

Trabajo de consultoría para:

AES GENER

ToR fecha 14-02-2019

Fecha de oferta: 22-05-2019 (*formaba parte del informe etapa 1*)

Purchase order: 4500434000 de fecha 07/10/2019

**Diseño e implementación de una metodología para la
caracterización, evaluación y seguimiento de la puesta en
marcha de un sistema para la optimización del manejo de
graneles en la Central Ventanas de AES GENER**

Informe etapa 2 (revisado)

Febrero 14, 2019

por Lars Gidhagen

CONTENIDO

1	Resumen ejecutivo.....	4
2	Servicio de consultoría	7
2.1	Etapa 2 (este informe)	7
2.2	Etapas 3-5 (propuesta).....	7
3	Campaña de monitoreo.....	7
4	Recolección de datos de actividades que pueden generar material particulado	10
5	Análisis de datos de MP10, MP2.5, BC y meteorología registrados durante la campaña.....	13
5.1	Niveles promedio durante el período analizado	13
5.2	Interpretación de la información.....	15
6	Modelación.....	27
7	Episodios con niveles extremos.....	31
8	Causas de los niveles altos de MP10 en Gener O.....	33
8.1	Niveles promedio de MP10.....	33
8.2	Niveles extremos de MP10.....	34
8.3	Resumen y recomendaciones para diagnosticar los eventos de niveles altos de MP10 en Gener O.	35
9	Conclusiones.....	35
10	Datos del consultor.....	37
Anexo 1	Procedimiento de corrección de los datos MP10 y MP2.5	38
Anexo 2	Procedimiento de corrección de los datos BC	40
Anexo 3	Análisis de elementos principales.....	42

GLOSARIO

MP10	Partículas con un diámetro menor a 10 μm
MP2.5	Partículas con un diámetro menor a 2.5 μm
BC	Carbono negro (black carbon en inglés)
EC	Carbono elemental, comparable con carbono negro
OC	Carbono orgánico (organic carbon en inglés)
SIMCA	Monitor para medir BC en forma continua
E-sampler	Monitor para medir MP10 y MP2.5 en forma continua, además con filtros que captan partículas que pueden ser analizados en laboratorio en cuanto a masa de MP10/MP2.5 y EC/OC.

1 Resumen ejecutivo

Este informe describe los resultados de la segunda etapa de un proyecto para caracterizar, evaluar y verificar el funcionamiento de un sistema para optimizar el manejo de graneles en la Central Ventanas de AES GENER. Durante la primera etapa se trabajó para el entendimiento del problema de partículas generadas por el manejo de graneles en el área industrial de Ventanas y se diseñó una campaña de monitoreo. En este segundo informe se describe la campaña de monitoreo realizada y sus resultados. La interpretación de la información obtenida durante la campaña de monitoreo ha sido apoyado por un ejercicio de modelación.

El análisis se basó en trazar el efecto de los procesos que son más importantes para la generación de partículas, tratando de aislar el impacto generado por el manejo de graneles de carbón en la planta AES Ventanas. Se excluye en el análisis el impacto de material particulado saliendo por las chimeneas de la planta. Así, se buscó crear una base de información que permitiera dimensionar el actual impacto y al mismo tiempo evaluar el impacto tras posibles acciones complementarias para el control de las emisiones asociadas al manejo de carbón. Cabe señalar que AES Gener ha implementado mecanismos de control de emisiones asociadas al manejo de graneles, los cuales estuvieron operativos durante el desarrollo de la campaña de monitoreo¹.

Los resultados del monitoreo en dos estaciones Gener O (Planta) y Gener E (Estacionamiento), localizados occidente y oriente de la cancha de carbón de AES, han sido analizados utilizando datos complementarios en primer lugar de meteorología, pero también información disponible de actividades de operación en la planta y en el puerto. La estación Gener O se emplazó dentro de la zona industrial de AES, al borde del Puerto de Ventanas y al occidente de la cancha de carbón de AES Gener. La estación Gener E se emplazó al exterior de la zona industrial, al borde de la zona residencial más cercana a la planta AES y al oriente de la cancha de carbón. Como referencia se ha presentado los niveles de MP10 y MP2.5 registrados en la red fija de la zona, especialmente las estaciones más cercanas La Greda y Ventanas. Las conclusiones son:

1. **MP10:** La estación Gener O (Planta), ubicada dentro del área industrial de AES, entrega los niveles más altos. En promedio, el MP10 es entre 15 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ más alto que en otras estaciones de monitoreo presentes en la zona circundante, incluyendo la estación Gener E. En gran parte este nivel más alto puede explicarse por la concentración de sales marinas afectando a Gener O, situada pocos metros de la playa. En efecto, es posible inferir un impacto de sales marinas en Gener O del orden de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En Gener E la contribución de sales marinas se estima del orden de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para las estaciones localizadas más al interior la contribución de sales marinas se estima entre 5 y 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En Gener O los niveles suben al doble durante el día cuando el viento cambia hacia el occidente (del mar al interior), en comparación con las condiciones durante la noche cuando el viento va desde el continente hacia el mar. Se registraron en Gener O algunos eventos con niveles MP10 superiores a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tanto para vientos del occidente (desde el mar) como del oriente (desde el continente). Estos eventos se manifiestan mayoritariamente en horas donde no se está descargando o manejando carbón. Si bien no es posible trazar el origen de estos eventos con exactitud, se aprecia que son muy locales y limitados en forma espacial, sin afectar a zonas exteriores de la planta.

Se registraron mayores niveles de MP10 en Gener O durante la operación de transportes por camión de cal y ceniza (actividad “Romana”). A pesar de que el MP10 en Gener O fueron mayores coincidentemente con las actividades de movimiento de camiones, también comparte el mismo

¹ Las medidas de control de emisiones de graneles, operativas durante la campaña de monitoreo fueron las siguientes: Sistema de transporte por correa desde el puerto hasta la cancha, el que está completamente cubierto. Carbón tratado con supresores de polvo para evitar fugas de polvo, especialmente al momento de ser apilado, nivelado y compactación por maquinaria tipo buldózer.

horario con mayores vientos e influencia de las sales marinas, por lo que no se puede tener claridad respecto de su influencia o significancia de impacto.

Se observa que el efecto de vientos fuertes no es la causa de niveles elevados alrededor de la cancha de carbón. En efecto, los niveles promedio son un poco más altos con vientos mayores a 6 m/s, algo que puede tener relación con una generación fortalecida de sales marinas (estas velocidades más fuertes normalmente están asociadas con vientos desde el oeste, o sea desde el mar hacia el continente). Es decir, la planta AES no parece tener problemas significativos con resuspensión de carbón apilado en la cancha durante eventos de vientos más fuertes.

2. **MP2.5:** En ambas estaciones Gener O y Gener E se observan eventos de corta duración con niveles más altos que en la red fija.

Los niveles promedio de MP2.5 en Gener O y Gener E son similares a los registrados en otras estaciones de la zona y al igual que para el MP10 las diferencias entre los promedios de concentraciones entre Gener O y Gener E por direcciones del viento no son consistentes con un impacto significativo de emisiones desde la cancha de carbón. Sin embargo, ambas estaciones muestran eventos de corta duración con niveles más altos que las estaciones de la red fija. El análisis muestra que se trata de diferentes fuentes que contribuyen con esos niveles, tal que en Gener O principalmente se asocian con vientos desde el occidente y en Gener E con vientos desde el oriente. Por lo tanto, estos niveles altos de MP2.5 no evidencian tener relación con el manejo de carbón.

3. **BC (Black Carbon = Carbón Elemental):** Es posible asumir que el manejo del carbón en la cancha presenta el potencial de generación de MP10 rico en carbono elemental, lo cual debe registrarse en los sensores ópticos en forma similar a lo que sucede con el BC “normal” registrado en ciudades (donde el BC es un producto de combustión diésel).

Con vientos del occidente (desde el mar) y bajo condiciones de descarga, fue posible detectar en Gener E un aumento en los niveles BC de aproximadamente $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por encima de los de Gener O. Esta diferencia poco significativa puede relacionarse con emisiones causadas por el manejo de carbón localizado entre Gener O y Gener E, ya que con vientos del occidente (desde el mar) el contenido background de BC es bajo.

Para vientos del oriente (desde el interior) también se registran en Gener O, concentraciones promedio de BC para el período analizado, aproximadamente $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por encima de los del Gener E. Con esta dirección del viento se llevan a la zona industrial contribuciones elevadas de BC por causa de emisiones de combustión en el interior del continente (tránsito y quema de leña principalmente). Por eso los niveles más altos de BC se registran en Gener O exclusivamente con vientos del oriente.

