figura 18. Rosa de los vientos observada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche	35
Figura 19. Rosa de los vientos modelada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche.....	36
Figura 20. Rosa de los vientos observada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche	36
Figura 21. Rosa de los vientos modelada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche.....	37
Figura 22. Concentración de SO ₂ observada y modelada en Catemu, año 2018	38
Figura 23. Concentración SO ₂ observada y modelada en Romeral, año 2018	39
Figura 24. Concentración SO ₂ observada y modelada en Sta. Margarita, año 2018	40



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Figura 25. Concentración SO ₂ observada y modelada en Lo Campo, año 2018	40
Figura 26. Concentración PM ₁₀ observada y modelada en Catemu, año 2018	41
Figura 27. Concentración PM ₁₀ observada y modelada en Lo Campo, año 2018	42
Figura 28. Concentración PM ₁₀ modelada en Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, año 2018 .	43
Figura 29. Promedio de concentraciones de 1 h – SO ₂	44
Figura 30. Promedio de concentraciones de 1 h – SO ₂ (Fundición → Sta. Margarita).....	44
Figura 31. Promedio de concentraciones de 1 h – SO ₂ (Catemu → Fundición Chagres)	45
Figura 32. Promedio de concentraciones de 24 h – SO ₂	45
Figura 33. Promedio de concentraciones de anual – SO ₂	46
Figura 34. Promedio de concentraciones de 1 h – PM ₁₀	47
Figura 35. Promedio de concentraciones de 24 h – PM ₁₀	47
Figura 36. Promedio de concentraciones anual – PM ₁₀	48
Figura 37. Escenario 2 comparado con el base	49
Figura 38. Escenario 3 comparado con el base	50
Figura 39. Escenario 4 comparado con el base	51
Figura 40. Todos los escenarios comparados.....	51



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe muestra los resultados obtenidos de la modelación de la dispersión de las emisiones de dióxido de azufre (SO_2) y PM_{10} generados por la operación de la Fundición Chagres de Anglo American para todo el año 2018. La modelación meteorológica y de dispersión de contaminantes se realizó utilizando modelos recomendados por el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) del Ministerio del Medio Ambiente (MMA) llamados Weather Research and Forecasting (WRF) y CALPUFF, cuyas versiones usadas fueron la v3.9 y Calpuff View 8.6, respectivamente. El dominio de modelación considerado fue de 61x61 km con 44 capas verticales, cuyas celdas de la malla de modelación fueron de 200x200 m, esto con el objetivo de conseguir una mejor resolución y detalles de la zona geográfica. Cabe destacar que para lograr un mejor desempeño del modelo WRF, la modelación meteorológica fue ajustada mediante el preprocesador CALMET (Calpuff) con la data anual observada del 2018 de tres estaciones meteorológicas de superficie de la zona de estudio: estaciones Santa Margarita, Catemu, Lo Campo y Romeral.

Para la modelación del PM_{10} y SO_2 , se consideraron 4 escenarios de emisiones; (1) escenario del año base con todas las fuentes y emisiones presentadas en el Informe 2 del presente estudio, (2) escenario que consideró que el 20% de las emisiones fugitivas de la nave de fundición se llevan a actual Chimenea de 100 m, (3) escenario que consideró que el 40% de las emisiones fugitivas de la nave de fundición se llevan a actual Chimenea de 100 m, y (4) escenario que consideró que el 60% de las emisiones fugitivas de la nave de fundición se llevan a actual Chimenea de 100 m. El escenario 1 fue utilizado para verificar y aprobar el desempeño de la modelación meteorológica y de calidad del aire, y como escenario de comparación con el resto de los escenarios, previo ajuste de las concentraciones con el percentil 98 de las concentraciones horarias del SO_2 , según norma de calidad del aire D.S. N° 104/2019.

De acuerdo con los resultados, se concluye que tanto la simulación meteorológica y la de dispersión del SO_2 fueron razonables y se determinó que las concentraciones horarias, diaria y promedio anual no superaron la norma primaria de calidad del aire para el SO_2 (D.S. N° 104/2019) en cada una de las estaciones de monitoreo analizadas en el Primer Informe de este Estudio. En efecto, la modelación de la velocidad y dirección del viento, variable más influyente en la calidad



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

del aire, tuvo un mejor desempeño en la Estación Santa Margarita, con tan solo un 2.5 % de error de la velocidad del viento como promedio anual, para el resto de las estaciones el desempeño fue razonablemente bueno, pero inferior al de la Estación Santa Margarita, con valores de error del 21.1, 23.6 y 25.6 % para Catemu, Romeral y Lo Campo, respectivamente. La dirección del viento modelada se ajusta a la tendencia de los datos observados, de manera principal en horas del día. La componente principal para Catemu y Santa Margarita es desde la dirección sur – sureste, mientras que para Lo Campo y Romeral es el oeste. Con respecto a la modelación de la dispersión de contaminantes, se obtuvieron valores de error entre el promedio anual observado y modelado para el SO₂ cercanos al 10 %. El comportamiento del desempeño de la modelación del PM₁₀ no se pudo comparar con los datos observados, pues hay varias otras fuentes en la zona que generan PM₁₀. Si se asume que la modelación de la dispersión de PM₁₀ fue adecuada, para la estación de Catemu se puede concluir que la Fundición de Chagres solo aportó con el 16.7% de la concentración anual del PM₁₀ para el año 2018, mientras que para Lo Campo el aporte fue de tan solo de 0.68%. Estos valores se deben corroborar con los resultados del estudio de modelo de receptor. Al comparar los escenarios de reducción de emisiones fugitivas de SO₂ y que se llevaron a la Chimenea de 100 m, se concluye que el mejor escenario fue el escenario 2, es decir, que si el 20% de las emisiones fugitivas se capturan y llevan a la chimenea de 100 m, se logra una reducción del 23.6% como concentración promedio anual del SO₂ en Estación Margarita para el año 2018, donde los meses que hubo mayores reducciones correspondieron a los meses de enero (-24 %), mayo (-38 %) y diciembre (-34 %). Para los escenarios 3 y 4, las reducciones de las concentraciones promedio en la Estación Santa Margarita fueron de 17.4 y 10.9%, respectivamente. Sobre el análisis del PM₁₀ se puede concluir que el aporte que representa el proceso de fundición es del 16.7 % del promedio anual de las concentraciones medidas en Catemu. El promedio de los valores obtenidos por la simulación es de 13.48 µg/m³, mientras que el promedio de datos observados alcanza los 80.82 µg/m³.

Si bien es cierto que capturar las emisiones fugitivas y llevarlas a una chimenea de 100 m ayuda a reducir el impacto en la zona de estudio, el porcentaje de captura debe ser acotado, pues de lo contrario, se podrían generar mayores problemas de impacto ambiental por el SO₂ en la Estación Margarita.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

1. INTRODUCCIÓN

En junio de 2019 fueron declaradas Zona Saturada por MP_{10} como concentración anual y latente por MP_{10} como concentración diaria a las comunas de Catemu, Panquehue y Llay Llay de la provincia de San Felipe; además de Quillota, La Calera, La Cruz, Hijuelas y Nogales en la provincia de Quillota.

Según la Autoridad Ambiental, los factores responsables de estos índices son las quemas agrícolas, la combustión de la leña domiciliaria y las emisiones del parque automotriz. Se espera que la declaratoria sea publicada en el Diario Oficial y luego habrá un plazo de 12 meses para elaborar un plan de descontaminación, que será presentado a la comunidad para su aprobación y posterior aplicación.

Si bien la autoridad no menciona a las fuentes industriales, pero con el fin de adelantarse a la elaboración del anteproyecto del futuro Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica (PPDA), es que Fundación Chagres de Anglo American está elaborando un estudio y modelación de la calidad del aire que permita anticiparse y reducir potenciales episodios de contaminación atmosférica. En efecto, para el desarrollo de esta robusta herramienta, primeramente, se debe elaborar y estimar un completo inventario de emisiones de las fuentes antropogénicas, incluyendo los principales contaminantes de cada una de estas fuentes, así como de sus perfiles temporales del año base.

Un inventario de emisiones es una lista comprensiva de fuentes de contaminación atmosférica y un estimado de sus emisiones en un área geográfica específica para un intervalo específico de tiempo. En este caso, Fundación Chagres se encuentra ubicada en la V Región, Provincia de Catemu. La Figura 1 indica la geografía de la zona estudiada. En esta figura y a simple vista, es posible identificar la zona de recepción del concentrado de cobre, zona de almacenaje y secado del concentrado, hornos de fundición, planta de ácido sulfúrico, caminos y los escoriales.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental



Figura 1. Zona de Estudio de Fundición Chagres



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio representativo de la calidad del aire en la zona geográfica que comprende Fundación Chagres mediante la modelación de la meteorología y dispersión de contaminantes atmosféricos, y el desarrollo y actualización del Inventario de Emisiones.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Modelar y evaluar la meteorología con el modelo WRF para el año base 2018 en dominio anidado de modelación de Chagres.
2. Actualizar y evaluar las emisiones generadas en la operación de Chagres.
3. Modelar y evaluar la dispersión de material particulado PM_{10} y SO_2 , mediante software Calpuff para la operación Chagres durante el año 2018.
4. Determinar el aporte de las emisiones en tres escenarios:
 - a. Real: Considerando Inventario de emisiones del año 2018.
 - b. Ideal: Considerando una reducción de emisiones fugitivas de SO_2 de la nave de procesos equivalente a un 80, 60 y 40 %, capturarlas y llevarlas a Chimenea de 100 m.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

3. METODOLOGÍA

3.1. DATA DE CALIDAD DEL AIRE Y METEOROLOGÍA

De acuerdo con la aplicabilidad de la normativa, se procesaron los datos completos para las variables meteorológicas de cuatro estaciones de monitoreo ambiental presentes en la zona de estudio: Romeral, Santa Margarita, Catemu y Lo Campo. Con estas bases se determinó la estadística descriptiva para las variables de velocidad del viento (WS) y Dirección del Viento (WD), utilizando el paquete estadístico especializado en calidad del aire: OpenAir-Project 3.3. Esta información permitió tener una línea base para el período desde enero a diciembre del año base 2018. El resumen de este análisis se envió en el Informe 1 generado por este equipo consultor.

3.2. SISTEMA DE MODELACIÓN WRF

WRF es uno de los modelos más avanzados y completos para modelar variables meteorológicas en diferentes tipos de terrenos y condiciones climáticas. Este software es mantenido por NCAR/NOAA de los Estados Unidos. El modelo WRF exige un número menor de modificaciones en los archivos que deben ser preparados para su ejecución. Las principales aplicaciones de WRF son:

- Investigación de parametrización.
- Investigación en asimilación de datos.
- Investigación en pronóstico.
- Predicción numérica en tiempo real.
- Aplicaciones para modelos acoplados (por ejemplo: CMAQ, CALPUFF)

En términos generales, el modelo WRF consta de cuatro módulos principales, WPS, WRF-Var, WRF-ARW y ARW-Post, tal como se aprecia en la figura 2. La resolución horizontal de WRF en el dominio final se estableció de celdas de 1 km, la cual es considerada como una resolución adecuada para proyectos que requieren modelación más avanzada de calidad del aire. La configuración del modelo fue la que establece por defecto el Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental.

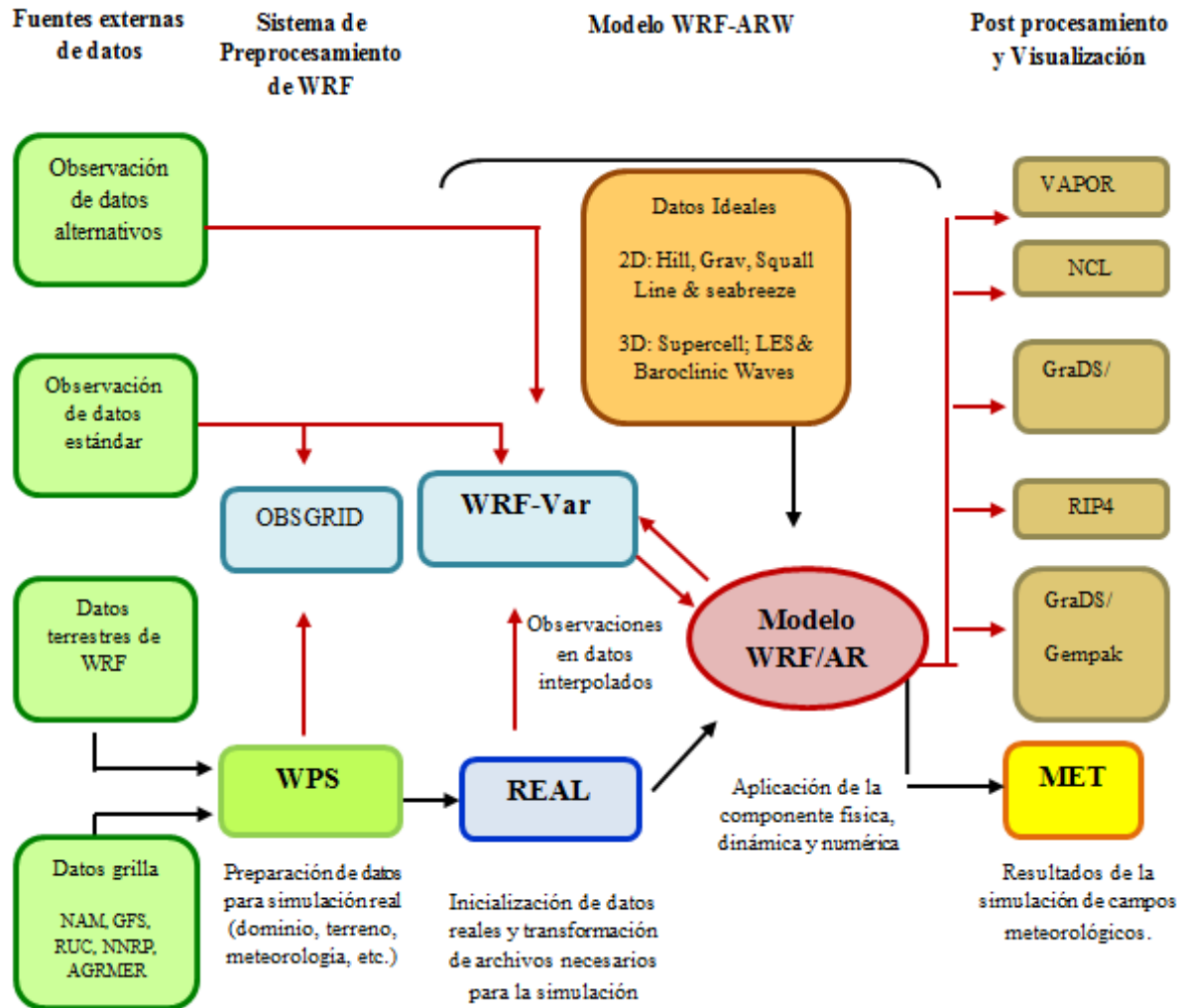


Figura 2. Diagrama del funcionamiento del modelo WRF v3.9 y sus módulos

3.3. DOMINIO DE MODELACIÓN

- *Características del dominio de modelación y su entorno*

Dominio de modelación

El dominio de modelación considera el área de la Fundición Chagres, ubicada en la Provincia de Catemu, Región de Valparaíso. Para la evaluación de los campos de viento el tamaño de celda del dominio es de 1 km. Este dominio fue procesado en WPS, utilizando el WRFDomainWizard para el año 2018, como año base.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Grilla:

- Resolución Grilla:
 - Dominio 1: 9 km, Ancho: 85 x 85
 - Dominio 2: 3 km, Ancho: 73 x 73
 - Dominio 3: 1 km, Ancho: 61 x 61



Figura 3. Malla de dominio anidado 'd03'. Celdas de 1 km.

En Tabla 1 se presentan las coordenadas vértices del dominio de modelación del proyecto.

Dominio de modelación zona de estudio:

- Proyección: LCC, Lambert Conic Conformal
- Datum: NWS-84, NWW 6370 KM Radius, Global Sphere

Tabla 1. Información del dominio 'd01'

Map project	LCC
Ref_lat	-32.804
Ref_lon	-70.956
TrueLat1	-30
TrueLat2	-60
DX [m]	1000
DY [m]	1000



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

- *Topografía y uso del suelo*

En la Figura 4 se observa la altura de terreno en la zona de modelación. Se indican alturas desde los 200 msnm hasta los 2200 msnm. El área correspondiente a Chagres está encajonada entre varios cerros que limitan la ventilación de la zona.

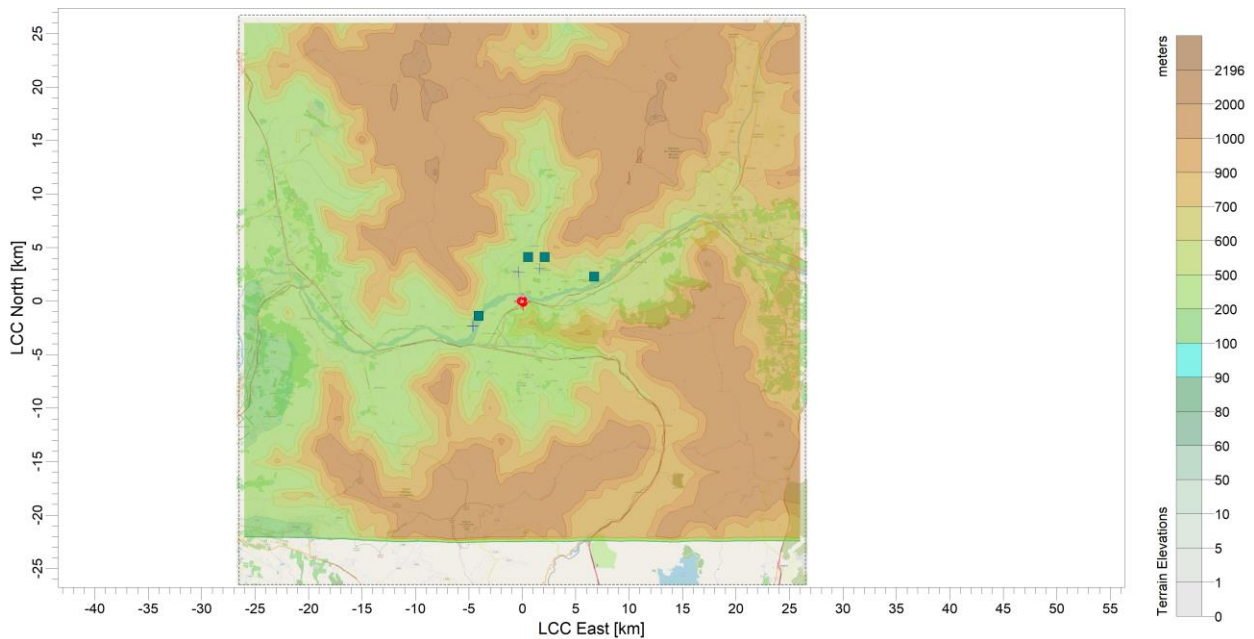


Figura 4. Topografía del Dominio de Modelación en 2D.