4. **Modelo de dispersión:** El uso de un modelo sencillo tipo Gaussiano revela que el impacto de las actividades relacionadas con el manejo de graneles en la cancha de carbón produce un impacto en los niveles de material particulado en el exterior de una magnitud inferior a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que es consistente con las diferencias de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de BC registrados entre Gener O y Gener E. Los resultados del modelo también indica que la emisión que la autoridad ha estimada para el manejo de graneles de carbón en la planta AES (6 toneladas/año) es consistente con lo registrado por el monitoreo, aunque la similaridad solamente puede hacerse por orden de magnitud. Queda claro que son otras fuentes que dominan tanto el promedio elevado de MP10 en Gener O como los eventos de corta duración de niveles muy altos de MP10 y MP2.5 en ambas estaciones.

De esta manera, dadas las bajas diferencias entre los niveles de BC, optimizaciones bien diseñadas son consistentes con el cumplimiento de la exigencia de “impedimento de la dispersión de material particulado hacia el exterior de la instalación”.

Resumen de impactos estimados: La tabla siguiente resume el orden de magnitud de diferentes impactos identificados.

Tipo de impacto	Observación	Otras fuentes	Manejo carbón
MP10 promedio	alto en Gener O	sales marinas más otra fuente cercana: 10-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional	< 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP10 alto (corta duración)	altos en Gener O y Gener E	Gener O: hasta 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional Gener E: 50-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional	<i>no determinable</i>
MP2.5 promedio	similar a otras estaciones en la región	tránsito, quema de leña	<i>no determinable</i>
MP2.5 alto (corta duración)	altos en Gener O y Gener E	Gener O: 30-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional Gener E: 30-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional	<i>no determinable</i>
BC promedio	<i>(no hay referencias)</i>	vehículos, quema de leña: 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	~0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
BC alto (corta duración)	<i>(no hay referencias)</i>	vehículos, quema de leña: ~5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	~1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

En síntesis: El sistema actual del manejo de los graneles de carbón en la planta AES Ventanas tiene el potencial de impedir la dispersión del material hacia el exterior de la instalación, utilizando un formato optimizado del manejo de los graneles de carbón. Esto puede estar asociado a una mejor gestión de los graneles de carbón en general.

Esta conclusión en síntesis del autor del informe se basa en el análisis de la información de monitoreo presentado, que ha permitido determinar que las actividades en la cancha de carbón producen un impacto promedio en MP₁₀, MP_{2.5} y BC inferior a 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual es marginal al compararse con los niveles promedio de MP₁₀ registrados en los puntos de monitoreo localizados fuera de la planta AES Ventanas: Gener E = 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, La Greda = 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Ventanas = 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2 Servicio de consultoría

2.1 Etapa 2 (este informe)

Durante la primera etapa se trabajó para el entendimiento del problema de partículas generadas por el manejo de graneles en el área industrial de Ventanas y se diseñó una campaña de monitoreo. En este segundo informe se describe la campaña de monitoreo realizada y sus resultados. La interpretación de la información obtenida durante la campaña de monitoreo ha sido apoyado por un ejercicio de modelación.

El objetivo específico de esta segunda etapa es presentar un diagnóstico sobre el impacto actual del manejo del carbón y su contribución a los niveles de MP10, MP2.5 y Black Carbon (BC) en la vecindad de Ventanas. El análisis apuntan los procesos que son más importantes para la generación de partículas, tratando de separar el impacto generado por el manejo de graneles de carbón en la planta AES Ventanas. Se busca crear una base de información que permite proponer posibles acciones para disminuir el impacto del manejo de carbón.

2.2 Etapas 3-5 (propuesta)

3. Identificación y modelación de diferentes escenarios Ex Post – respondiendo a diferentes medidas posibles - para poder concluir sobre cuál o cuáles medidas han de realizarse como respuesta al Plan de Descontaminación (noviembre - diciembre 2019). *Detalles de esta etapa a definirse más adelante.*
4. Implementación de las medidas seleccionadas (durante 2020). *Detalles de esta etapa a definirse más adelante.*
5. Ejecución de una campaña de monitoreo y modelación para mostrar las emisiones y el impacto Ex Post (durante 2020). *Los detalles de esta etapa a definirse más adelante.*

3 Campaña de monitoreo

AES Gener ha contratado a la empresa consultora SETEC (Yolanda Silva, Ignacio Olaeta) y el consultor Ernesto Gramsch de USACH para ejecutar la campaña de monitoreo según el diseño propuesto en el informe de la etapa 1 (informe revisada con fecha Mayo 22, 2019). Los análisis en laboratorio de los filtros fueron realizados por la empresa Chester LabNet.

Fue decidido medir en dos estaciones, localizadas según el diseño propuesto en la etapa 1 oeste (Gener O) y este (Gener E) de la cancha de carbón de AES. Por razones prácticas y de seguridad fue necesario mover la estación Gener E hacia el norte, quedando más en la dirección noreste de la cancha.

Fig. 3.1
Foto mostrando la cancha de carbón, acercada con una maya de 18 m de altura y las ubicaciones de las dos estaciones de monitoreo:

Gener O, también nombrado "Planta" y Gener E, también "Estacionamiento").



Los monitores fueron montados lo más alto posible para captar el impacto de material particulado saliendo por encima de la maya de 18 m que rodea la cancha de carbón. En la Fig. 3.2 se presentan fotos mostrando los andamios utilizados, logrando una altura del monitoreo de aproximadamente 10 m sobre el suelo.

Algunas características de las dos estaciones (ver fotos en la Fig.3.2 a la derecha):

- **Gener O:** Abierto hacia el mar (oeste) y hacia la transportadora de carbón – la correa – hacia el sur. En la dirección hacia la cancha, una parte está cubierto por edificios altos de la planta. Distancia a la cancha de carbón: 220 m.
- **Gener E:** Los monitores fueron montados a un nivel por encima de la franja de árboles separando el estacionamiento (sin pavimento) y la carretera F-30-E. Entre la estación y la cancha está pasando el río, donde hay árboles de baja altura. Distancia a la cancha de carbón: 190 m.

El monitoreo se hicieron en forma similar en ambas estaciones:

- MP10 continuo (promedio 5 min)
- MP2.5 continuo (promedio 5 min)
- BC continuo (promedio 30 min en la estación Gener O y 15 min la estación Gener E)
- Dirección/velocidad del viento y temperatura (promedio 5 min)
- Análisis filtros MP2.5 de gravimetría (diariamente)
- Análisis filtros MP10 de gravimetría (cada 2 de tres días)
- Análisis filtros MP10 de EC/OC (cada 1 de tres días)
- Análisis filtros MP10 de XRF (elementos, en total 28 filtros para ambas estaciones)

Blancos (en total 10 filtros para ambas estaciones)



Fig. 3.2 Foto mostrando la estación Gener O (izq) y Gener E (centro). Las perspectivas desde las estaciones hacia la cancha están mostrados a la derecha, desde Gener O (tope) y desde Gener E (bajo).

Los datos continuos entregados, ya consolidados por los consultores responsable del monitoreo, fueron cargados con instancia “val” (validados) en una base de datos del sistema Airviro/Ventanas (dominio “ESTUDIO”) con una resolución temporal de 5 minutos. Para lograr datos de 5 minutos de BC, fue necesario convertir un dato de 30 minutos a seis datos de 5 minutos, todos con el mismo nivel que el promedio de 30 minutos. Para los datos registrados con 15 minutos se cargaron tres datos idénticos. Para MP10 fue necesario convertir los datos entregados por el monitor en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bajo condiciones locales de presión y temperatura, a $\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$ (presión estándar de 101300 Pascal y una temperatura de 25 °C), esto para cumplir con la normativa chilena.

Al recibir los resultados gravimétricos de los filtros montados en cada una de los cuatro instrumentos E-sampler, se hizo una comparación con los datos continuos saliendo directamente del instrumento. En el Anexo 1 se describe el resultado y la aplicación de factores de corrección sobre los datos continuos. Los datos utilizados en este informe fueron cargados con la instancia “cor” en el Airviro/Ventanas. El proceso de corrección se realizó con el apoyo de SETEC.

Igualmente se ha corregido los datos BC obtenidos con los dos monitores SIMCA, utilizando para cada estación el material particulado colectado en 12 filtros por los E-samplers MP10, analizados en laboratorio por su contenido de carbón elemental (EC). El procedimiento de corrección está documentado en el Anexo 2 y fue realizado en colaboración con Ernesto Gramsch.

Con el fin de disponer en la base de datos de 5 minutos también la información disponible de la red de monitoreo de la zona y de la torre meteorológica (Principal), se transfirieron los datos disponible de MP10, MP2.5 y meteorología de la base de datos de 1 minuto hacia la base de datos de valores promedio de 5 minutos.

4 Recolección de datos de actividades que pueden generar material particulado

En el informe de la primera etapa, se hizo una descripción de las actividades relacionados al manejo de carbón que pueden producir emisiones de partículas hacia la atmósfera. También se listaron las actividades externas a la planta AES Gener que pueden contribuir con emisiones. Con el fin de apoyar la interpretación de los datos registrados durante la campaña de monitoreo, se ha buscado sistematizar la información sobre actividades en un formato y resolución temporal que permite un análisis conjunto en la base de datos de 5 minutos. En efecto, existen actividades de manejo de graneles que son continuas, como por ejemplo la carga en buzones de alimentación de unidades. Sin embargo la actividad no continua con más impacto potencial sobre emisiones es la descarga de carbón en el puerto, su transporte hacia la cancha y los procesos asociados a su apilamiento. Las actividades siguientes han sido introducidas como datos promedio 5 minutos:

- **Actividad AES:** Las actividades de manejo del carbón están asociados a la descarga del carbón de los buques en el sitio 5 del muelle PVSA. Durante la descarga está operando las grúas que llevan el carbón hacia la correa transportadora – primero de PVSA y luego, internamente en la cancha, por las correas y la apiladora de AES – hacia las pilas de carbón donde están operando máquinas para nivelar. PVSA produce para cada buque que lleva carbón con destino AES, una documentación SOF (*State of Facts*), donde está notado fecha/hora/minuto de inicio y término de períodos donde se ejecuta la descarga. Ya que también se informa el monto de carbón descargado durante cada período, fue posible calcular una serie de datos con resolución de 5 minutos que indica el monto de carbón manejado. La lógica es que la probabilidad de generar una emisión de partículas debe aumentar en relación al monto de carbón manejada por unidad de tiempo. La actividad AES durante la campaña de monitoreo está ilustrado en la Fig. 4.1.
- **Actividad PVSA:** La empresa operando el puerto Ventanas, PVSA, también opera carga y descarga a empresas externas. Por la documentación “LineUp” es posible ver fecha de inicio y término de cargas/descargas de todos los buques arribando al puerto Ventanas. Ya que también se informa el monto cargado/descargado, es posible crear para cada buque un señal con resolución de 5 minutos de cuánto se manejaba como promedio durante su carga/descarga. Sale un señal parecido a las actividades de AES, sin embargo sin detalles, solamente un promedio durante toda su operación.

Durante la campaña de monitoreo se documentó el manejo de concentrado (sitios 2 y 3 del muelle), petcoke (sitio 3), clinker (sitio 5) y trigo (sitios 3 y 5). El manejo de carbón fue solamente para AES. Para estas actividades se elaboraron datos de actividad con la misma resolución de 5 minutos.

También se documentó en “LineUp” la carga/descarga de ácido sulfúrico y asfalto. Por información de AES se confirmó que estos productos son transportados en fase líquida por tubería, por lo que no se ha incluido estas dos actividades en el análisis. La actividad PVSA durante la campaña de monitoreo está ilustrado en la Fig. 4.1, junto con la de AES.

- **Actividad de maquinaria y vehículos dentro de la planta AES:** Excepto de la maquinaria trabajando la nivelación de las pilas de carbón (incluidos en “Actividad AES”), hay operaciones independientes de la descarga en el muelle. Primero hay vehículos cargando carbón de las pilas hacia las tolvas, el suministro de carbón para los hornos. Luego hay un transporte frecuente de camiones que llevan la ceniza hacia el depósito. Durante la carga del camión y su transporte por el área interna de AES, es posible la generación de material particulado. También se transporta cal viva para el proceso. La empresa externa manejando los transportes ha entregado un documento en EXCEL, nombrado “Romana” por el nombre del proceso de peso que se hace con cada camión. Después de un diálogo con representantes de la planta AES, se crearon dos señales temporales mostrando el transporte de cenizas y de cal viva. La suposición era que cada proceso (descarga de ceniza, pesado, lavado y transporte hasta la salida de la planta tomó en promedio 20 minutos, por lo cual cada transporte generó cuatro valores de 5 minutos de actividad. La amplitud de la señal fue el monto de ceniza (peso seco) o cal viva transportado. En el caso de múltiples camiones que estuvieron activos durante los mismos 5 minutos, se sumaron los montos transportados. Las actividades de transporte interno registrados durante la campaña de monitoreo está ilustrados en la Fig. 4.2.

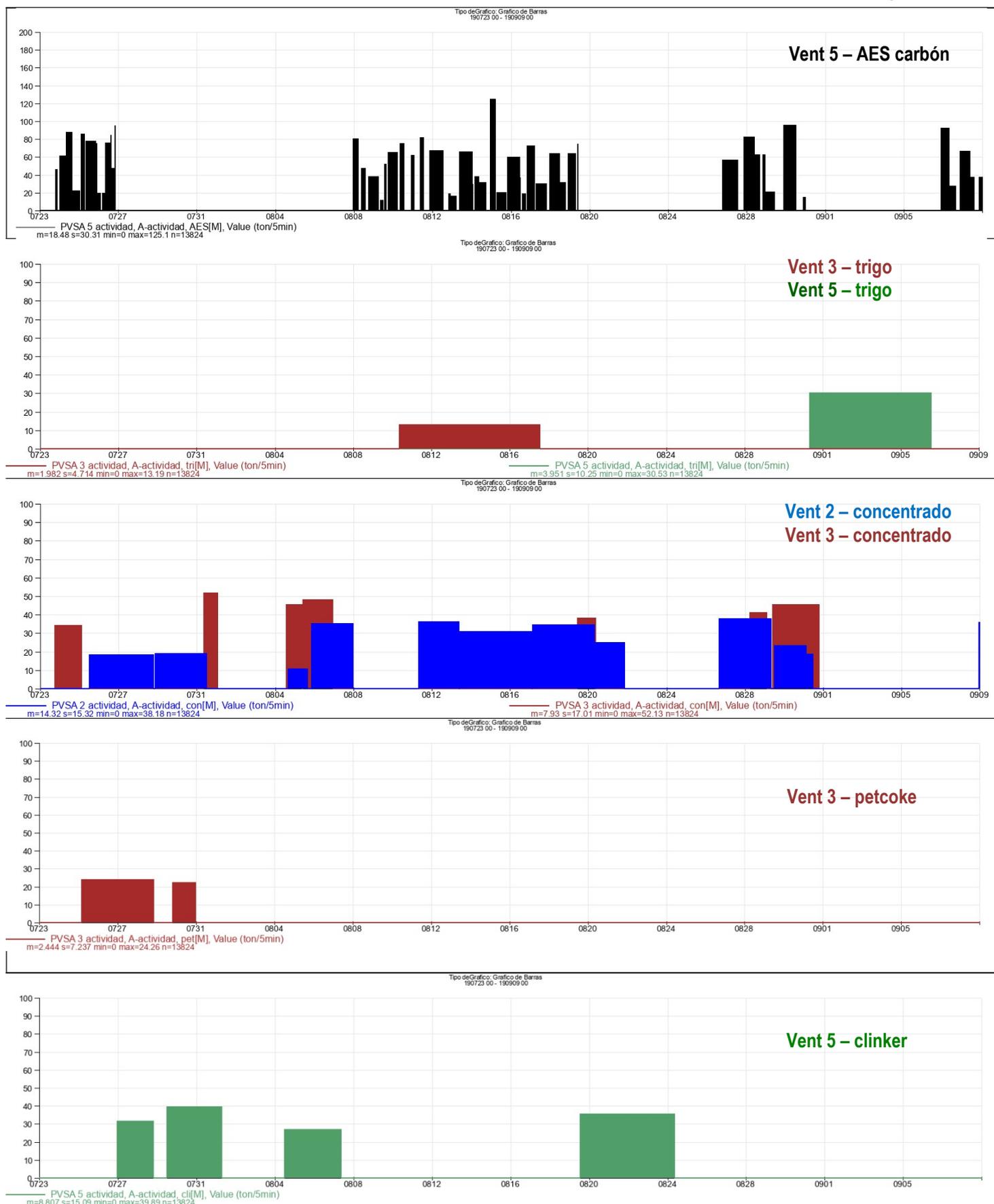
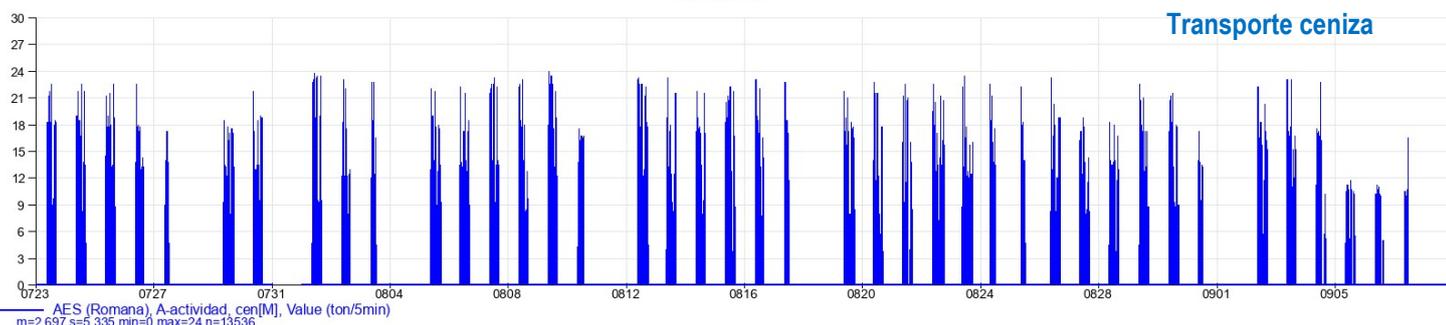


Fig. 4.1 Actividades de carga/descarga en el puerto Ventanas (unidad toneladas/5 minutos). Vent 2-3-4-5 refieren a los sitios en el muelle donde se realiza la actividad. Período: 23 de julio hasta 8 de septiembre, 2019.