Refinación de la malla y mejora en el desempeño del modelo meteorológico

Con la finalidad de mejorar la capacidad de la predicción del modelo de calidad del aire, la malla de 1 km que se utilizó en WRF se refinó a celdas de 200 m, y se ejecutó el modelo CALMET en Calpuff con 3 estaciones de superficie, según se indica en la Figura 5. Esta mejora en el desempeño permite una mayor fiabilidad en el modelo para analizar la dispersión de contaminantes.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

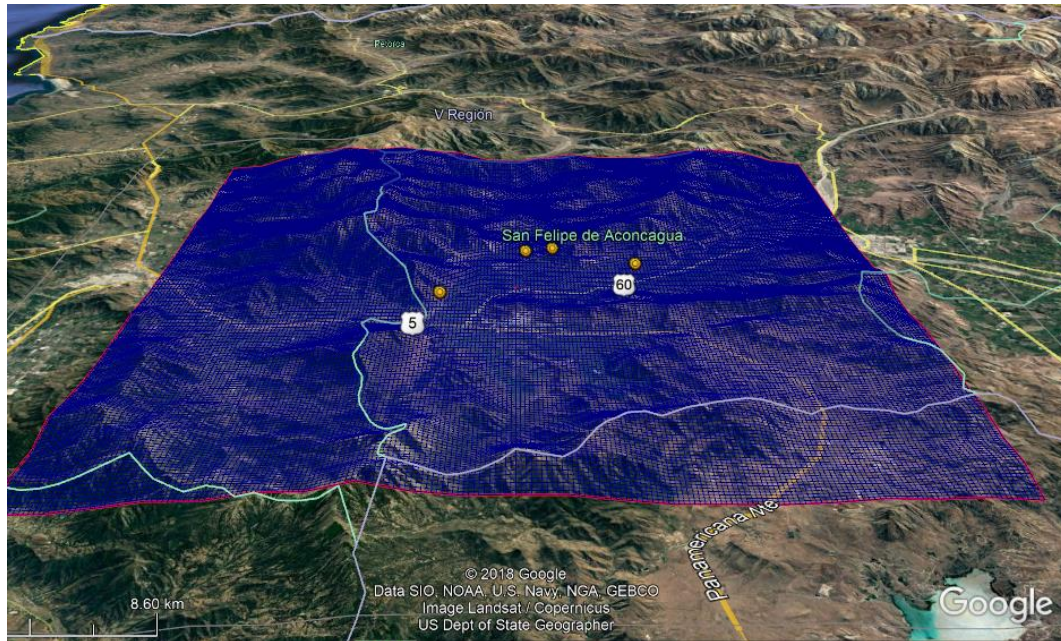


Figura 5. Dominio de modelación en Calpuff con data superficial y tamaño de celda de 200 m

3.4. UBICACIÓN DE FUENTES Y PERFIL DE EMISIONES DE CONTAMINANTES

Las fuentes fueron ubicadas geográficamente y caracterizadas con la información disponible (Informe 2). El resumen completo del Inventario de emisiones se indica en la Tabla 2.

Tabla 2. Resumen del Inventario de emisiones

Tipo Emisión	Fuente	MP ₁₀ (ton/año)	SO ₂ (ton/año)	CO (ton/año)	NO _x (ton/año)	
Emisiones Fuentes Fijas	Secador Kumera	1,12	0,09	0,04	0,00	
	Planta de limpieza de gases HLE y refino	HLE	1,95	87,83	9,99	3,03
		Refino	1,02	12,65	0,75	0,89
	Planta de ácido (CPS)	1,92	389,53	0,00	0,00	
	Horno Fusión Flash Chimenea Fría	6,91	56,49	0,00	0,69	
	Grupos electrógenos	0,01	0,00	0,08	0,36	
Emisiones Fuentes Fugitivas		575,79	9.908,59			
Emisiones areales	Descarga en escoria	0,0005				
	Emisiones área Sur	3,63				
TOTAL [ton/año]		592,34	10.455,18	10,86	4,97	



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Todas las fuentes puntuales se ingresaron con un perfil mensual en el software Calpuff. Las Tablas 3 a 8 indica el perfil mensual por contaminantes para los Grupos electrógenos. Por otra parte, las tablas 9 a 16 muestran el perfil de misiones para el Secador Kumera, HLE, HR, Planta de ácido y Sangrado eje y escoria.

Tabla 3. Perfil de emisiones para Grupo Electrógeno 1 (g/s)

Fecha	GE1			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	8.87.E-05	3.86.E-06	2.97.E-03	6.79.E-04
mar-18	1.54.E-04	7.72.E-06	5.35.E-03	1.22.E-03
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	6.99.E-03	1.60.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	3.86.E-04	2.31.E-05	1.32.E-02	3.03.E-03
ago-18	3.05.E-04	1.93.E-05	1.05.E-02	2.40.E-03
sept-18	1.43.E-04	7.72.E-06	4.84.E-03	1.11.E-03
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	6.94.E-05	3.86.E-06	2.42.E-03	5.56.E-04
dic-18	6.17.E-05	3.86.E-06	2.09.E-03	4.78.E-04

Tabla 4. Perfil de emisiones para Grupo Electrógeno 2 (g/s)

Fecha	GE2			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	8.87.E-05	3.86.E-06	2.97.E-03	6.79.E-04
mar-18	1.54.E-04	7.72.E-06	5.35.E-03	1.22.E-03
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	6.99.E-03	1.60.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	3.86.E-04	2.31.E-05	1.32.E-02	3.03.E-03
ago-18	3.05.E-04	1.93.E-05	1.05.E-02	2.40.E-03
sept-18	1.43.E-04	7.72.E-06	4.84.E-03	1.11.E-03
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	6.94.E-05	3.86.E-06	2.42.E-03	5.56.E-04
dic-18	6.17.E-05	3.86.E-06	2.09.E-03	4.78.E-04



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 5. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 3 (g/s)

Fecha	GE3			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 6. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 4 (g/s)

Fecha	GE4			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 7. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 5 (g/s)

Fecha	GE5			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 8. Perfil de emisiones para Grupo Electrónico 6 (g/s)

Fecha	GE6			
	MP	SOx	NOx	CO
ene-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
jun-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
ago-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	2.04.E-04	1.16.E-05	7.04.E-03	1.61.E-03
dic-18	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 9. Perfil de emisiones para Secador Kumera (g/s)

Secador Kumera				
	MP	SO2	CO	NOx
ene-18	2.26.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	3.77.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	2.40.E-02	0.00.E+00	9.60.E-03	0.00.E+00
abr-18	2.95.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	4.40.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	3.97.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	5.32.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	5.98.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	2.49.E-02	3.56.E-02	5.19.E-03	0.00.E+00
oct-18	1.92.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	3.99.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	3.23.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 10. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Reducción) (g/s)

Horno Limpieza Escoria Reducción				
	MP	SO2	CO	NOx
ene-18	4.24.E-02	6.42.E+00	2.72.E-01	5.43.E-02
feb-18	2.14.E-02	6.56.E-01	1.15.E-01	3.08.E-02
mar-18	1.14.E-02	4.52.E-01	9.26.E-02	2.58.E-02
abr-18	1.05.E-02	6.37.E-01	1.30.E-01	3.54.E-02
may-18	2.46.E-02	7.51.E-01	1.20.E-01	7.62.E-02
jun-18	5.24.E-02	4.82.E-01	7.72.E-02	2.01.E-02
jul-18	1.70.E-02	8.02.E-01	1.23.E-01	6.44.E-02
ago-18	1.53.E-02	7.28.E-01	1.18.E-01	6.14.E-02



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

sept-18	1.42.E-02	1.08.E+00	1.71.E-01	2.76.E-02
oct-18	4.08.E-03	4.98.E-01	7.61.E-02	4.38.E-03
nov-18	4.51.E-02	8.74.E-01	1.30.E-01	6.65.E-02
dic-18	4.41.E-02	8.75.E-01	1.60.E-01	9.88.E-03

Tabla 11. Perfil de emisiones para Horno Limpieza Escoria (fase Sedimentación) (g/s)

Horno Limpieza Escoria Sedimentación				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	5.35.E-02	8.11.E+00	3.44.E-01	6.86.E-02
feb-18	2.54.E-02	7.78.E-01	1.37.E-01	3.66.E-02
mar-18	1.73.E-02	6.83.E-01	1.40.E-01	3.90.E-02
abr-18	1.37.E-02	8.28.E-01	1.68.E-01	4.60.E-02
may-18	3.57.E-02	1.09.E+00	1.75.E-01	1.11.E-01
jun-18	9.38.E-02	8.62.E-01	1.38.E-01	3.60.E-02
jul-18	2.49.E-02	1.18.E+00	1.81.E-01	9.45.E-02
ago-18	2.29.E-02	1.09.E+00	1.76.E-01	9.17.E-02
sept-18	2.01.E-02	1.52.E+00	2.41.E-01	3.89.E-02
oct-18	6.02.E-03	7.35.E-01	1.12.E-01	6.47.E-03
nov-18	6.42.E-02	1.24.E+00	1.85.E-01	9.46.E-02
dic-18	6.42.E-02	1.27.E+00	2.32.E-01	1.44.E-02

Tabla 12. Perfil de emisiones para Planta de ácido (g/s)

Planta de ácido				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	6.23.E-02	1.03.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
feb-18	6.35.E-02	9.45.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
mar-18	3.10.E-02	1.01.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
abr-18	6.77.E-02	1.09.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	6.31.E-02	1.17.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	2.93.E-02	1.16.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	6.51.E-02	1.40.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
ago-18	6.45.E-02	9.86.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
sept-18	6.21.E-02	2.02.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
oct-18	3.31.E-02	1.05.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
nov-18	1.33.E-01	1.33.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	6.13.E-02	1.65.E+01	0.00.E+00	0.00.E+00



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Tabla 13. Perfil de emisiones para Horno de refino 1 (g/s)

Horno de refino 1				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	1.00.E-02	7.98.E-02	6.81.E-02	4.90.E-02
feb-18	1.16.E-02	9.10.E-02	5.38.E-02	1.73.E-02
mar-18	1.35.E-02	5.00.E-02	3.28.E-02	2.51.E-02
abr-18	3.73.E-02	1.04.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.90.E-02	8.46.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	6.48.E-03	6.21.E-02	0.00.E+00	7.96.E-03
jul-18	7.13.E-03	5.54.E-02	0.00.E+00	2.10.E-02
ago-18	9.49.E-03	5.73.E-02	0.00.E+00	2.05.E-02
sept-18	1.24.E-02	1.12.E+00	0.00.E+00	2.10.E-03
oct-18	1.21.E-02	4.69.E-01	0.00.E+00	2.56.E-03
nov-18	2.17.E-02	7.72.E-02	0.00.E+00	2.37.E-02
dic-18	2.95.E-02	1.04.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 14. Perfil de emisiones para Horno de refino 2 (g/s)

Horno de refino 2				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	1.03.E-02	8.20.E-02	7.00.E-02	5.04.E-02
feb-18	1.12.E-02	8.78.E-02	5.19.E-02	1.67.E-02
mar-18	7.19.E-03	2.67.E-02	1.75.E-02	1.34.E-02
abr-18	2.55.E-02	7.14.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00
may-18	2.21.E-02	6.46.E-02	0.00.E+00	0.00.E+00
jun-18	1.57.E-02	1.51.E-01	0.00.E+00	1.93.E-02
jul-18	6.60.E-03	5.12.E-02	0.00.E+00	1.94.E-02
ago-18	9.73.E-03	5.88.E-02	0.00.E+00	2.11.E-02
sept-18	1.37.E-02	1.25.E+00	0.00.E+00	2.33.E-03
oct-18	1.16.E-02	4.47.E-01	0.00.E+00	2.44.E-03
nov-18	2.44.E-02	8.67.E-02	0.00.E+00	2.66.E-02
dic-18	2.99.E-02	1.05.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00

Tabla 15. Perfil de emisiones para Sangrado eje (g/s)

Sangrado eje				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	7.14.E-02	5.86.E-01	0.00.E+00	6.56.E-03
feb-18	7.48.E-02	6.14.E-01	0.00.E+00	6.88.E-03
mar-18	6.41.E-02	5.96.E-01	0.00.E+00	2.03.E-02
abr-18	6.49.E-02	5.33.E-01	0.00.E+00	5.97.E-03



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

may-18	5.46.E-02	4.49.E-01	0.00.E+00	5.03.E-03
jun-18	7.91.E-02	4.42.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	6.32.E-02	5.19.E-01	0.00.E+00	5.81.E-03
ago-18	6.55.E-02	5.38.E-01	0.00.E+00	6.03.E-03
sept-18	6.02.E-02	4.94.E-01	0.00.E+00	5.53.E-03
oct-18	3.11.E-02	2.56.E-01	0.00.E+00	2.86.E-03
nov-18	5.50.E-02	5.50.E-01	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	5.50.E-02	4.51.E-01	0.00.E+00	5.06.E-03

Tabla 16. Perfil de emisiones para Sangrado escoria (g/s)

Sangrado escoria				
	MP	SO ₂	CO	NO _x
ene-18	2.45.E-01	2.01.E+00	0.00.E+00	2.25.E-02
feb-18	2.39.E-01	1.96.E+00	0.00.E+00	2.20.E-02
mar-18	2.00.E-01	1.86.E+00	0.00.E+00	6.35.E-02
abr-18	2.13.E-01	1.75.E+00	0.00.E+00	1.96.E-02
may-18	1.89.E-01	1.55.E+00	0.00.E+00	1.73.E-02
jun-18	1.88.E-01	1.05.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
jul-18	7.38.E-02	6.06.E-01	0.00.E+00	6.79.E-03
ago-18	1.19.E-01	9.76.E-01	0.00.E+00	1.09.E-02
sept-18	1.21.E-01	9.94.E-01	0.00.E+00	1.11.E-02
oct-18	7.54.E-02	6.19.E-01	0.00.E+00	6.93.E-03
nov-18	1.11.E-01	1.10.E+00	0.00.E+00	0.00.E+00
dic-18	1.39.E-01	1.14.E+00	0.00.E+00	1.28.E-02

Para la nave de fundición, debido al nivel de emisiones y su importancia dentro del análisis, se calcularon las frecuencias de viento en la estación Santa Margarita, factor clave para definir la producción según lo indicado por la contraparte técnica. El total anual indicado en el Inventario de emisiones fue transformado en emisiones mensuales a través del nivel de producción reportado. Este perfil mensual se transformó en emisiones horarias utilizando las frecuencias de la velocidad del viento en la estación Santa Margarita, y por último se corrigieron los valores del escenario base para reducir el impacto de puntos extremos que aparecen durante la simulación utilizando el percentil 98 de los valores (D.S. 104/2018). La frecuencia horaria final se indica en la Tabla 17. El perfil temporal para las emisiones de PM₁₀ se consideró iguales que el SO₂.



Tabla 17. Porcentajes de frecuencia horaria de velocidad del viento en Santa Margarita

HORA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agos	sept	oct	nov	dic
0	1.66%	1.50%	2.06%	1.28%	1.95%	1.69%	2.39%	1.74%	1.46%	1.25%	0.92%	0.92%
1	1.49%	1.44%	1.88%	1.32%	2.22%	2.10%	2.46%	1.73%	1.72%	1.00%	0.62%	1.07%
2	1.92%	1.83%	1.74%	1.48%	1.62%	2.29%	2.32%	1.89%	1.44%	1.15%	0.65%	0.92%
3	1.71%	2.32%	1.59%	1.50%	1.89%	2.59%	2.39%	2.20%	1.40%	1.01%	0.70%	0.66%
4	1.65%	2.34%	2.09%	1.15%	1.61%	2.53%	1.75%	1.86%	1.89%	0.92%	0.77%	0.74%
5	1.80%	2.59%	2.59%	1.51%	1.85%	2.34%	2.18%	1.85%	1.60%	1.12%	0.66%	0.66%
6	1.62%	1.58%	2.10%	1.31%	1.59%	2.53%	2.70%	1.83%	1.43%	0.93%	0.74%	0.71%
7	1.54%	2.49%	1.41%	1.33%	1.84%	1.99%	2.06%	2.02%	1.40%	1.30%	0.95%	1.21%
8	1.36%	2.70%	1.28%	1.67%	1.62%	2.28%	2.60%	1.87%	1.83%	1.60%	1.71%	2.03%
9	2.04%	1.56%	1.59%	2.69%	2.68%	2.73%	3.53%	2.97%	3.05%	2.77%	2.92%	2.91%
10	2.93%	2.32%	2.11%	4.30%	3.84%	4.13%	4.38%	4.40%	3.99%	4.76%	4.65%	4.32%
11	4.10%	3.50%	3.25%	6.01%	4.81%	5.56%	5.24%	6.08%	5.60%	6.45%	6.69%	6.67%
12	5.55%	4.74%	4.60%	7.61%	6.60%	6.75%	7.03%	7.75%	7.47%	8.87%	8.65%	8.67%
13	7.21%	6.48%	6.37%	10.43%	8.69%	8.49%	7.70%	9.67%	10.16%	10.79%	10.40%	10.23%
14	8.18%	8.28%	8.18%	12.13%	10.27%	9.28%	9.04%	10.39%	11.34%	11.05%	11.11%	10.75%
15	9.15%	9.46%	9.72%	12.29%	10.75%	8.79%	9.67%	10.08%	10.73%	11.08%	11.41%	10.80%
16	9.44%	9.97%	10.26%	10.62%	10.36%	8.08%	8.13%	8.76%	9.87%	10.23%	10.95%	10.68%
17	9.46%	9.65%	9.98%	6.44%	6.91%	5.71%	5.53%	5.45%	7.87%	8.34%	9.94%	9.83%
18	8.66%	8.87%	8.93%	3.82%	4.45%	3.95%	4.95%	3.92%	3.36%	5.89%	7.12%	7.12%
19	6.90%	6.02%	6.32%	3.05%	3.55%	3.39%	3.82%	3.53%	2.99%	2.79%	2.85%	3.66%
20	4.46%	4.06%	4.25%	2.23%	3.31%	4.01%	3.27%	2.70%	2.99%	2.18%	2.15%	2.24%
21	3.12%	2.91%	3.14%	2.15%	2.81%	3.45%	2.38%	2.84%	2.25%	1.57%	1.65%	1.30%
22	2.30%	1.90%	2.29%	1.73%	2.52%	2.64%	2.54%	2.27%	2.27%	1.60%	0.81%	1.14%
23	1.73%	1.50%	2.28%	1.94%	2.29%	2.71%	1.94%	2.15%	1.89%	1.38%	0.99%	0.78%

Las emisiones areales-fugitivas por metro cuadrado de SO₂ en g/m²s se indican en la Tabla 18. Estas unidades de las emisiones son requeridas en el software Calpuff para fuentes areales. Para determinar el área, se consideró un largo y ancho de la nave de función de 163 y 25 m, respectivamente.