Tipo de Gráfico: Gráfico de Barras
190723 00 - 190909 00



Tipo de Gráfico: Gráfico de Barras
190723 00 - 190909 00

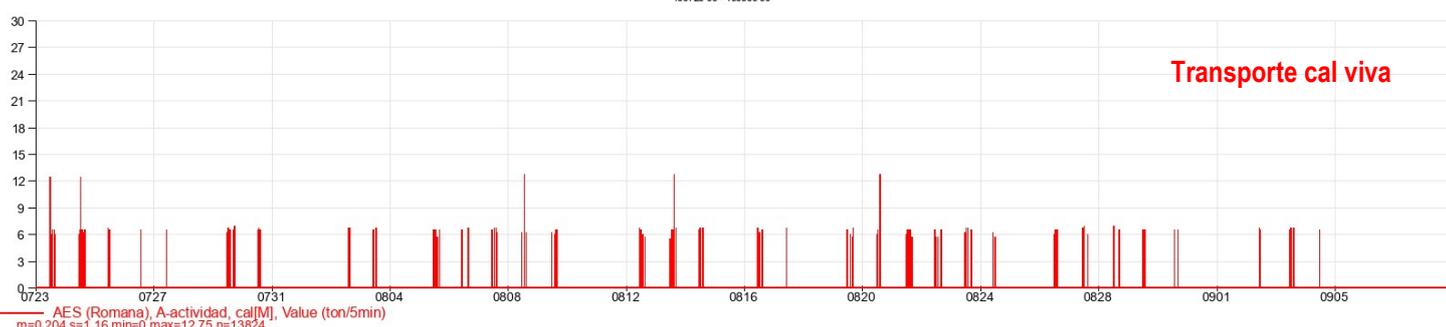


Fig. 4.2 Actividades de transporte por camión (unidad toneladas/5 min), registrados como “Romana”. Período: 23 de julio hasta 8 de septiembre, 2019. **A notar:** Del día 31 de julio falta información de las horas de inicio (hubo transportes de ceniza pero no están cargados/mostrados en el gráfico)

5 Análisis de datos de MP10, MP2.5, BC y meteorología registrados durante la campaña

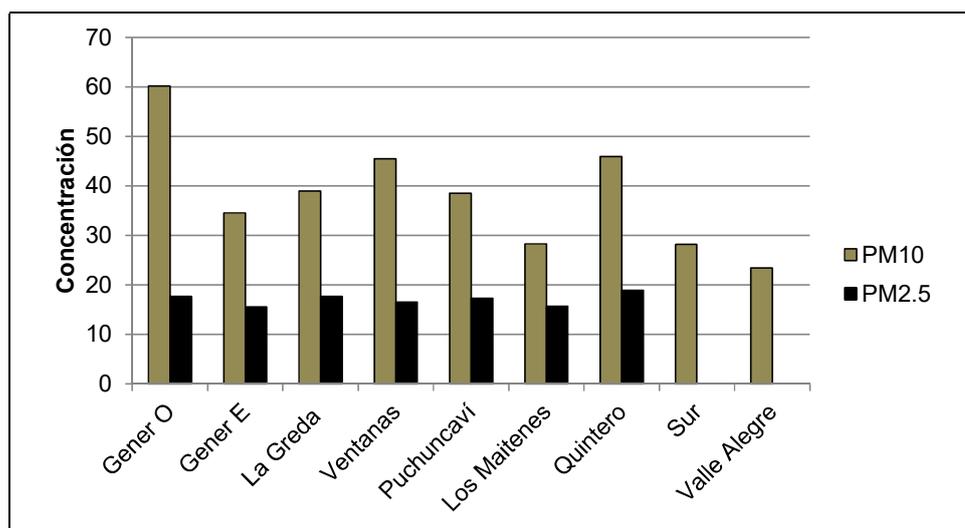
5.1 Niveles promedio durante el período analizado

Para lograr obtener información de buena calidad de todas las variables monitoreadas, se decidieron utilizar el período 23 de julio hasta 8 de septiembre como base para el análisis. Esto significa un período de 48 días, casi 7 semanas (el requerimiento formulado en la primera etapa fue un mínimo de 4 semanas). Durante este período, la única variable con problemas fue el anemómetro en Gener O, que no funcionó hasta el 4 de agosto.

Tabla 5.1 Niveles registrados durante el período 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.

Variable	Estación	promedio	max (5 min)	dev. std. (5 min)	data 5 min (%)
MP10	Gener O (planta)	60.2	442.0	41.1	100%
	Gener E (estacionamiento)	34.5	311.6	19.9	100%
	La Greda	39.0	148.4	23.8	99%
	Ventanas	45.5	138.9	45.5	99%
	Puchuncaví	38.5	199.7	21.0	100%
	Los Maitenes	28.3	207.1	19.6	100%
	Quintero	45.9	176.0	22.5	99%
	Sur	28.2	90.4	28.2	99%
	Valle Alegre	23.4	83.5	23.4	100%
MP2.5	Gener O (planta)	17.7	106.9	10.5	100%
	Gener E (estacionamiento)	15.5	180.4	10.1	100%
	La Greda	17.7	62.2	8.9	100%
	Ventanas	16.5	65.0	7.7	99%
	Puchuncaví	17.3	60.5	9.3	99%
	Los Maitenes	15.7	59.1	8.2	91%
	Quintero	18.9	55.9	9.6	99%
BC	Gener O (planta)	1.97	7.81	1.29	86%
	Gener E (estacionamiento)	1.57	6.51	1.02	80%

Fig. 5.1
Niveles promedio de MP10 y MP2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) registrados durante el período 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.



La Tabla 5.1 y la Fig. 5.1 muestran un nivel promedio de MP10 en la estación Gener O (Planta) más alto que otras estaciones. También se pueden notar en la Tabla 5.1 niveles máximos de MP10 (promedio 5 min) considerablemente más altos en Gener O y Gener E, en comparación con las estaciones de la red fija.

Para MP2.5 la situación es diferente y los niveles promedio en Gener O y Gener E son similares a las otras estaciones de la red. Sin embargo, los niveles máximos (promedio 5 min) son más altos en Gener O y – en

particular – en Gener E. Para BC no es posible comparar con otras localidades en la región, pero los niveles promedio de BC son típicos de un background urbano.

La composición promedio de elementos principales está graficada en las Figuras 5.2 y 5.3. Para tener algo de referencia, se presenta en Tabla 4.2 una comparación entre Gener O (Planta) con un monitoreo en Quillota, realizado hace casi 20 años. Lo que se puede ver es la presencia más alta de sales marinas (Na, Cl) en Gener O. Al respecto de elementos asociados a la fundición, se han registrado históricamente niveles altos de arsénico, tanto en Quillota como en Valparaíso (proyecto COSUDE). En Gener O los niveles de As son algo más alto que en Quillota y para Cu se ha registrado un nivel bastante más alto. Las diferencias entre Gener O y Gener E son relativamente pequeñas y difíciles de interpretar, con excepción del mayor impacto de sales marinas sobre Gener O.

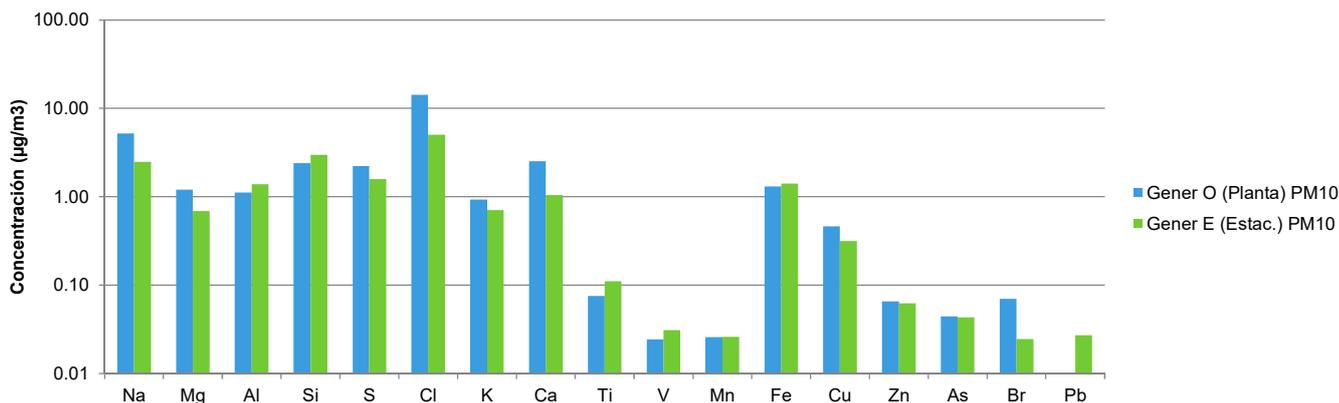


Fig. 5.2 Niveles de elementos principales en MP10 en las estaciones Gener O y Gener E (ver Anexo 3 para más detalles). Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un eje logarítmico.

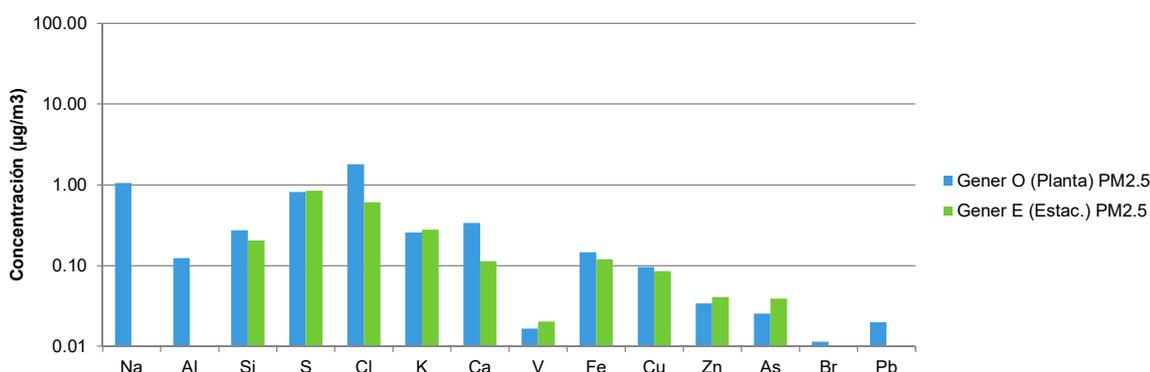


Fig. 5.3 Niveles de elementos principales en MP2.5 en las estaciones Gener O y Gener E (ver Anexo 3 para más detalles). Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un eje logarítmico.

Tabla 5.2 Niveles de elementos principales en MP10, registrados en Gener O y, para comparación, en Quillota Nov 1999 – Nov 2000 (proyecto “CONAMA No. 22-0023-09: Determinación de línea base nacional de contenido de arsénico en material particulado respirable”).

	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Ti	V	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Br
Gener O (Planta)	5.214	1.207	1.118	2.405	2.233	14.271	0.929	2.527	0.076	0.024	0.026	1.305	0.464	0.066	0.045	0.070
Quillota	1.652	0.410	1.426	4.113	3.196	6.944	0.649	0.860	0.091	0.005	0.043	1.089	0.074	0.054	0.031	0.031

Utilizando el hecho de que la sal marina consiste de 30.6% de los iones Na y de 55.0% de los iones Cl^2 , y suponiendo que el cloro en parte puede tener otro origen que sales del mar, se puede estimar que alrededor de $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de los $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de MP10 registrado en Gener O está conformado por sales marinas. En Gener E la estimación correspondiente es alrededor de $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Es probable que las estaciones localizadas más al interior

² Seinfeld & Pandis, Atmospheric Chemistry and Physics, John Wiley & Sons, Inc. Table 7.8 page 444.

tienen una contribución de sales marinas entre 5 y 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (para Quillota la Tabla 5.2 indica una contribución de sales marinas de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

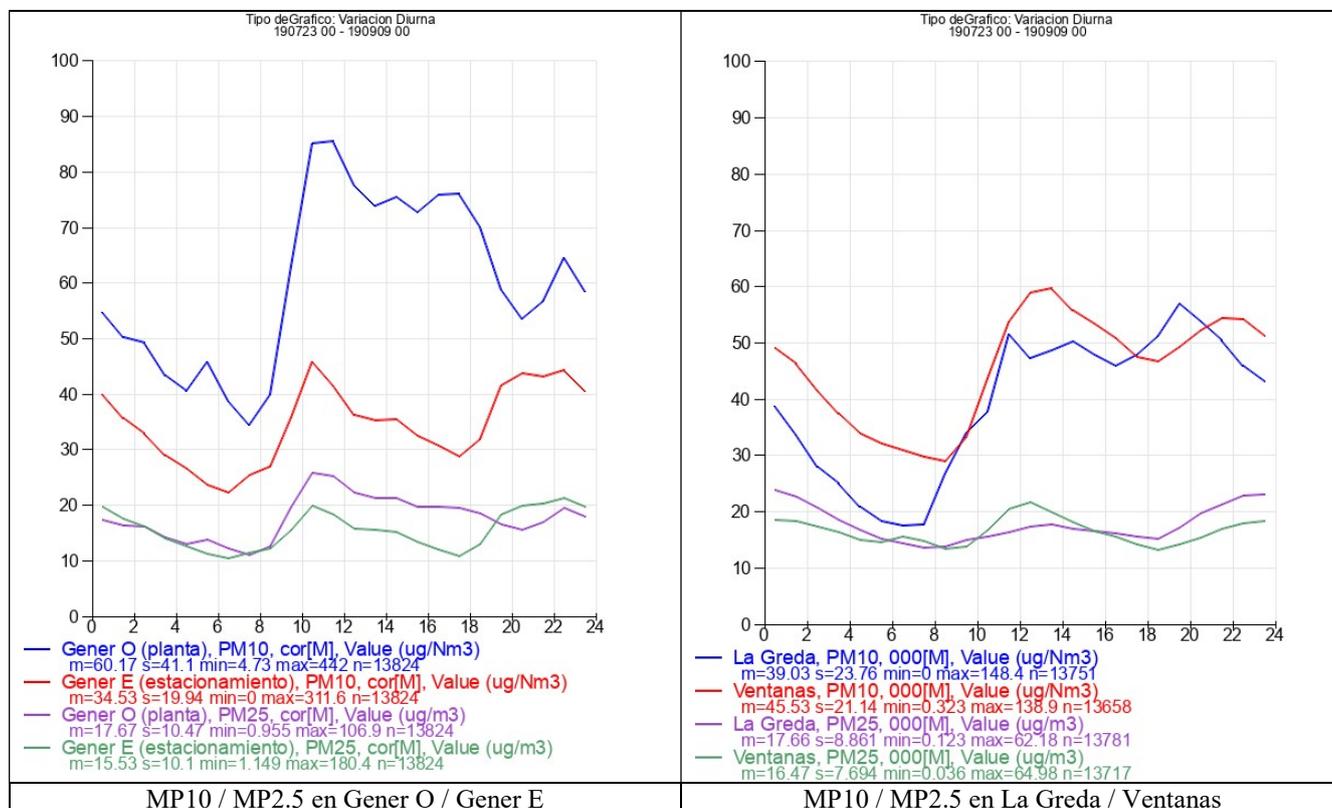
5.2 Interpretación de la información

A continuación se hace un esfuerzo de interpretar la información, basándose en la mejor resolución temporal disponible (5 minutos para MP10, MP2.5 y meteorología; 15-30 minutos para BC).

La Fig. 5.4 muestra las variaciones diurnas de las concentraciones analizadas y también la variación de las condiciones meteorológicas (velocidad y dirección del viento, tal que esta última se debe tratar con precaución ya que normalmente no se debe promediar si el cambio pasa por el norte). Se puede observar en Gener O (azul), que muestra niveles mayores de MP10, una variación fuerte con un máximo a las 11-12 horas de la mañana y manteniéndose alto hasta las 18 horas de la tarde. Esto es acoplado a cambios en la dirección del viento, que típicamente cambia al sur y suroccidente en la mañana, siguiendo con un componente de occidente hasta más o menos las 18 horas. En Gener E (rojo) también se ve un incremento en la mañana, pero los niveles son mucho más bajos, inclusive más bajos que en las estaciones cercanas de La Greda y Ventanas.