Tabla 18. Emisiones areales-fugitivas de SO₂ horarias en perfil mensual (g/m²s)

HORA	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	agos	sept	oct	nov	dic
0	0.0258	0.0232	0.0319	0.0198	0.0301	0.0262	0.0371	0.027	0.0227	0.0193	0.0142	0.0143
1	0.0232	0.0223	0.0292	0.0205	0.0344	0.0325	0.0382	0.0268	0.0266	0.0155	0.0096	0.0166
2	0.0297	0.0283	0.027	0.023	0.0251	0.0355	0.036	0.0293	0.0223	0.0178	0.0101	0.0143
3	0.0265	0.036	0.0247	0.0233	0.0293	0.0401	0.037	0.0341	0.0217	0.0156	0.0109	0.0102
4	0.0256	0.0362	0.0324	0.0179	0.0249	0.0393	0.0271	0.0289	0.0293	0.0143	0.0119	0.0114
5	0.0279	0.0401	0.0401	0.0235	0.0286	0.0363	0.0337	0.0287	0.0248	0.0173	0.0102	0.0101
6	0.025	0.0244	0.0325	0.0203	0.0246	0.0393	0.0417	0.0284	0.0222	0.0144	0.0114	0.0109
7	0.0238	0.0386	0.0218	0.0206	0.0285	0.0308	0.0318	0.0313	0.0216	0.0201	0.0148	0.0187
8	0.0211	0.0419	0.0198	0.0259	0.0251	0.0353	0.0403	0.029	0.0283	0.0247	0.0265	0.0314
9	0.0315	0.0242	0.0246	0.0417	0.0416	0.0422	0.0547	0.0461	0.0472	0.0429	0.0453	0.0451
10	0.0453	0.0359	0.0326	0.0666	0.0594	0.064	0.0679	0.0681	0.0618	0.0737	0.072	0.0669
11	0.0635	0.0543	0.0503	0.0931	0.0745	0.0861	0.0811	0.0942	0.0867	0.0999	0.1037	0.1033
12	0.0859	0.0734	0.0712	0.118	0.1022	0.1045	0.1089	0.1201	0.1158	0.1374	0.134	0.1343
13	0.1117	0.1003	0.0987	0.1615	0.1346	0.1315	0.1192	0.1499	0.1574	0.1671	0.1612	0.1585
14	0.1267	0.1283	0.1267	0.1879	0.159	0.1438	0.14	0.161	0.1756	0.1712	0.172	0.1665
15	0.1418	0.1465	0.1505	0.1904	0.1665	0.1362	0.1498	0.1562	0.1661	0.1716	0.1767	0.1673
16	0.1462	0.1545	0.1589	0.1646	0.1604	0.1252	0.126	0.1357	0.1529	0.1585	0.1696	0.1655
17	0.1466	0.1496	0.1546	0.0998	0.1071	0.0884	0.0856	0.0844	0.1219	0.1291	0.1539	0.1523
18	0.1341	0.1374	0.1383	0.0592	0.069	0.0612	0.0767	0.0607	0.052	0.0912	0.1102	0.1103
19	0.1069	0.0932	0.0979	0.0472	0.0549	0.0526	0.0591	0.0548	0.0463	0.0433	0.0442	0.0567
20	0.0691	0.063	0.0658	0.0345	0.0513	0.0621	0.0507	0.0419	0.0463	0.0337	0.0333	0.0346
21	0.0484	0.045	0.0486	0.0334	0.0435	0.0534	0.0369	0.0441	0.0349	0.0243	0.0255	0.0202
22	0.0356	0.0295	0.0355	0.0268	0.039	0.0408	0.0394	0.0352	0.0352	0.0247	0.0125	0.0176
23	0.0268	0.0233	0.0354	0.03	0.0354	0.042	0.0301	0.0333	0.0293	0.0214	0.0153	0.0121

La ubicación de las fuentes puntuales y areales-fugitivas consideradas en la modelación se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Ubicación de fuentes puntuales (círculos) y aerales-fugitivas (rectángulo) en Chagres

3.5.SISTEMA DE MODELACIÓN CALPUFF

Los modelos de calidad del aire tratan los procesos atmosféricos relacionados a la dispersión de contaminantes y su transformación química. Con este fin, estos modelos aplican las leyes físicas y químicas relevantes mediante ecuaciones matemáticas de tipo diferencial Navier Stoke. Otra característica de estos modelos es que discretizan el espacio en forma de una grilla tridimensional definida por puntos, con un determinado espaciamiento horizontal y vertical, el que se denomina resolución espacial de la grilla, dentro de un sistema de coordenada fijo. Los modelos de calidad del aire integran las ecuaciones matemáticas en el tiempo en cada uno de los puntos de la grilla, generándose la información de la evolución temporal de las concentraciones en las tres dimensiones de la grilla. Existen distintos grados de complejidad en estos modelos en términos de la representación de procesos, desde modelos que consideran sólo la dispersión, hasta modelos que incluyen todos los procesos fotoquímicos y de aerosoles, incluso los modelos que incluyen sólo algunos procesos fotoquímicos y de aerosoles. Algunos ejemplos de estos modelos son el CAMx, CMAQ y CALPUFF.

El modelo CALPUFF es el más utilizado para proyectar los impactos en la calidad del aire para los contaminantes primarios y, en parte o parcialmente, los secundarios. Este paquete computacional



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

realiza complejas ecuaciones matemáticas usando los inventarios de emisiones, perfiles temporales de los niveles de producción u operación, escenarios e información meteorológica para estimar los procesos de transporte, reacciones fotoquímicas y remoción de las emisiones desde su fuente hasta la locación de impacto, receptores. El Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) en Chile recomienda este sistema sólo para modelación de la dispersión y destino de contaminantes, descartando modelación fotoquímica y considerando terrenos complejos y cercanos a zonas costeras, donde la brisa marina genera una mayor complejidad en la modelación de las masas de aire y su efecto en la dispersión y fotoquímica atmosférica. En efecto, ante la posibilidad de existencia de brisas marinas, flujos cerca de líneas costeras, condiciones prevalentes de calmas, inversiones térmicas, recirculaciones y condiciones de fumigación, los modelos más usados para establecer el impacto por contaminantes en el medio ambiente de distintas fuentes son del tipo Lagrangianos y Eulerianos, al considerarse como un caso complejo. Especialmente, el CALPUFF que tiene un mayor y mejor estado del arte, cuya comunidad científica, tecnológica y profesional supera al resto de sus competidores. El sistema de modelación CALPUFF es un modelo recomendado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) y por el SEA, para evaluar el impacto de emisiones atmosféricas bajo condiciones de topografía y meteorología complejas, así como el aporte que pueden representar las fuentes de emisiones a la concentración de los contaminantes a estudiar. La utilización de este sistema de modelación involucra el procesamiento de información meteorológica y topográfica utilizando los siguientes modelos y programas: WRF-ARW que modela y simula la meteorología en el dominio geográfico de modelación, la interface CALWRF que convierte los resultados de WRF-ARW a archivos y formatos compatibles con el CALPUFF, llamado CALMET.DAT. Posteriormente, el software CALMET procesa los datos originales del archivo CALMET.DAT de celdas de 1x1 kms a un nuevo archivo CALMET.DAT de 200x200 m de tamaño de grilla para asegurar una mejor resolución en la modelación meteorológica y de calidad del aire. A continuación, el software CALPUFF procesa los inventarios de emisiones y simula la dispersión y destino de los contaminantes atmosféricos. Y finalmente, el modelo CALPOST procesa las concentraciones de los contaminantes modelados y los convierte en gráficos de isoconcentraciones y bases de datos en concentraciones promedios de 1-hr, 24 hrs y anuales para el caso del material particulado PM10 y SO₂. A continuación se describe el detalle del principal software utilizado en este estudio.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

CALMET: Consiste en el modelo meteorológico que procesa la información disponible en observaciones de superficie, altura y/o datos de modelos meteorológicos tridimensionales (MM5, WRF por ejemplo). CALMET genera los campos tridimensionales de vientos y temperaturas, al igual que campos bidimensionales de estabilidad atmosférica y altura de capa de mezcla, utilizando la topografía, uso de suelo y meteorología local (Figura 7).

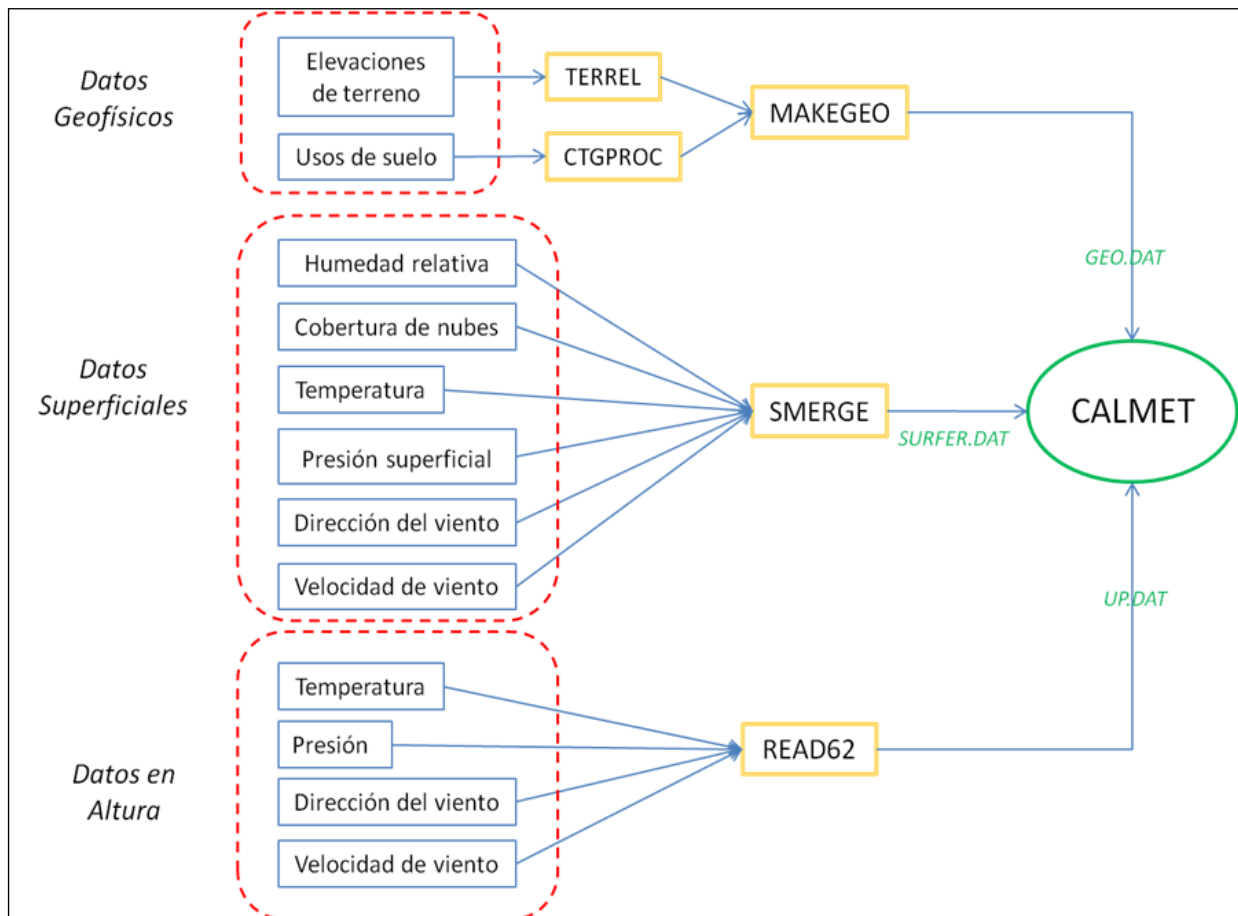


Figura 7. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALMET y los subprogramas de procesamiento de información

CALPUFF: Consiste en un modelo no estacionario de dispersión de tipo puff, que permite simular el transporte advectivo y difusivo de una sustancia en la atmósfera, para predecir el impacto en la concentración ambiental de esta sustancia. Este modelo requiere de la información meteorológica generada por el modelo CALMET (Figura 8).



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

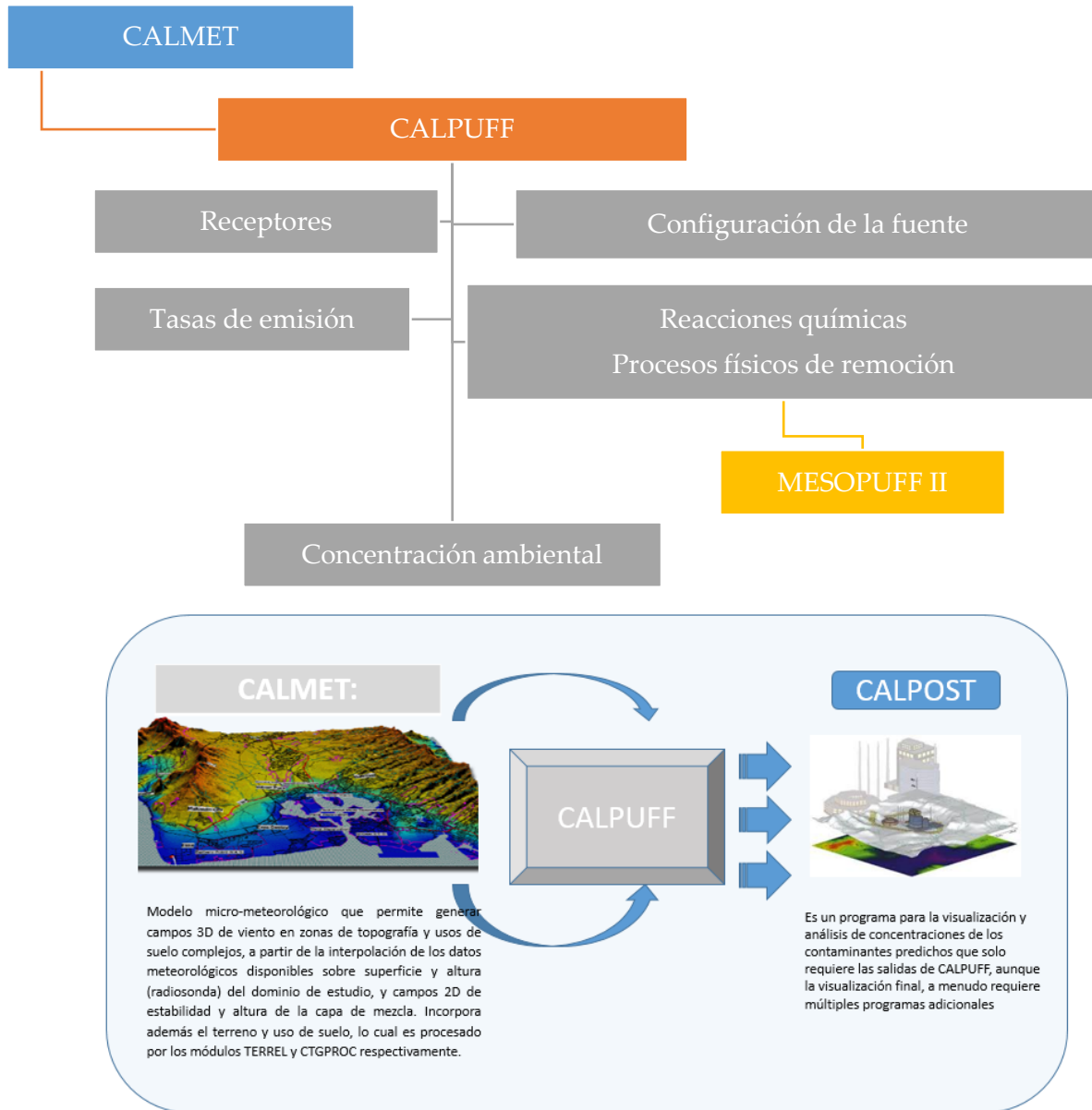


Figura 8. Esquema de los datos requeridos por el modelo CALPUFF View 8.6

La ventaja de estos modelos, comparado con los más complejos, es que requieren una menor cantidad de información, y el análisis y explotación de resultados, resultan más simples y fáciles de interpretar. Con la metodología expuesta se realizó la ejecución del modelo de calidad de aire para la situación base a considerar, es decir, con el inventario de emisiones de Chagres del año 2018.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

Dentro de los resultados a presentar en esta etapa se encuentra la representación de un mapa típico de impacto, el cual abarca el dominio de modelación y contiene la misma información señalada en plano de localización del proyecto a una escala adecuada, con contornos de isoconcentración para los contaminantes atmosféricos. Para generar estos mapas se simula la primera concentración máxima horaria anual durante el 98% del tiempo y se observa las posibles zonas de superación de algún valor de referencia que se establezca, en conformidad con los resultados del monitoreo.