En la gráfica abajo y a la izquierda en Fig. 5.4 se puede ver que la razón (porcentaje de partículas finas de MP10, es decir MP2.5/MP10) es mayor en la noche, mostrando una tendencia a la disminución durante el día. También se ve que la razón es menor en Gener O que muestra mayores niveles de MP10. Esto significa que el impacto alto sobre Gener O – el área occidental del terreno industrial AES – está constituido principalmente de partículas gruesas.

Finalmente se puede observar que los niveles de BC están variando en forma diferente en Gener O y Gener E. En Gener O los niveles son más altos en la noche, pero muy bajos durante el día, es decir el impacto alto de MP10 en Gener O viene con una baja concentración de BC. En Gener E se puede notar dos máximos pronunciados, uno entre las 8:00 y las 10:00 en la mañana y la otra entre 20:00 y 22:00 en la noche. Se pueden asociar estos peaks al tránsito vehicular en las vías cercanas, y probablemente también a movimientos en el mismo estacionamiento. Posiblemente el peak de la noche tenga que ver con la quema de leña residencial.



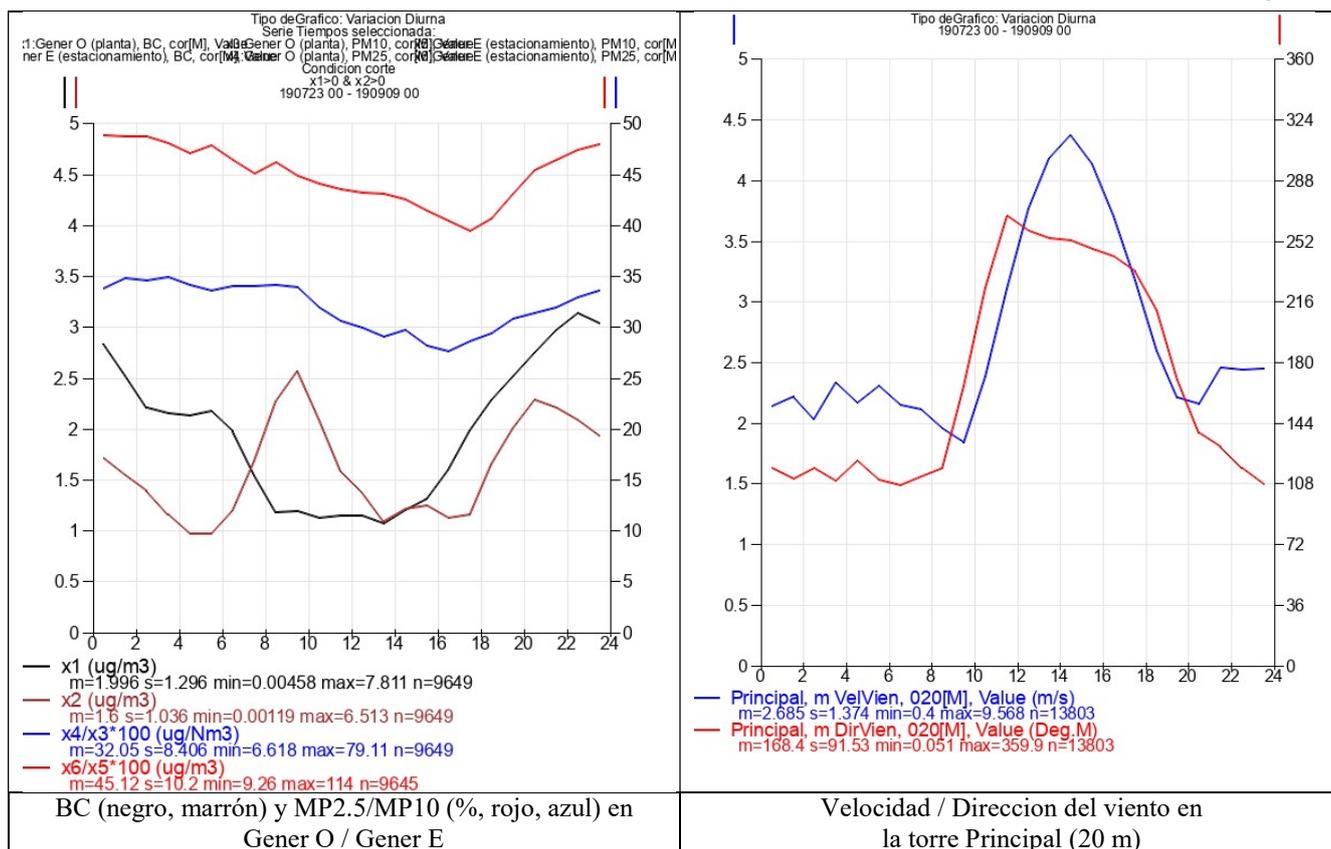


Fig. 5.4 Variación diaria de MP10, MP2.5, BC y velocidad/dirección del viento.

Para analizar la importancia de la dirección del viento sobre los niveles de MP10 y MP2.5, se han elaborado niveles promedio por sectores de 15 grados de la rosa del viento (Fig. 5.5). Se ha utilizado la información de la torre Principal de 20 m, ya que mostró ser menos influenciada por obstáculos cercanos como vegetación y edificaciones. En un análisis comparativo entre la dirección del viento en la torre Principal (20m), Gener O (~10m) y Gener E (~10m) fue posible constatar una canalización de los vientos en tanto Gener O como Gener E hacia las direcciones WNW y ESE. Para homogeneizar los análisis, se decidió utilizar la información meteorológica de la torre Principal (20m) en todos los análisis siguientes. Al realizar los mismos análisis con la información meteorológica de Gener O y Gener E, fue posible verificar las mismas conclusiones, con menores diferencias en los números.

La rosa de vientos muestra claramente una dominancia de vientos en los sectores NE hasta SE y entre SSW hasta WNW, con menos vientos de los sectores SE a SSW y entre WNW a NE. El tiempo con direcciones en estos dos sectores son 42% para NE-SE y 32% para SSW-WNW según la torre Principal.

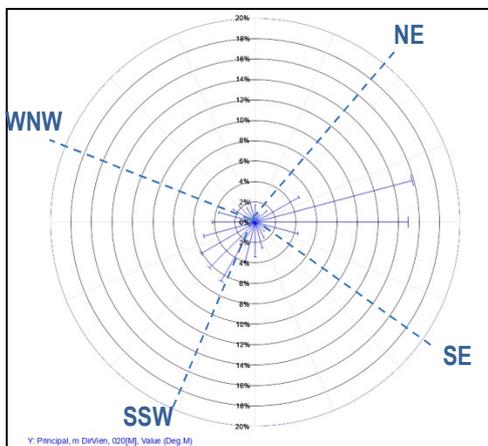


Fig. 5.5 Rosa de vientos de la torre Principal 20 m para el periodo 23 de julio a 8 de septiembre 2019.

Teniendo en cuenta la dominancia de vientos por estos dos sectores, se puede analizar las concentraciones registradas como promedio para diferentes direcciones del viento, ver Fig. 5.6. Para MP10 se puede ver en la estación Gener O (Planta) niveles mayores – 70-80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ - con la dirección del viento en el sector SSW-WNW, comparado con 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para direcciones en el sector NE-SE. En la estación Gener E (Estacionamiento) las concentraciones de MP10 son similares para ambos sectores.

Los gráficos de la Fig. 5.6, en conjunto con la variación diurna del viento indicado en la Fig. 5.4, muestran que los niveles MP10 más altos registrados en la Estación Gener O (Planta) deben ser causados principalmente por emisiones locales originando hacia el sector SSW-WNW de la estación.