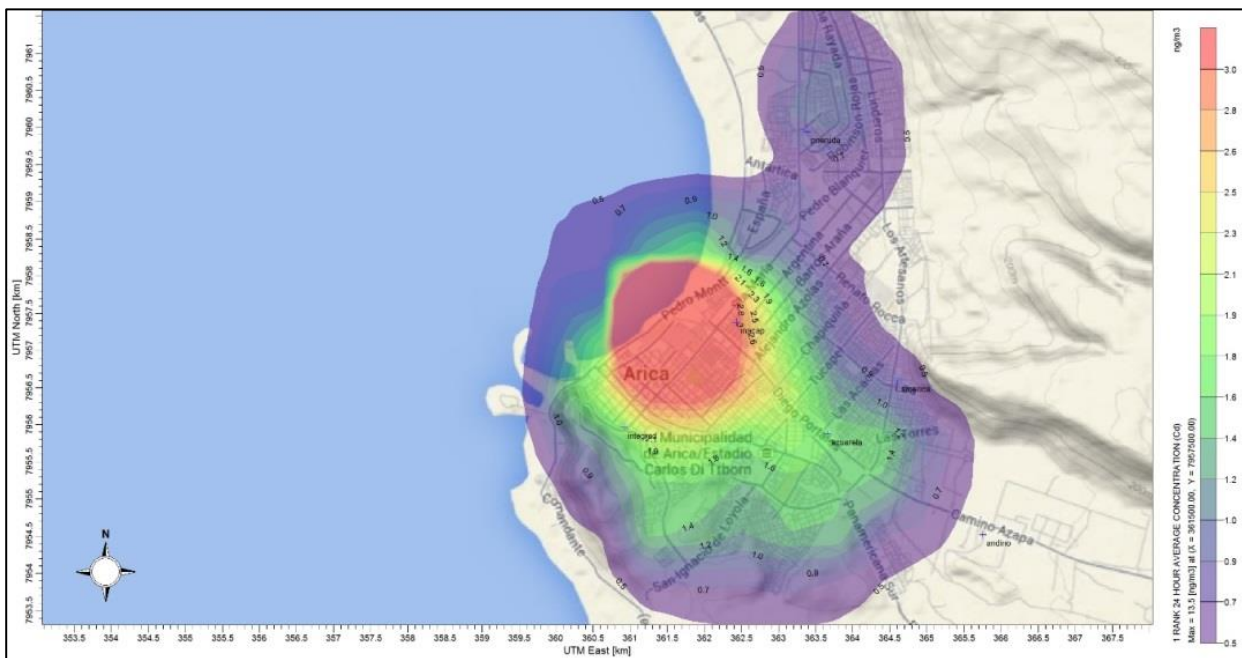


Figura 9. Ejemplo de representación de resultados Calpuff

Finalmente, a través de los paquetes estadísticos incluidos en OpenAir-Project se analiza el desempeño de CALPUFF respecto a las variables de calidad del aire medidas en las estaciones de monitoreo del dominio de modelación del año 2018.



4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS MODELACIÓN WRF

4.1.1. Datos meteorológicos observados

Para este análisis se consideran las estaciones de monitoreo Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. Las variables observadas que se utilizaron para análisis fueron la velocidad y dirección del viento a 10 m. El análisis estadístico de las velocidades del viento modeladas y observadas mediante OpenAir-Project se indica al final de esta subsección. La Tabla 19 muestra la comparación entre los valores modelados y observados de la velocidad del viento como promedio anual.

Tabla 19. Velocidad del viento (m/s) modelada y observada como promedio anual, año 2018

Estación	Observada	Modelada	Error
Catemu	0.93	1.18	21.1 %
Romeral	4.18	3.19	23.6 %
Santa Margarita	1.20	1.23	2.5 %
Lo Campo	1.28	1.72	25.6 %

Ciclos diarios y estacionales:

Análisis de Velocidad del Viento.

En las Figuras 10 a 13, se comparan los perfiles temporales de la velocidad del viento de las estaciones Catemu, Romeral, Sta Margarita y Lo Campo, respectivamente. Se puede observar que el comportamiento predicho por el modelo se ajusta al observado, en el caso particular de Santa Margarita, la velocidad del viento modelada difiere solo 0.03 m/s del promedio de datos reportados para esa estación. En las otras dos estaciones el error fluctúa entre 5 y 20 %.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

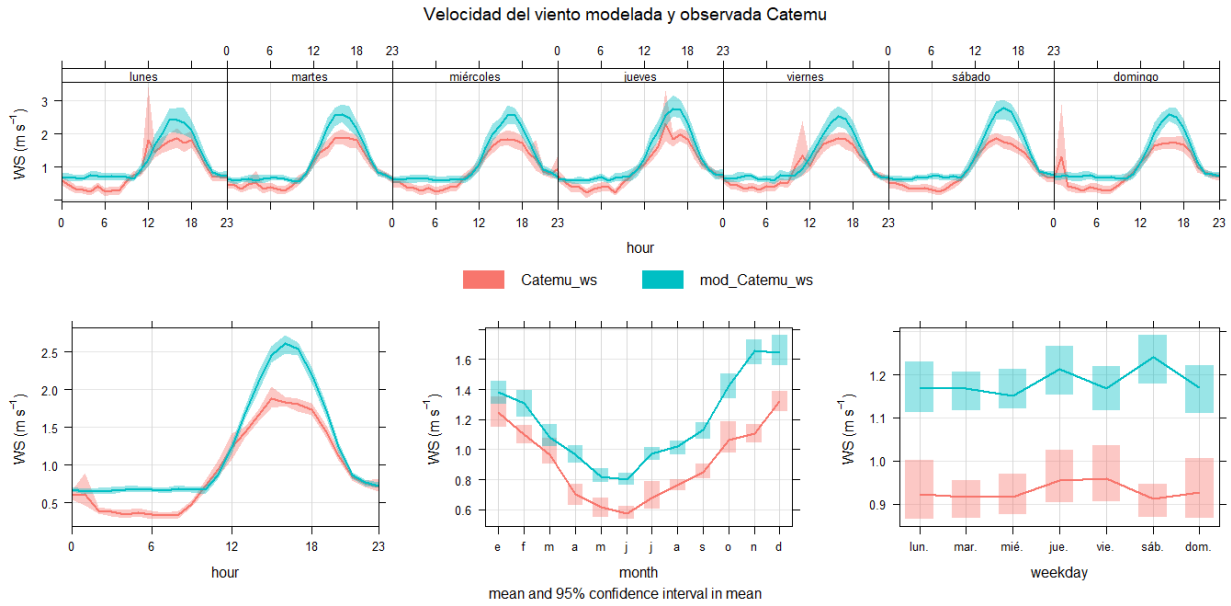


Figura 10. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Catemu, año 2018

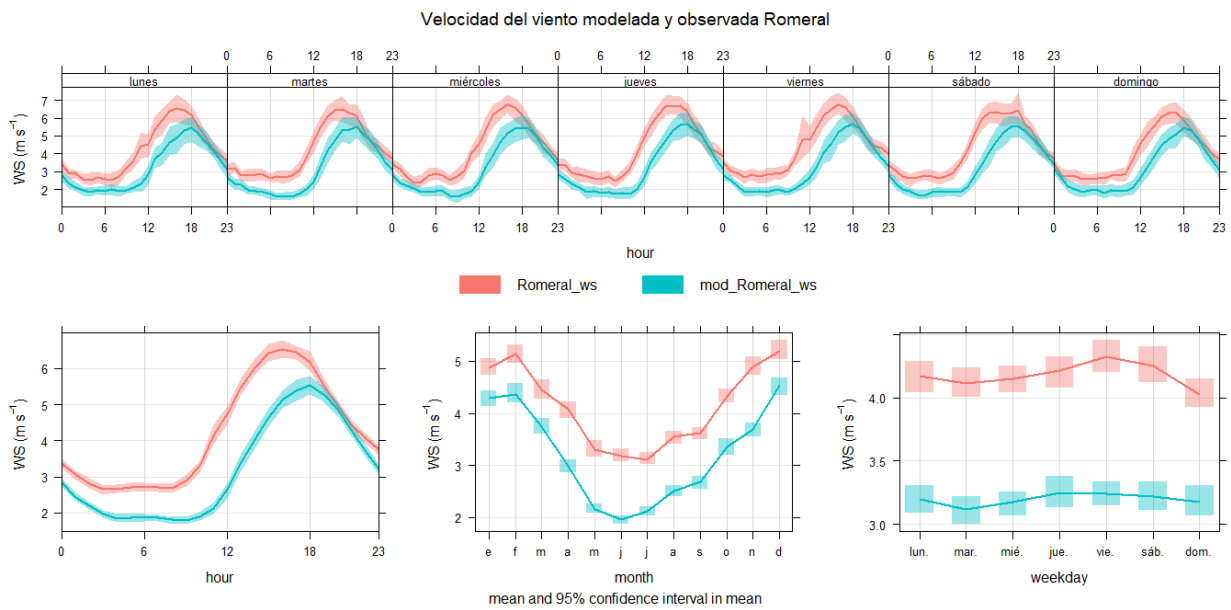


Figura 11. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Romeral, año 2018



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

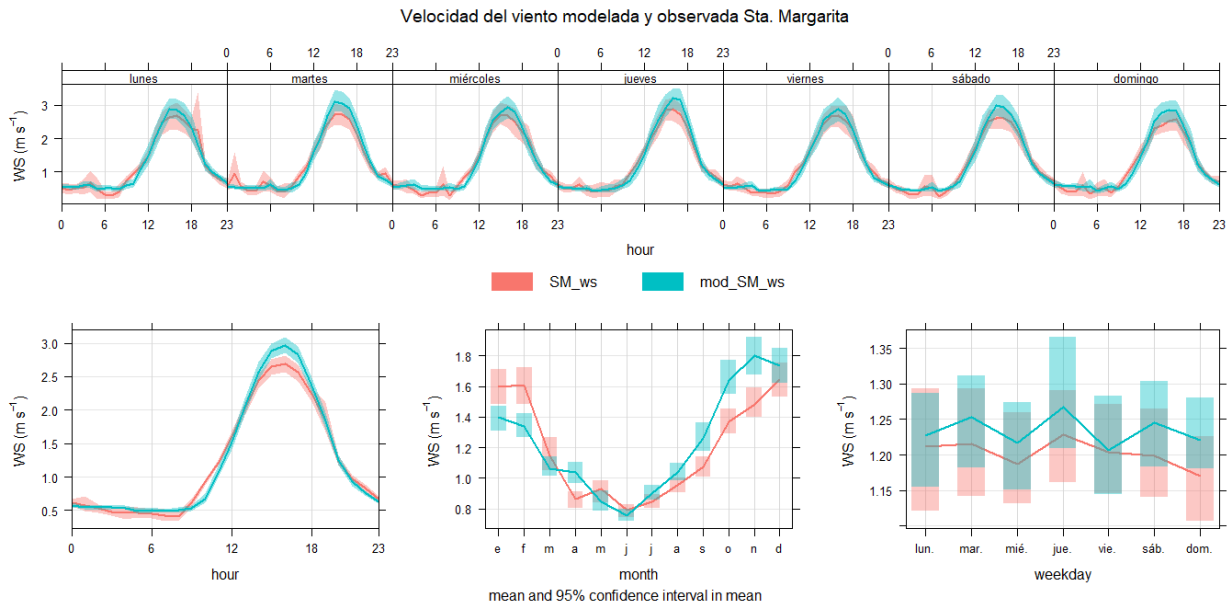


Figura 12. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Santa Margarita, año 2018

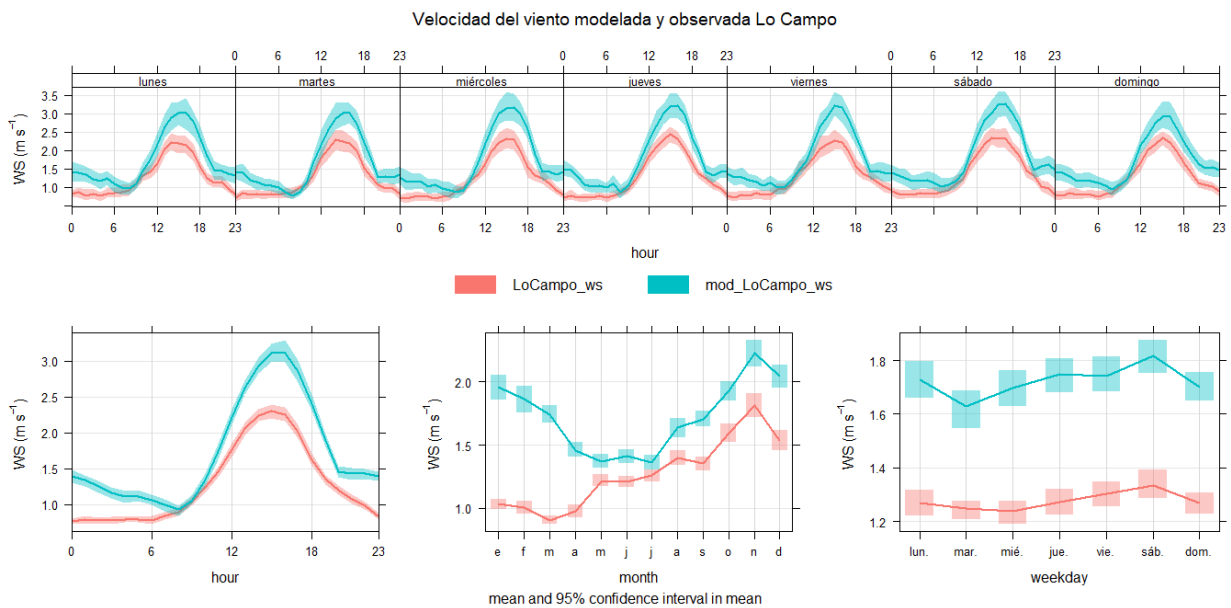


Figura 13. Ciclos temporales observados y modelados de velocidad del viento en Lo Campo, año 2018



Análisis de la Dirección del Viento

En las Figuras 14 a 21 se presenta la dirección del viento observada y modelada en las estaciones Catemu, Romeral y Santa Margarita, respectivamente. Para la elaboración se empleó la opción "blowing to", es decir, que el vector sopla desde el origen hacia la estación. Se indica la rosa de los vientos para horas del día y de la noche. En el caso de Catemu la dirección del viento observada predominante coincide con la modelada, ya que la mayor fracción de la rosa de los vientos está desde el sur y el suroeste en horas del día, mientras que la noche presenta valores menores de velocidad y una dirección predominante desde el este. Por otra parte, Romeral tiene una dirección oeste principal en los datos observados y sur oeste en los datos modelados para el día y la noche. En el caso de Santa Margarita la dirección sureste y sur son las dos direcciones principales para datos observados y modelados. Finalmente, para Lo Campo la dirección predominante en el día fue del oeste y en la noche desde el este.

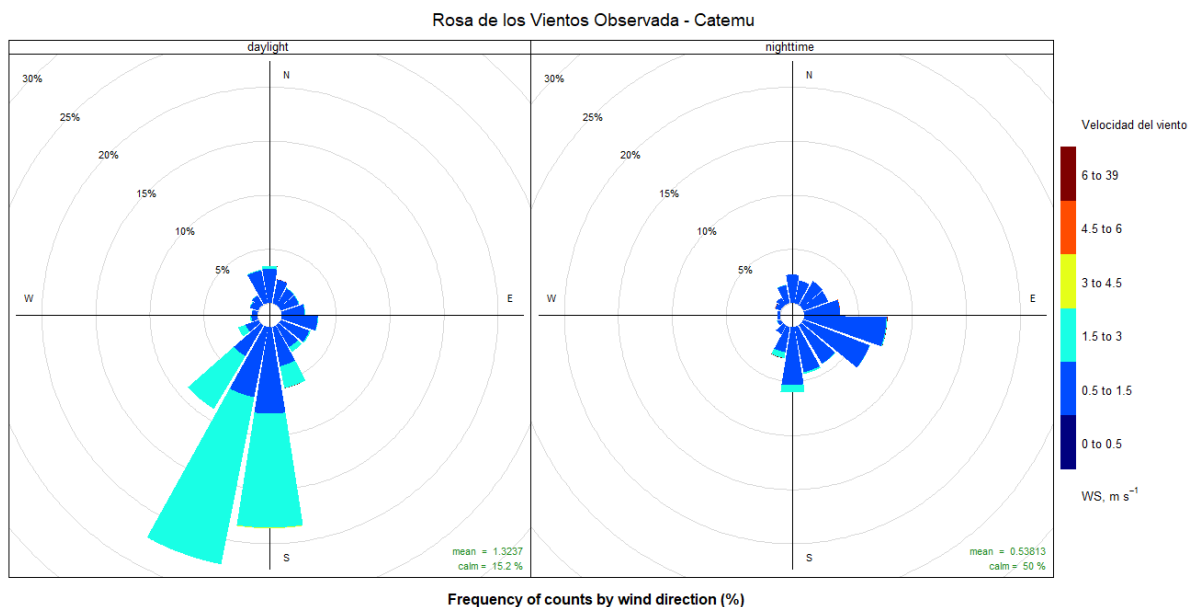


Figura 14. Rosa de los vientos observada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

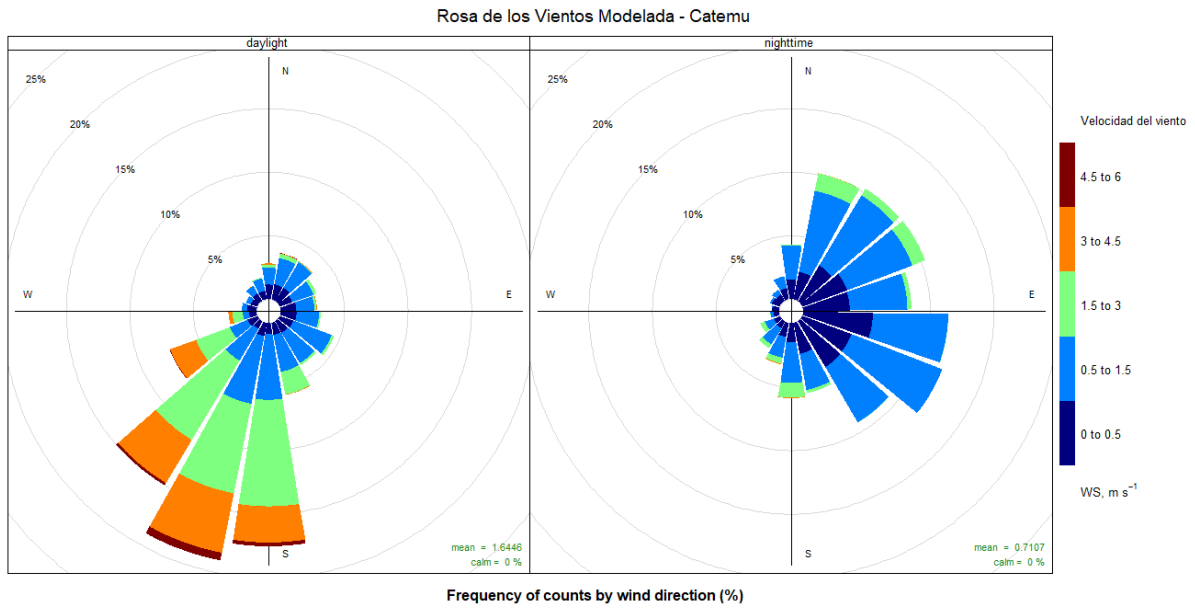


Figura 15. Rosa de los vientos modelada en Catemu, año 2018 durante el día y la noche

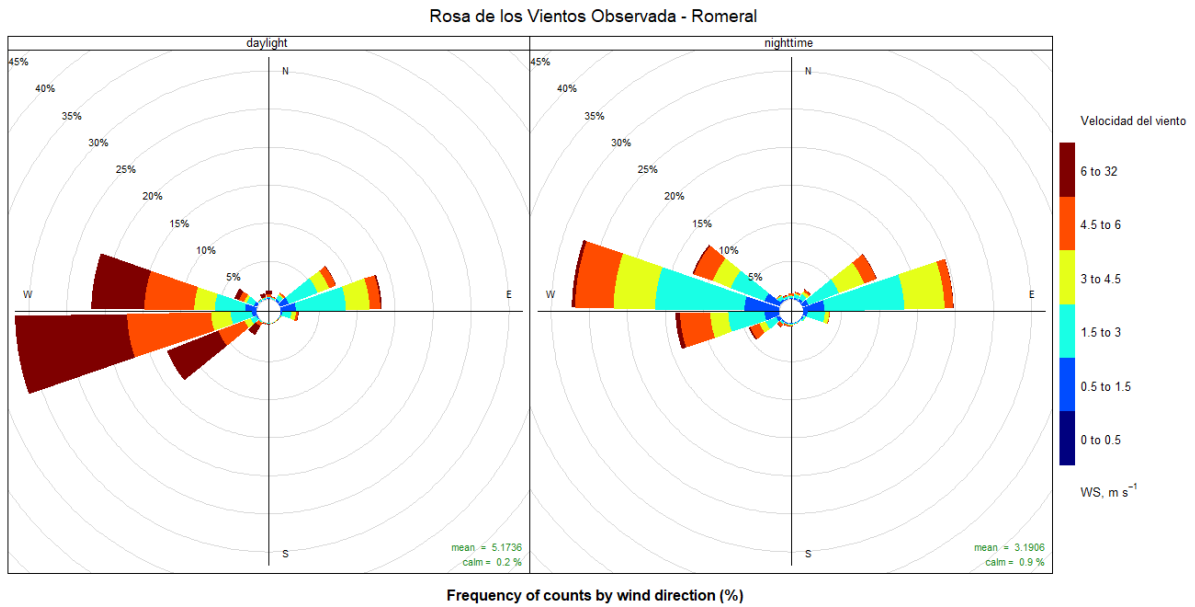


Figura 16. Rosa de los vientos observada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

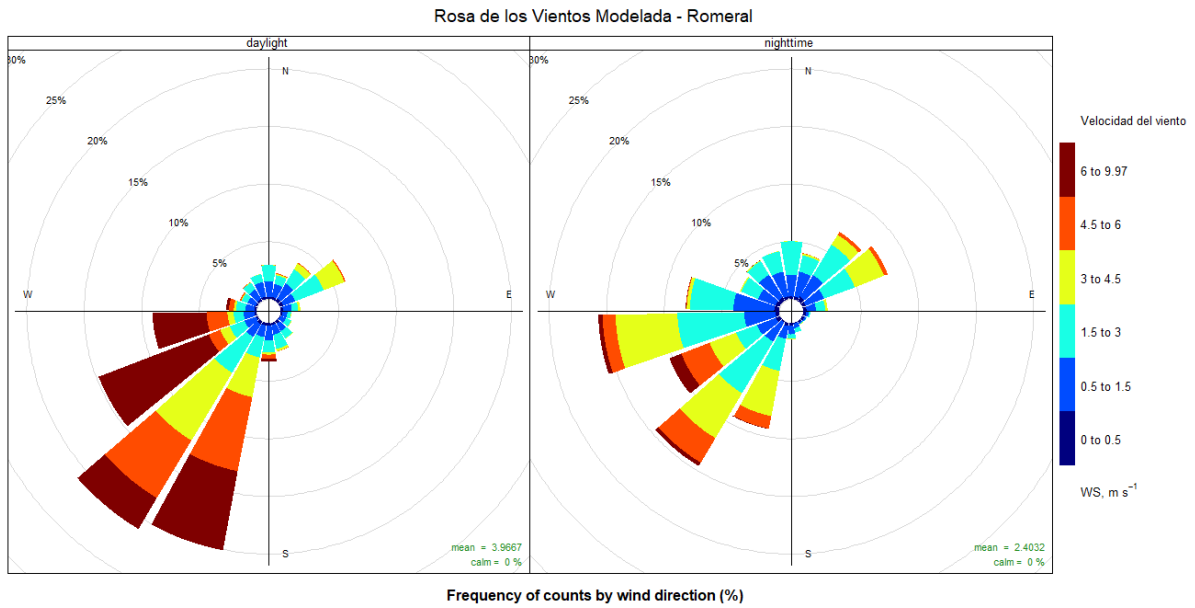


Figura 17. Rosa de los vientos modelada en Romeral, año 2018 durante el día y la noche

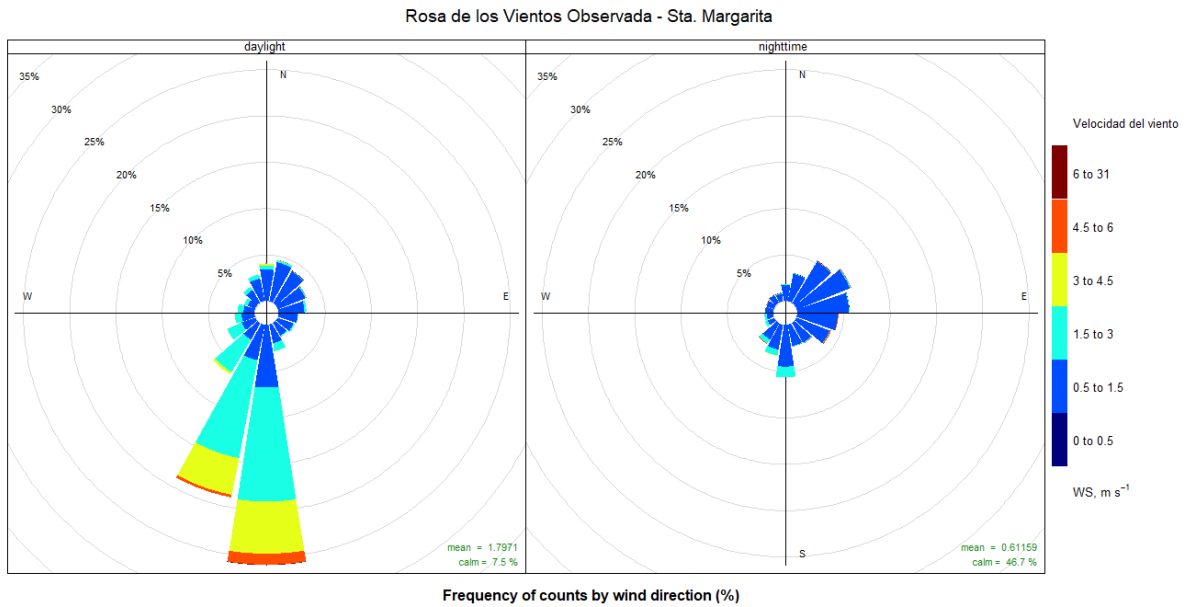


Figura 18. Rosa de los vientos observada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

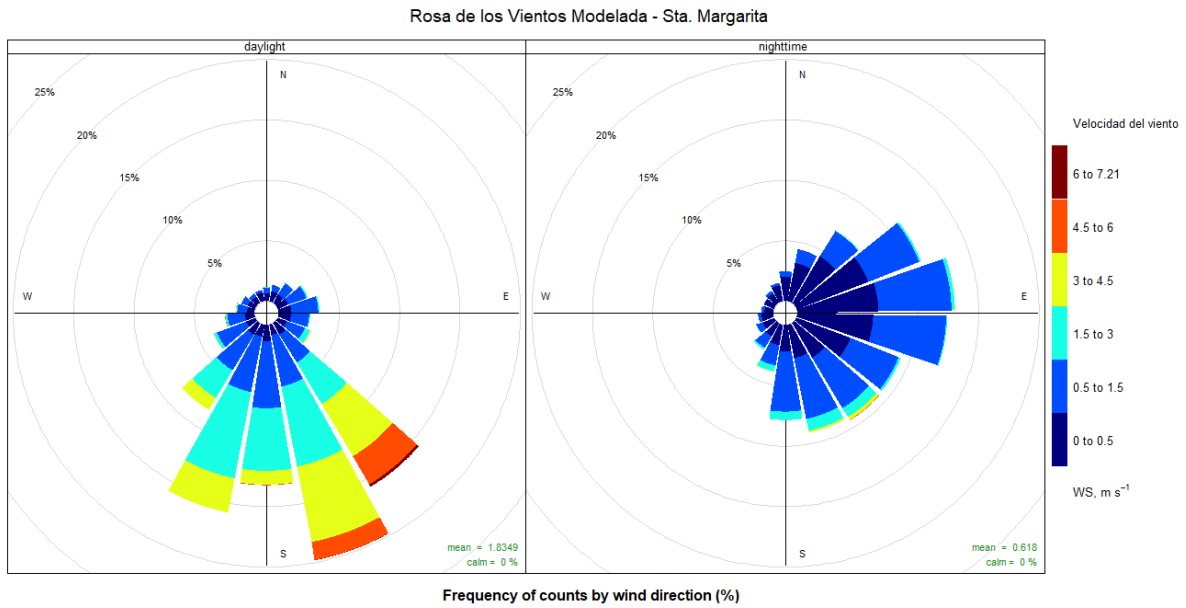


Figura 19. Rosa de los vientos modelada en Sta. Margarita, año 2018 durante el día y la noche

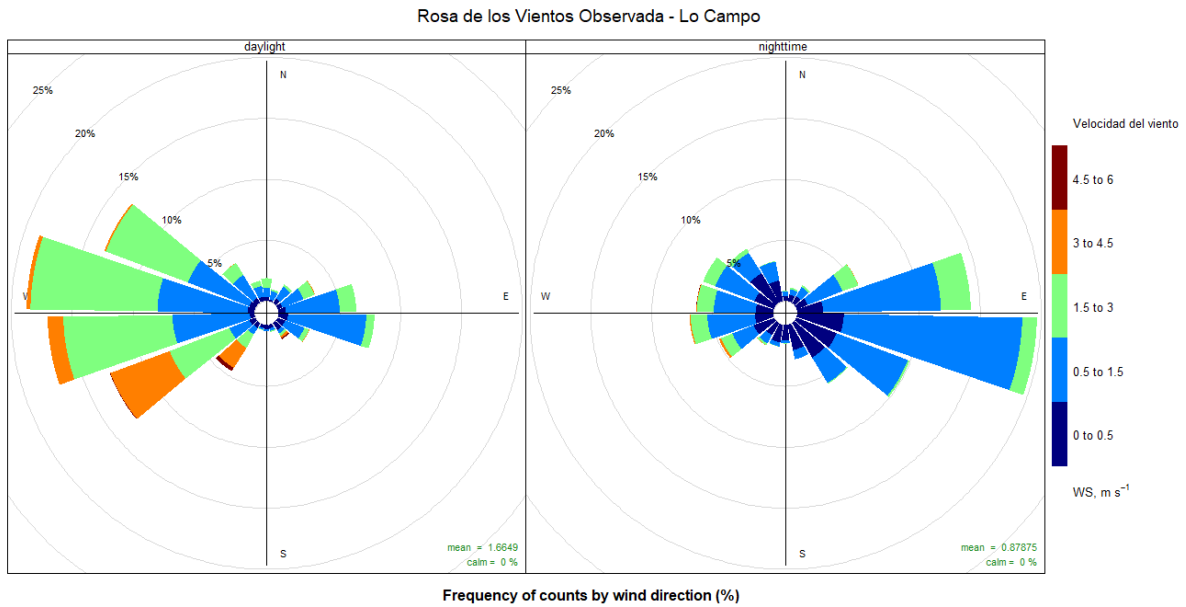


Figura 20. Rosa de los vientos observada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

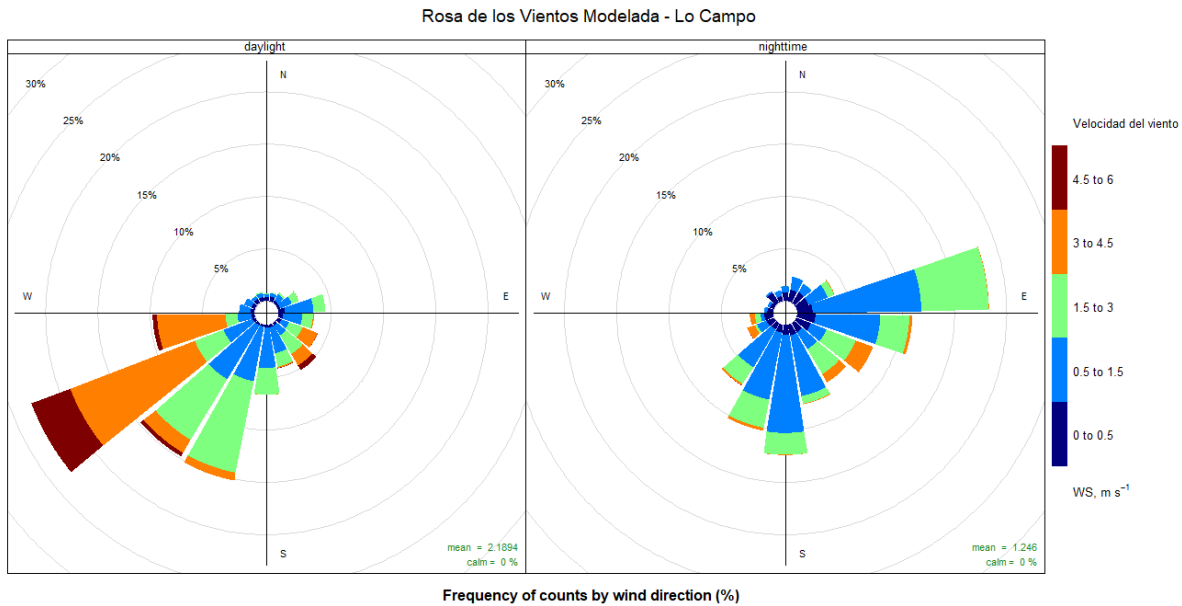


Figura 21. Rosa de los vientos modelada en Lo Campo, año 2018 durante el día y la noche

4.2. MODELACIÓN CALPUFF

Las Figuras 22 a 25 muestran los ciclos temporales de la concentración de SO_2 modelada y observada del año 2018, para Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, respectivamente. En todos los casos el error promedio anual es bajo, como se indica en la Tabla 20, siendo de 11.1 % para Catemu y Santa Margarita, 10.32 % para Romeral y 11.48 % para Lo Campo. Estos datos se explican con los valores de error indicados para el viento en anteriores secciones.