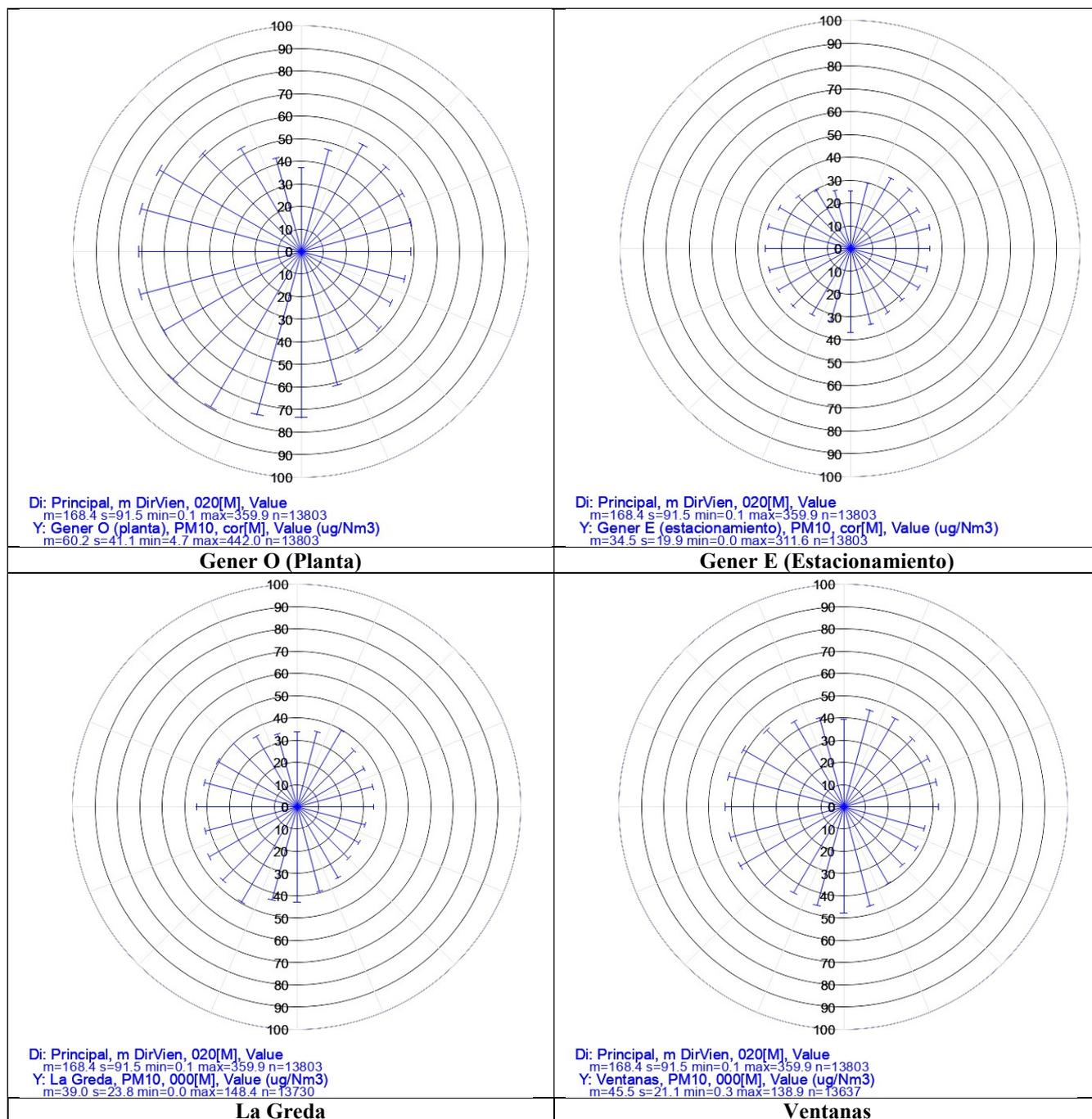


Fig. 5.6 Niveles promedio de MP10 por diferentes sectores del viento, como registrado en la torre Principal 20 m. Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Periodo: 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.

En la Fig. 5.7 se muestran niveles promedio de MP10 más altos en Gener O (Planta) en comparación con Gener E (Estacionamiento), esto para todas las direcciones del viento.

Para vientos de occidente, las diferencias son mayores durante períodos sin actividades de descarga y más bajos durante períodos de descarga, lo que puede indicar la presencia de una fuente de MP10 entre Gener O y Gener E que disminuyen la diferencia en el momento de operaciones con el carbón descargado. Con vientos de oriente se ve que las diferencias son menores en momentos con actividades de descarga. Esto es contrario a lo que se supone sobre un impacto de emisiones en la cancha.

El hecho de que las diferencias Gener O – Gener E siempre sean positivas excluye el manejo del carbón dentro la cancha de almacenamiento de AES como la fuente dominante tras los niveles de MP10 en la estación Gener E. El otro resultado mostrando que durante las actividades de descarga las diferencias disminuyen para ambas direcciones del viento, también indica que la mayor parte de los niveles MP10 están modulados por procesos fuera de la cancha.

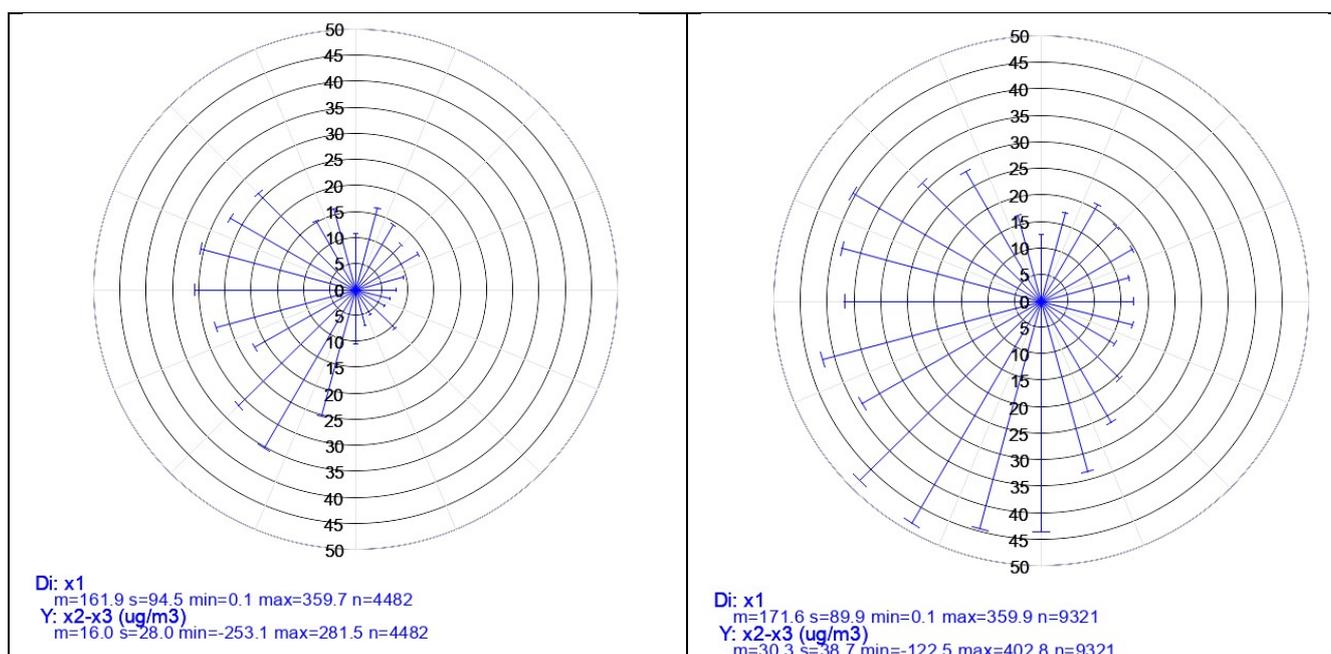


Fig. 5.7 Diferencias entre MP10 en la estación Gener O (Planta) y la estación Gener E (Estacionamiento) por diferentes sectores del viento, con actividades de descarga (izq.) y sin actividades de descarga (der.).

Para MP2.5 la situación es diferente, ver la Fig. 5.8. Los niveles son parecidos entre las cuatro estaciones. En Gener O (Planta) hay una tendencia igual que para MP10, con niveles promedio más altos con vientos del sector SSW-WNW.