Tabla 20. Concentración promedio anual de SO_2 modelada y observada año 2018

Estación	Observada	Modelada	Error
Catemu	14.7	16.34	11.10 %
Romeral	11.62	12.82	10.32 %
Santa Margarita	61.98	69.72	11.11 %
Lo Campo	11.67	10.33	11.48 %

El ciclo temporal de la concentración de SO_2 para Catemu se indica en la Figura 22. Como se puede observar, la modelación se ajusta a la tendencia de valores, sobre todo en el peak horario, aprox. 10 AM con un valor de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, los perfiles mensuales y diarios no muestran mayores



variaciones siendo la diferencia promedio entre los valores modelados y observados menor a $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

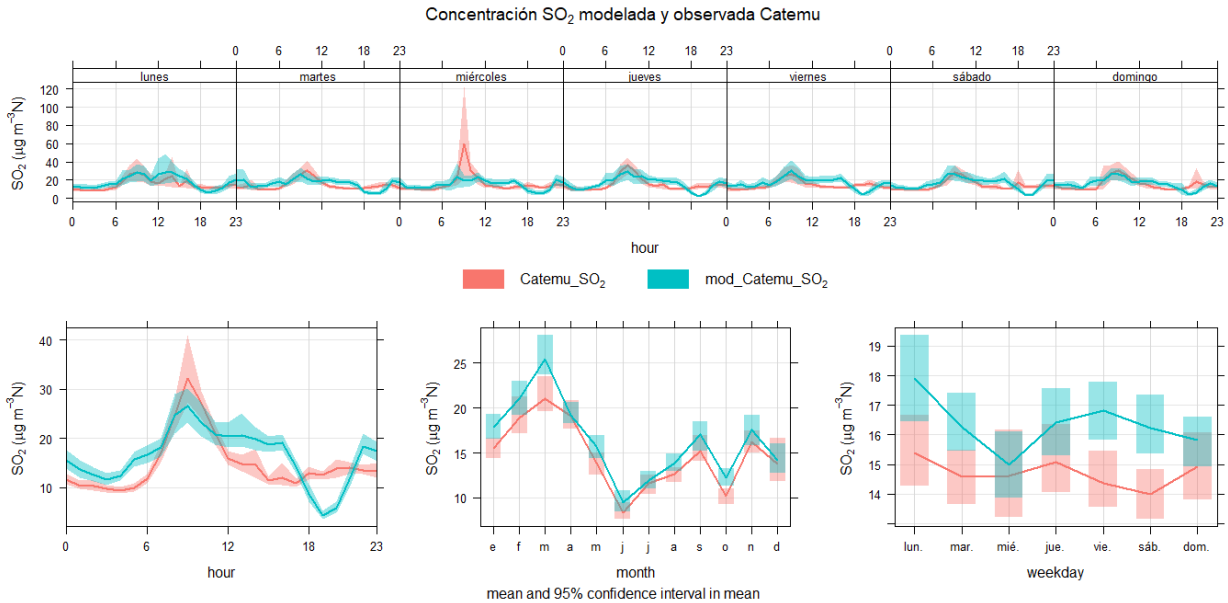


Figura 22. Concentración de SO_2 observada y modelada en Catemu, año 2018

El ciclo temporal de la concentración de SO_2 para Romeral se indica en la Figura 23. Como se puede observar, la modelación se ajusta a la tendencia de valores, sobre todo en el peak horario, aprox. 10 AM con un valor de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otra parte, los perfiles mensuales y diarios indican variaciones menores a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

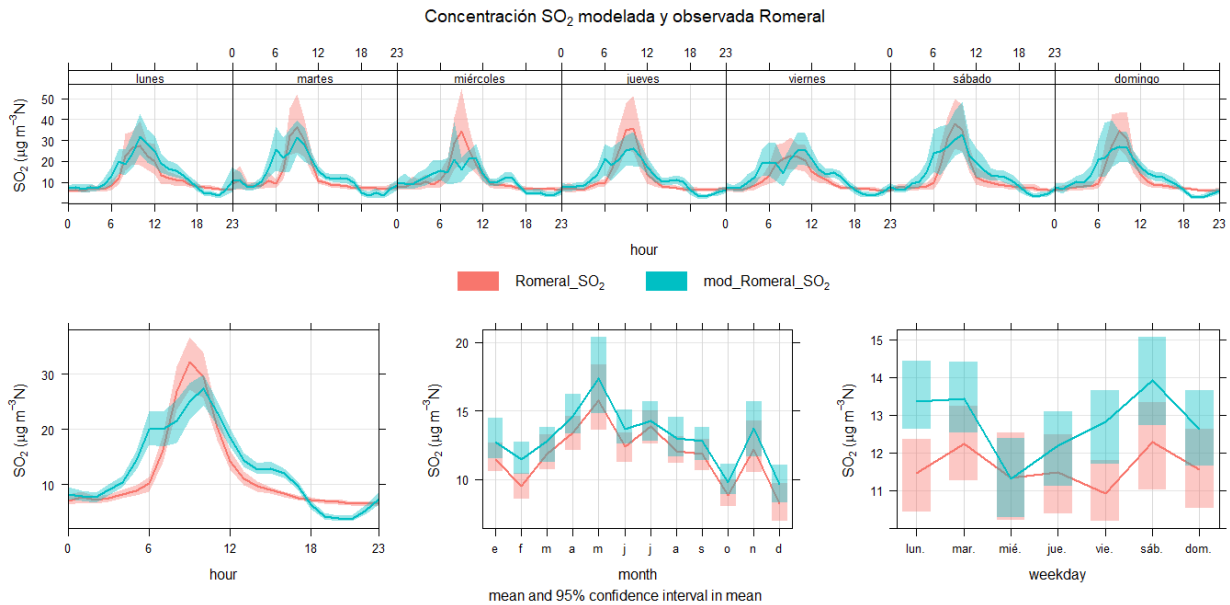


Figura 23. Concentración SO₂ observada y modelada en Romeral, año 2018

El ciclo temporal de la concentración de SO₂ para Santa Margarita se indica en la Figura 24. Como se puede observar, la modelación se ajusta a la tendencia de valores, sobre todo en el peak horario, aprox. a las 20 h con un valor cercano a 150 µg/m³. Por otra parte, los perfiles mensuales y diarios indican variaciones menores a 10 µg/m³. Se debe destacar que estos valores cumplen la norma primaria de SO₂ (D. S. N° 104/2018). En efecto, la norma establece que no se puede sobrepasar los 60 µg/m³ como promedio anual. Para concentración diaria y horaria se tiene como máximos los valores de 150 y 350 µg/m³, respectivamente, medidos en el percentil 99 (P99). Santa Margarita presenta 61.98, 136.92 y 333 µg/m³ como promedio anual, P99 diario y horario, respectivamente. Para el caso anual, la norma se incumple cuando el promedio trianual es superado o bien el promedio anual es del doble del valor señalado como máximo. Por lo tanto, según estos valores y lo reportado en el Informe de Avance 1, no se supera la norma en Santa Margarita.

Con respecto al ciclo temporal de la concentración de SO₂ para Lo Campo que se indica en la Figura 25, se puede observar que la modelación predice bastante bien la tendencia de los valores observados, la estación muestra unos peaks de concentración cercanos a 30 µg/m³ en horas de la mañana. Por otra parte, los perfiles mensuales y diarios indican variaciones menores a 5 µg/m³. Cabe destacar las mayores concentraciones que ocurren los días martes en esta estación.



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

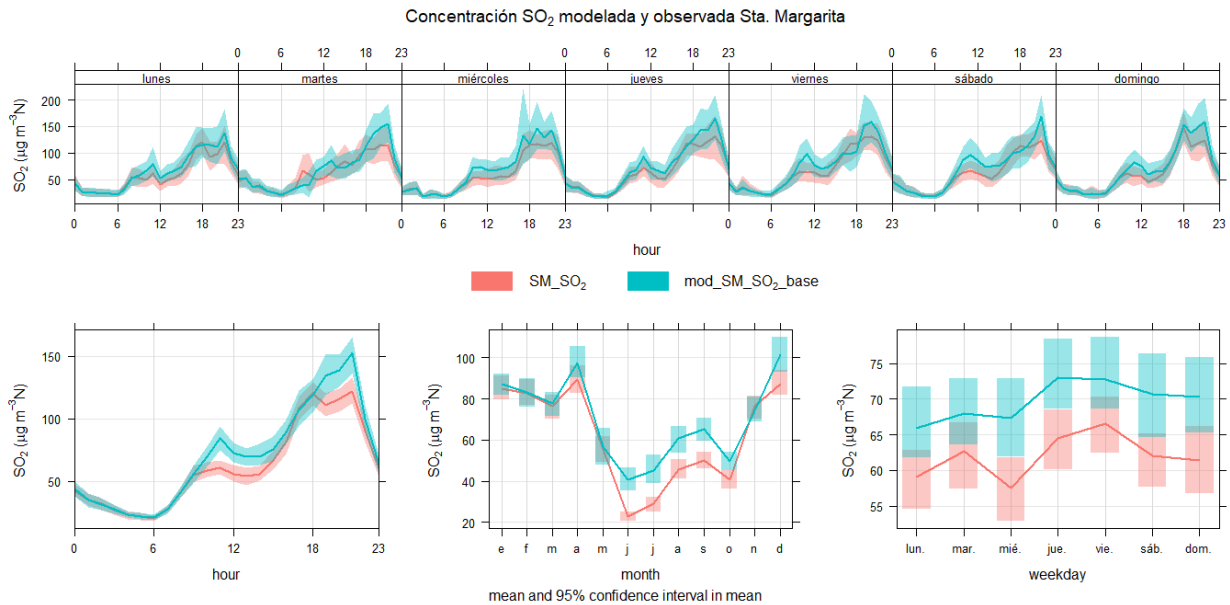


Figura 24. Concentración SO₂ observada y modelada en Sta. Margarita, año 2018

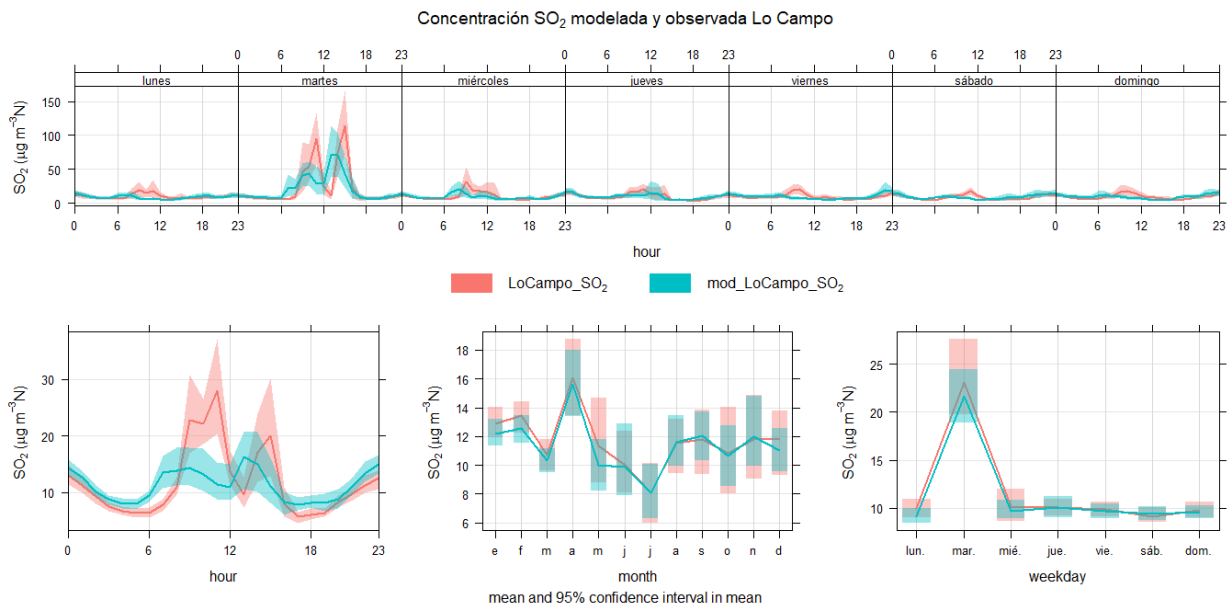


Figura 25. Concentración SO₂ observada y modelada en Lo Campo, año 2018

Por otra parte, la Figura 26 indica las concentraciones modeladas y observadas de PM₁₀ en Catemu. Se destaca el bajo aporte que tiene la Fundición sobre el total de material particulado medido en esta estación de monitoreo. En efecto, el promedio de los datos observados durante



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

el año 2018 fue de $80.82 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y el promedio de los valores obtenidos mediante la simulación fue de $13.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, indicando un aporte tan solo del 16.7 % sobre el total. Se destaca que tal como se indica en la Figura 27, Catemu presenta mayores valores de PM_{10} que el Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. Finalmente, cabe recordar que en el Informe 1 de este estudio se concluyó que la estación que presentó mayores concentraciones continuas observadas del PM_{10} fue la estación de Catemu.

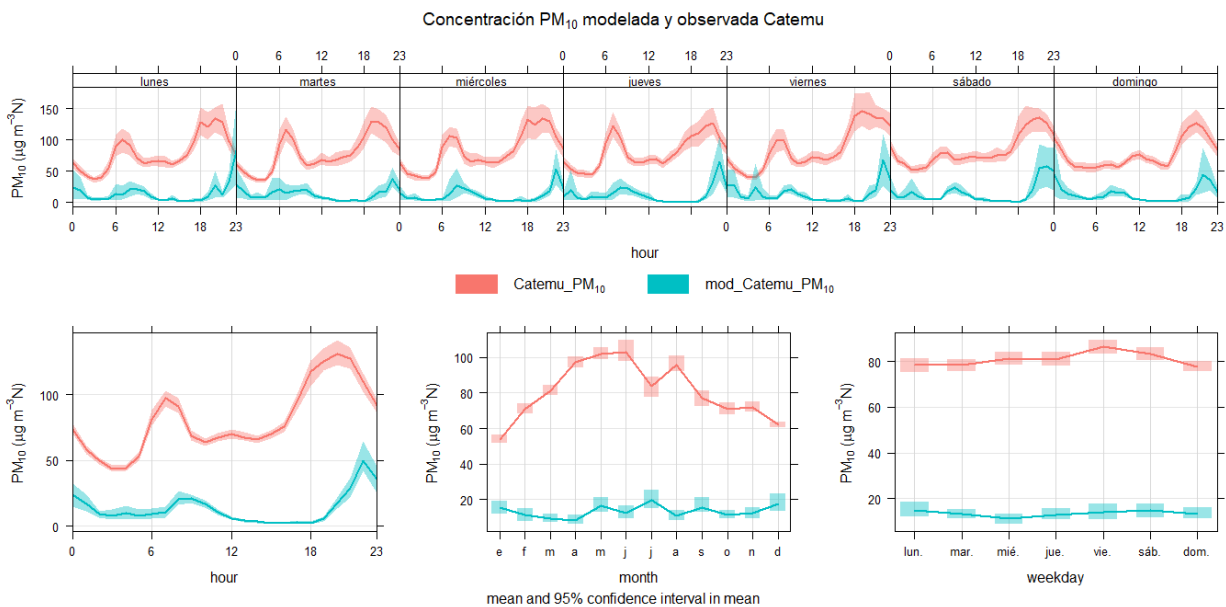


Figura 26. Concentración PM_{10} observada y modelada en Catemu, año 2018

El análisis entre la concentración de PM_{10} modelado y observado en Lo Campo indica que el aporte de la fundición es mínimo sobre los valores medidos en la estación de monitoreo. La Figura 26 indica el perfil temporal comparado, los valores modelados no superan las $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que los datos observados presentan un promedio por sobre $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

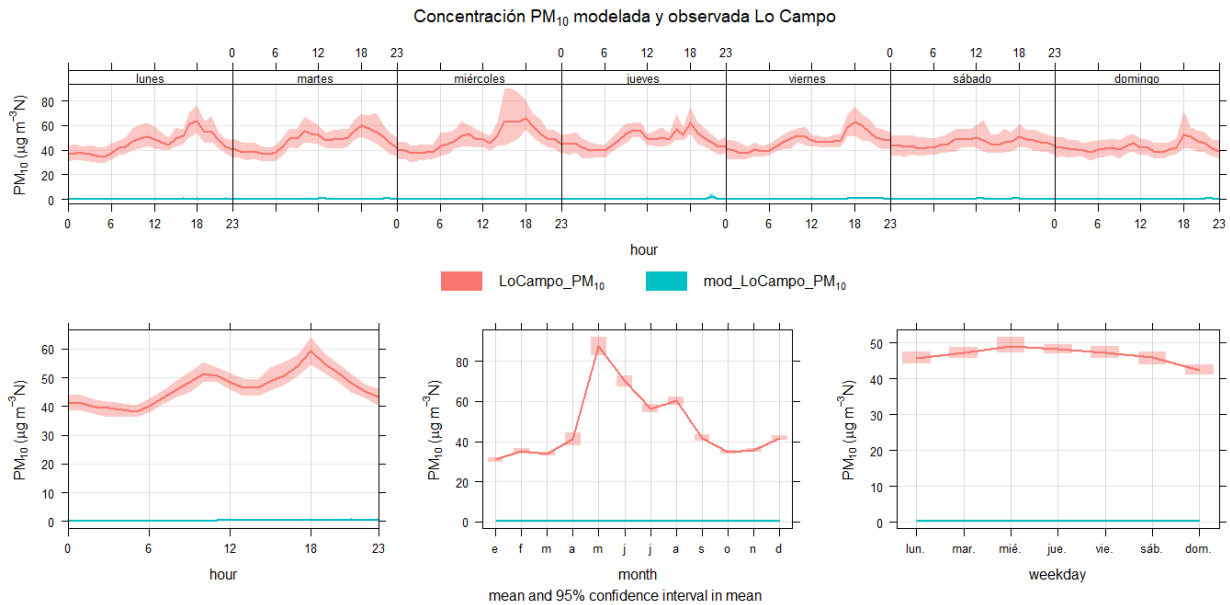


Figura 27. Concentración PM₁₀ observada y modelada en Lo Campo, año 2018

Finalmente, en la Figura 28 se indican los perfiles temporales del Material Particulado PM₁₀ para las estaciones Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo. Catemu presenta peaks horarios de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en horas de la noche. El mes de enero, con 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio, fue el más alto valor en el año. Los valores de PM₁₀ medidos en el Romeral, Santa Margarita y Lo Campo son menores a 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos datos son concordantes con los entregados en el Informe 1, ya que, si bien existen valores horarios de PM₁₀ en Catemu que superan los 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, el promedio está entre 20 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

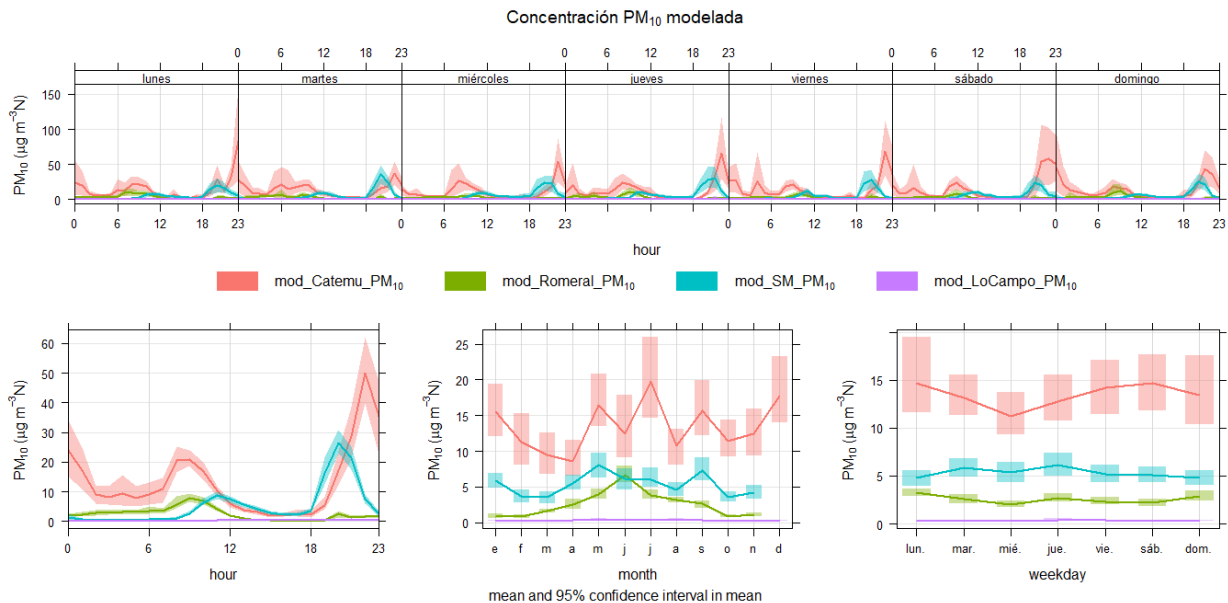


Figura 28. Concentración PM₁₀ modelada en Catemu, Romeral, Santa Margarita y Lo Campo, año 2018

Análisis de plumas de dispersión de contaminantes

SO₂

La Figura 29 indica el promedio de concentraciones de 1 h para este contaminante. Los máximos se presentan en el área de la Fundación Chagres con valores cercanos a 600 µg/m³. La dirección predominante del viento en dirección noreste en dirección a Santa Margarita produce que los mayores valores sean en ese eje. Sin embargo, se debe notar que los valores sobre el área de Santa Margarita son menores a 80 µg/m³, alcanzando en 2 km valores inferiores a 10 µg/m³. Para profundizar el análisis se han generado dos perfiles de concentración de SO₂, promedio de 1 h, en relación con la distancia. En el caso de la Figura 30 el eje corresponde a la dirección Fundación → Santa Margarita, e indica el mayor valor sobre la Fundación y a 4.5 km la concentración es cercana a 0 µg/m³, indicando la zona de influencia en este caso.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

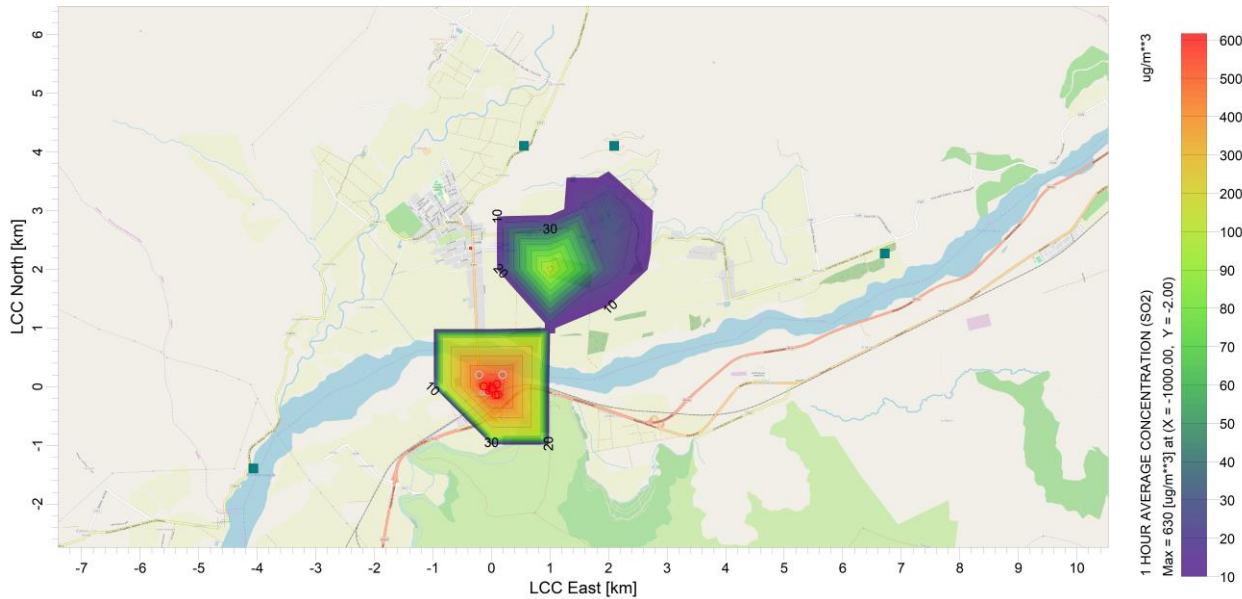


Figura 29. Promedio de concentraciones de 1 h – SO₂

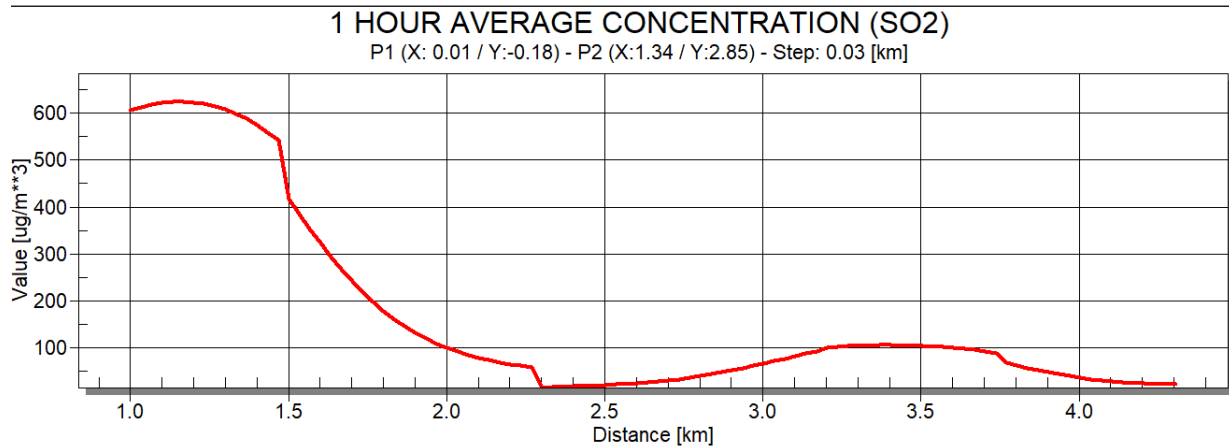


Figura 30. Promedio de concentraciones de 1 h – SO₂ (Fundición → Sta. Margarita)

Por otra parte, la Figura 31 muestra un perfil de concentraciones sobre el eje Catemu → Fundición. El valor alto es sobre el área de la planta de procesos, indicando que fuera del radio de 1.5 km la concentración de SO₂ es cercana a 0 µg/m³.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

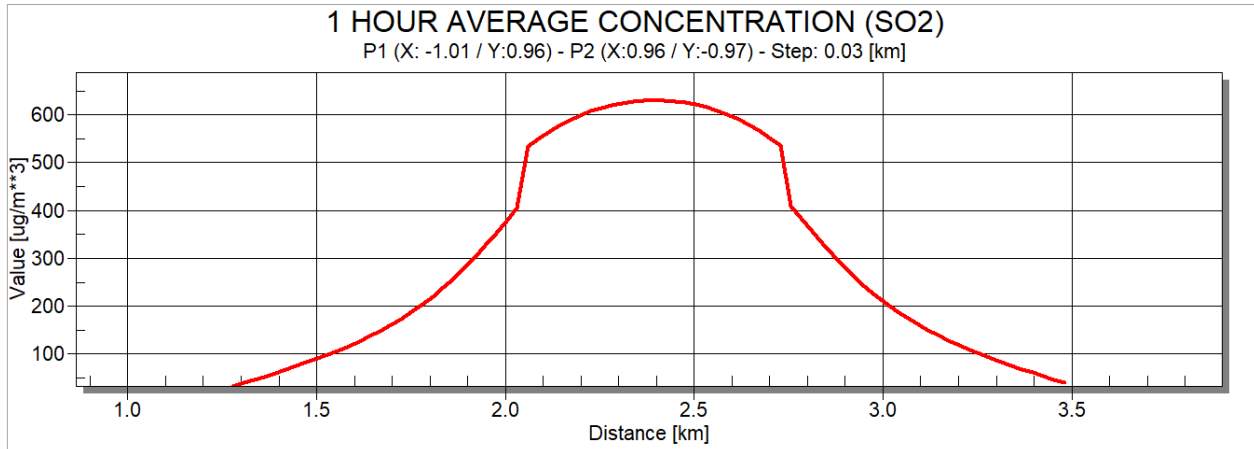


Figura 31. Promedio de concentraciones de 1 h – SO₂ (Catemu → Fundación Chagres)

La Figura 32 indica el promedio de concentraciones de 24 h para el SO₂, con un valor máximo de 439 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, llegando a valores de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a poca distancia de la planta. Sobre Santa Margarita estos valores diarios oscilan entre 10 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

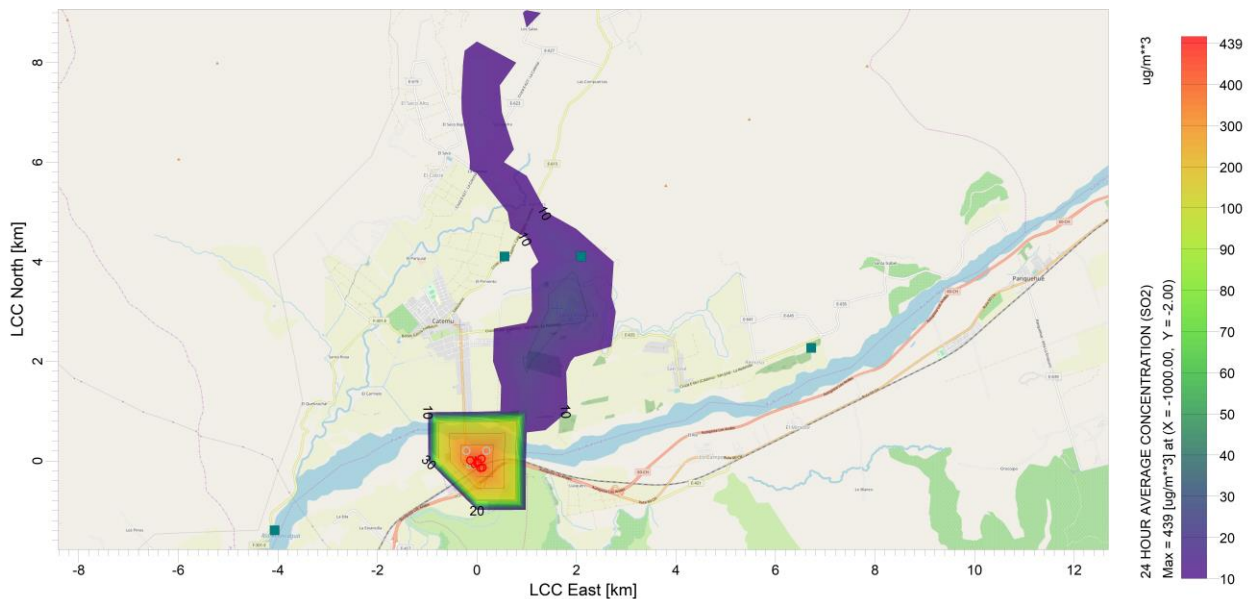


Figura 32. Promedio de concentraciones de 24 h – SO₂

La Figura 33 indica el promedio de concentraciones anuales para el SO₂, con un valor máximo de cercano a 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sobre Santa Margarita estos valores diarios oscilan entre 10 y 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

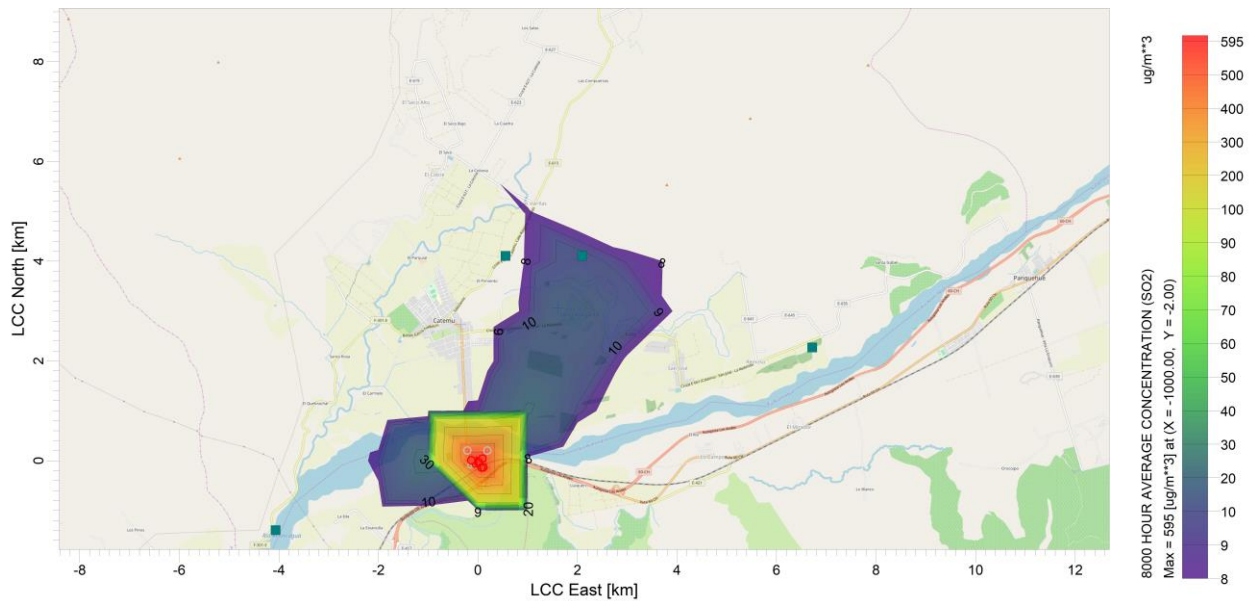


Figura 33. Promedio de concentraciones de anual – SO₂

PM₁₀

En las figuras 34 a 36, se muestran las plumas de concentraciones de 1 h, 24 h y anual, respectivamente para el PM₁₀. Los valores horarios indican un máximo en la planta cercanos a 1500 µg/m³. Sobre Santa Margarita se muestra un valor máximo de 100 µg/m³. En el caso del material particulado, el principal aporte proviene de la nave de procesos, al igual que para el SO₂. Los valores diarios indican un máximo de alrededor de 600 µg/m³, con un área de dispersión más grande que en el caso anterior si bien son valores menores a 30 µg/m³. Finalmente, para el promedio anual se indica un máximo de 572 µg/m³, con valores menores a 30 µg/m³ fuera de la zona de planta.



ARTICULOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

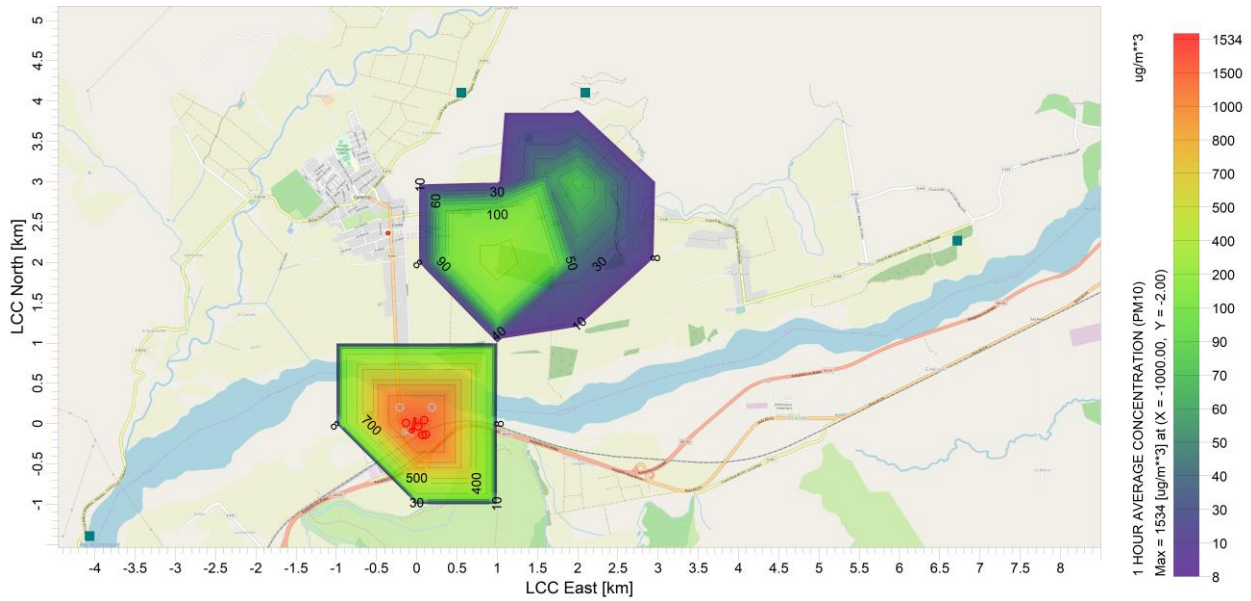


Figura 34. Promedio de concentraciones de 1 h – PM₁₀

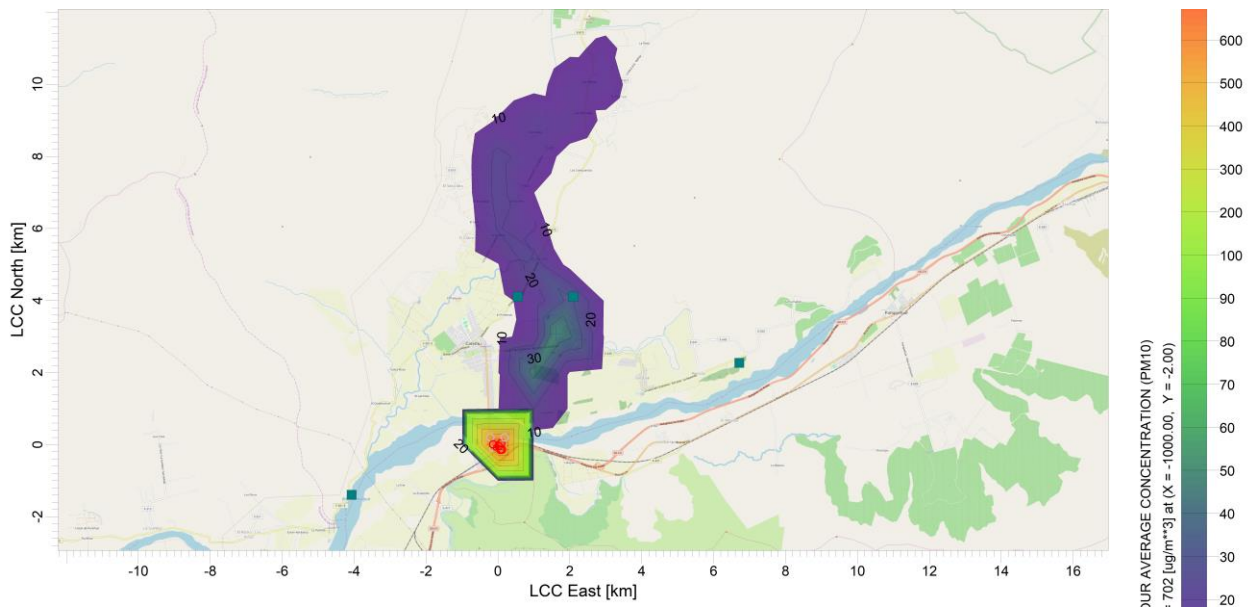


Figura 35. Promedio de concentraciones de 24 h – PM₁₀

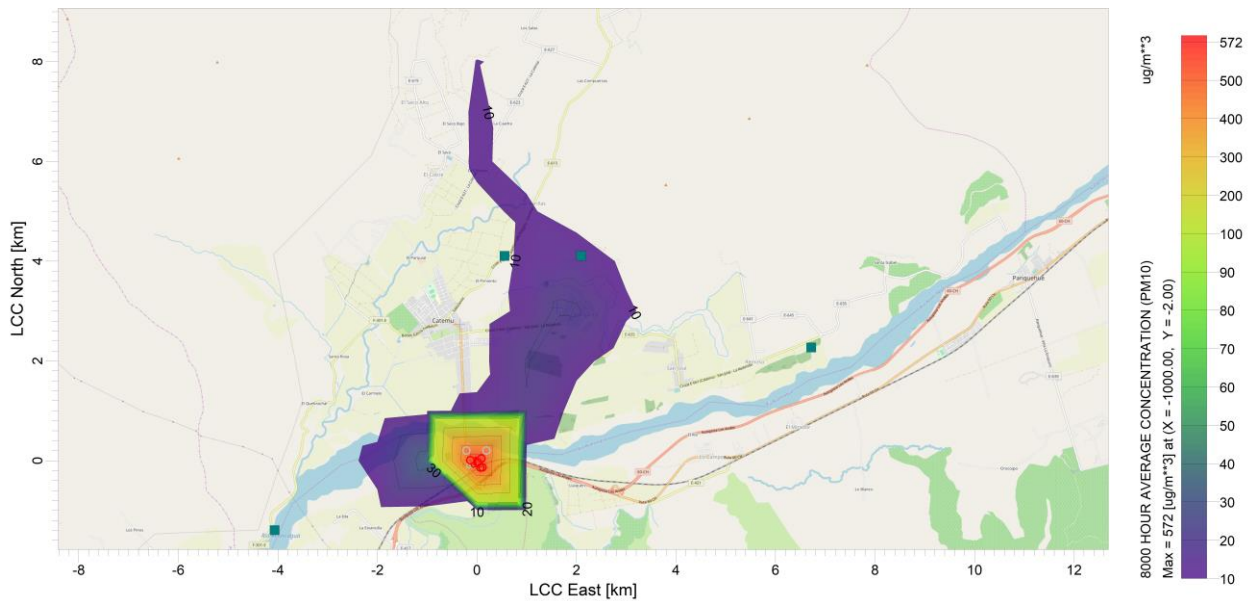


Figura 36. Promedio de concentraciones anual – PM₁₀

4.3. Análisis de escenarios para el SO₂

Con la finalidad de evaluar posibles escenarios de reducción de emisiones fugitivas desde la nave de procesos y redireccionarlo por la chimenea de 100 m, se propusieron 3 escenarios adicionales de simulación, que se detallan en la Tabla 21.

Tabla 21. Descripción de escenarios

Nombre	Descripción	Efecto en emisiones
Escenario base	Emisiones fugitivas y puntuales correspondientes a la operación actual	-----
Escenario 2	Encapsulación de la nave	-20 % emisiones fugitivas Se trasladan a chimenea de 100 m
Escenario 3	Encapsulación de la nave	-40 % emisiones fugitivas Se trasladan a chimenea de 100 m
Escenario 4	Reducción de emisiones en HR y HLE	-60 % emisiones fugitivas Se trasladan a chimenea de 100 m



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

El análisis del comportamiento de la dispersión de concentraciones en los distintos escenarios se hizo utilizando los datos obtenidos de la modelación para el punto receptor Santa Margarita, corregidos con el percentil 98 del escenario base.

La Figura 37 indica la comparación temporal del escenario base con respecto a una reducción del 20% de emisiones fugitivas, Escenario 2. Se puede observar una disminución en esta simulación, el peak en el perfil horario que se observa en horas de la tarde cercano a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ disminuye a cerca de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso de los meses de abril y diciembre el promedio mensual baja de 100 a 80 y $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Como se indica en la Tabla 26, el promedio del escenario base es de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en este escenario se alcanza un valor de $53.24 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una reducción del 23.6 %.

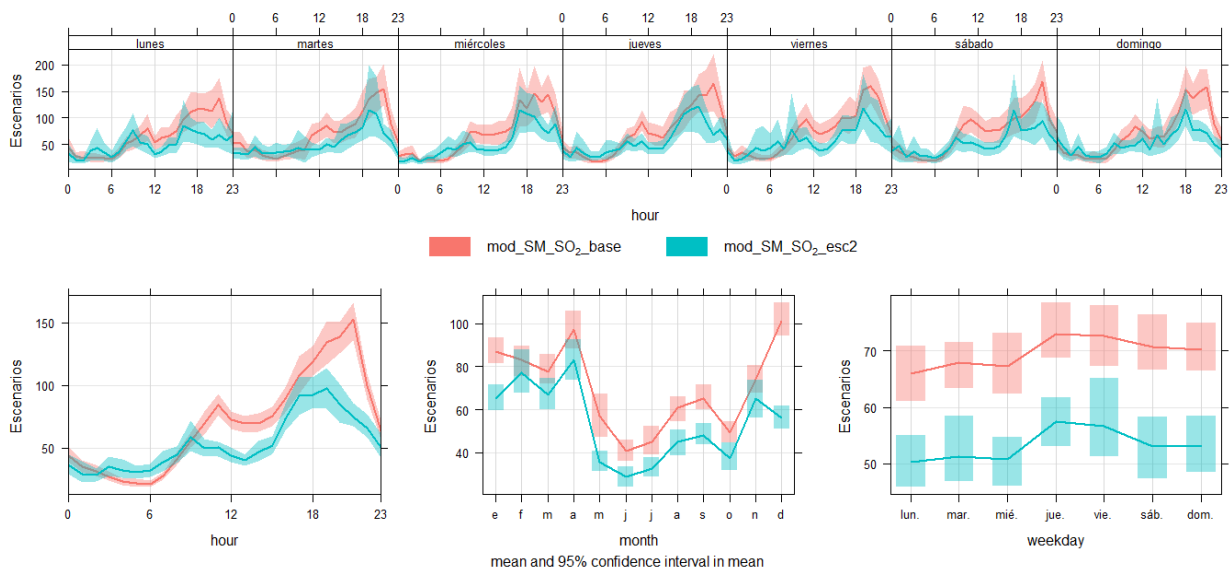


Figura 37. Escenario 2 comparado con el base

La Figura 38 indica la comparación temporal del escenario base con respecto a una reducción del 40 % de emisiones fugitivas, Escenario 3. De la misma forma que en el escenario anterior, el peak cercano a $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ disminuye a cerca de $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en el caso de los meses de abril y diciembre el promedio mensual baja de 100 a 85 y $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente. Como se indica en la Tabla 26, el promedio del escenario base es de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en este escenario se alcanza un valor de $57.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una reducción del 17.4 %.

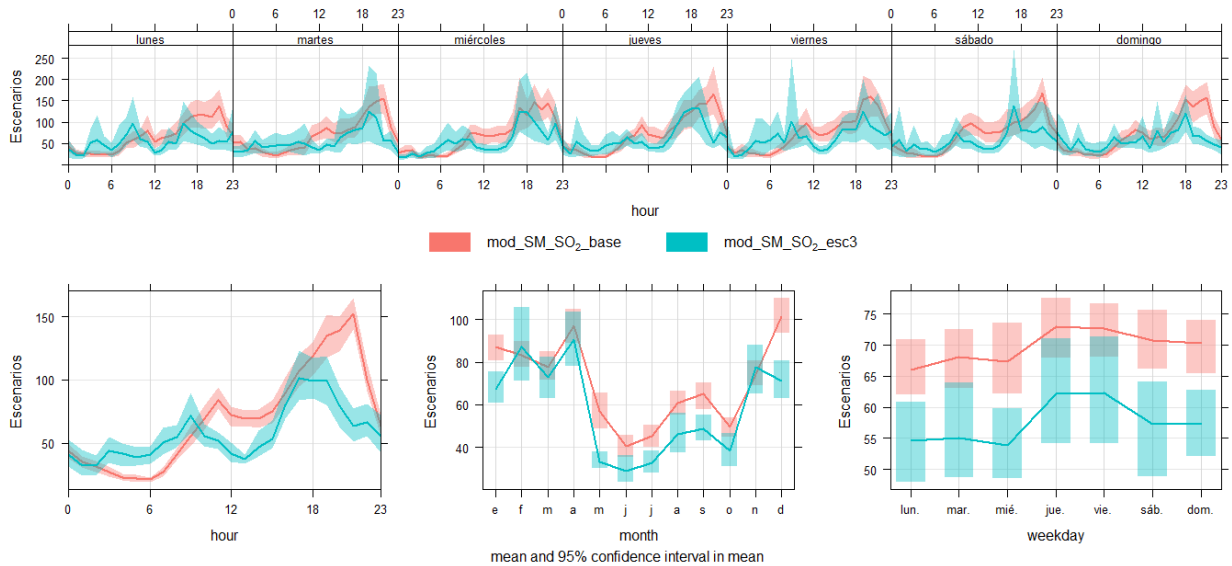


Figura 38. Escenario 3 comparado con el base

La Figura 39 muestra la comparación entre el escenario 4 y el base, en este último escenario de simulación la emisión de las fuentes fugitivas se ha disminuido en un 60% de los valores originales, por lo tanto, la cantidad emitida por la chimenea transforma a esta fuente puntual en un aporte importante en el perfil de concentraciones. En este caso, si bien se observa disminución en los peaks promedio, no es una diferencia significativa. Como se indica en la Tabla 26, el promedio del escenario base es de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en este escenario se alcanza un valor de $62.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que representa una reducción del 10.9 %.

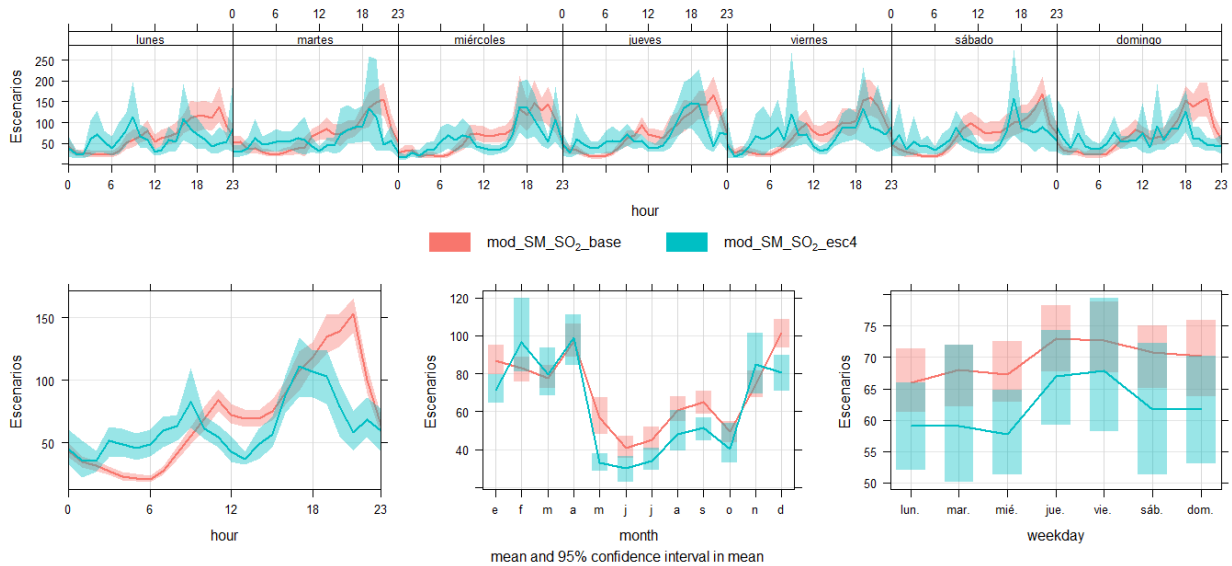


Figura 39. Escenario 4 comparado con el base

Finalmente, la Figura 40 indica la comparación de todos los escenarios. Se puede observar que existe una mayor variación en el escenario 2 como se indicó antes. La variabilidad de los valores, que en esta gráfica se observan con un 95 % de confianza, indican valores de concentración de hasta $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en el caso del escenario 4.

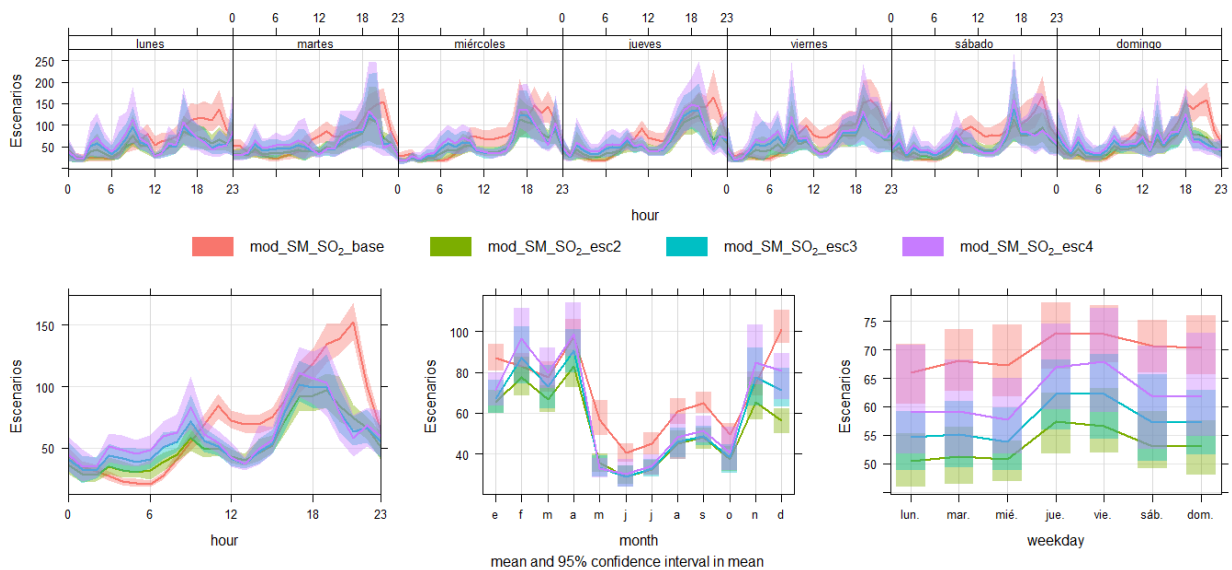


Figura 40. Todos los escenarios comparados



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

La tabla 22 muestra el resumen del efecto causado por la disminución de emisiones de la nave de proceso.

Tabla 22. Reducción de concentraciones anuales del SO₂ en Estación Margarita, año 2018

Escenario	Promedio	Variación con respecto al base
Base	69.7 µg/m ³	
2	53.24 µg/m ³	-23.6 %
3	57.54 µg/m ³	-17.4 %
4	62.07 µg/m ³	-10.9 %



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

5. CONCLUSIONES

- Se desarrolló un modelo meteorológico para la Fundición Chagres mediante el software WRF utilizando una malla de 61 x 61 km y 44 capas verticales, con un tamaño de celda de 1 km. La incorporación de datos de estaciones superficiales permitió mejorar el desempeño del modelo para una malla final con celdas de 200 m y que presenta un error entre el valor observado y modelado de 2.6 % para Santa Margarita y cercano al 20 % para las estaciones Catemu, Lo Campo y Romeral. En cuanto a la dirección viento se observó que la modelación se ajusta a la tendencia de los datos colectados en la zona.
- El inventario de emisiones fue perfilado de forma mensual para el caso de fuentes puntuales, y para las emisiones fugitivas de la nave de proceso (área de 4075 m²), que representa cerca del 97 % del total de SO₂ y del 95 % de material particulado se procedió a establecer valores de emisión horarios y con perfil mensual. El total anual de emisiones se dividió en fracciones mensuales mediante un análisis del número de horas de operación reportados, y el perfil horario se determinó con las frecuencias de vientos y SO₂ observados en Santa Margarita.
- La simulación de la dispersión de contaminantes se realizó en CALPUFF para el año base 2018. El análisis de los promedios de concentración de SO₂ en Catemu, Romeral y Santa Margarita indican un error cercano al 10 %. Para estas tres estaciones de monitoreo se pudo observar que los resultados del modelo predicen con razonable exactitud el perfil de concentraciones de contaminantes en la zona. Para Catemu y Romeral, se observaron peaks horarios de 30 µg/m³, a las 10 AM. Mientras que, en Sta. Margarita, el peak fue a las 20 h con un valor de 150 µg/m³. Se comprobó que en ninguna de estas estaciones se incumple la norma primaria de SO₂ chilena.
- El aporte del PM₁₀ generado como emisiones fugitivas de la nave de proceso representó un 16.7 % del promedio anual de concentraciones de este contaminante medidos en la estación Catemu para el año 2018, mientras que para estación Lo Campo el aporte fue de tan solo un 0.68%. Estos valores se deben corroborar con estudio de modelo de receptor.



ARTICUOLOTECH

Ingeniería y Gestión Ambiental

- Se simularon de forma adicional 3 escenarios con reducciones del 20, 40 y 60 % de las emisiones fugitivas de SO_2 , las cuales se capturan y se trasladan a la chimenea de 100 m. En el escenario base para Santa Margarita se tuvo un promedio de concentración de SO_2 de $69.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que para los escenarios 2, 3 y 4 los promedios anuales de dióxido de azufre decrecieron a 53.24 (-23.6 %), 57.54 (-17.4%) y 62.07 (10.9 %) $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.