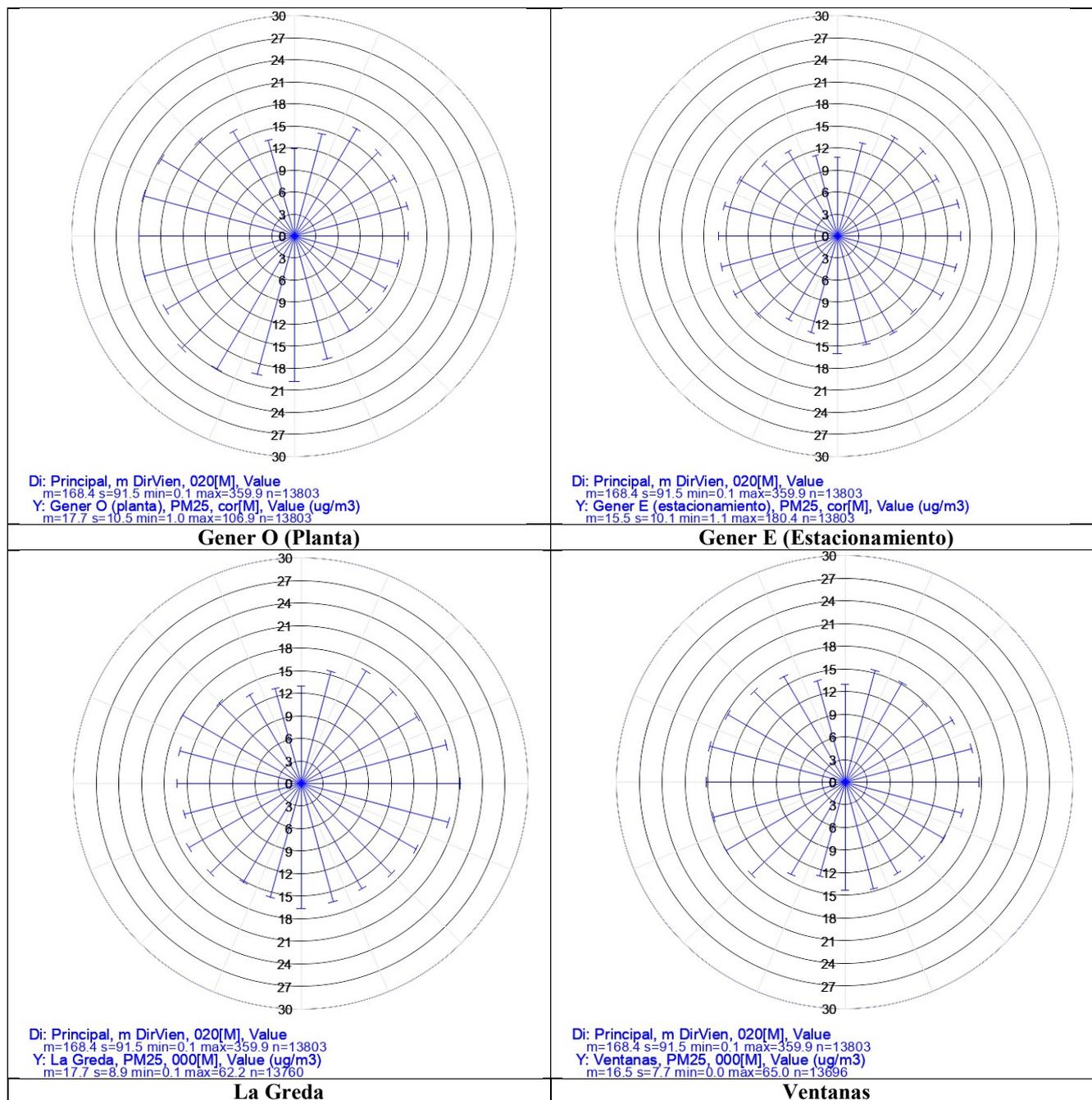


Fig. 5.8 Niveles promedio de MP2.5 por diferentes sectores del viento, como registrado en la torre Principal 20 m.. Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Periodo: 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.

Igual que para MP10, las diferencias entre Gener O y Gener E graficadas en la Fig. 5.9 son mayores, para vientos de occidente, durante periodos sin descarga. Para MP2.5 se encuentran - a diferencia del caso MP10 - niveles mayores en Gener E para ciertos sectores con vientos del oriente, resultando en diferencias negativas. Estas diferencias negativas se ven más definidas durante periodos con descarga. Estos resultados, igual que para el caso de MP10, puede ser consistente con un impacto localizado en la cancha de carbón para vientos de occidente, pero es contrario a lo esperado para vientos de oriente. En conjunto esto apunta a que las actividades en la cancha AES no tienen un impacto dominante sobre los niveles de MP2.5 en las zonas cercanas de la planta AES.

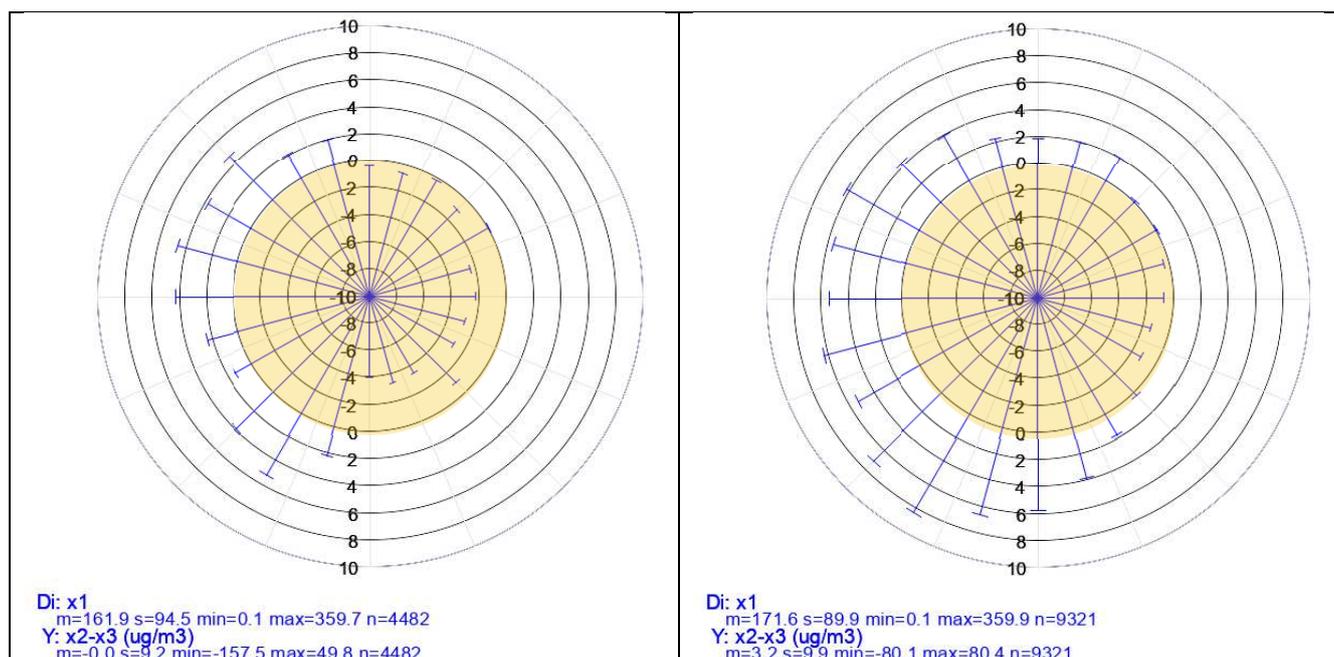


Fig. 5.9 Diferencias entre MP2.5 en la estación Gener O (Planta) y la estación Gener E (Estacionamiento) por diferentes sectores del viento, con actividades de descarga (izq.) y sin actividades de descarga (der.). Los valores negativos (terminando dentro de área marcado con amarillo) significan niveles mayores en la estación Gener E (Estacionamiento).

Se repite en la Fig. 5.10 el mismo análisis de niveles promedio para diferentes direcciones del viento, pero esta vez para BC. Se puede notar en las dos figuras al tope de Fig. 5.10 que para ambas estaciones Gener O y Gener E los niveles de BC son más altos para vientos del oriente, es decir con vientos originando en el interior y saliendo hacia el mar.

Las dos gráficas abajo muestran la diferencia entre los niveles de BC en Gener O y Gener E. Es posible asumir que el manejo del carbón en la cancha presenta el potencial de generación de MP10 rico en carbono elemental si la estabilización es subóptima, lo cual debe registrarse en los sensores ópticos en forma similar a lo que sucede con carbón negro (BC) que normalmente registramos en ciudades y que tiene su origen en emisiones por combustión, principalmente vehículos diesel. Por lo tanto, un impacto del manejo de carbón debe verse como niveles más altos en Gener O para vientos del oriente y el contrario, niveles de BC más altos en Gener E para vientos del occidente.

Esto es exactamente lo que se puede ver en las diferencias de BC registradas (figuras abajo). Se puede notar en las dos gráficas que con la operación de descarga con vientos del occidente, se ve una diferencia más negativa (dentro del área amarilla) que durante condiciones sin descarga/manejo de carbón. La magnitud de esta diferencia se ve, para algún sector, hasta $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la cual indica el tamaño que tiene el manejo de carbón en la cancha AES sobre el área exterior. Esta diferencia con niveles más altos en Gener E comparado con Gener O se ve mejor ya que con vientos del occidente los niveles background de BC en el aire es bajo. Para vientos de oriente se superpone un impacto de otras fuentes, por ejemplo el tránsito que pasa muy cerca a Gener E y que pueden variar según las condiciones de mezcla, haciendo más difícil la interpretación de las diferencias en BC.

El análisis permite concluir que el impacto sobre los niveles BC de la descarga de carbón puede ser del orden de magnitud $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como promedio en zonas directamente fuera de la cancha.

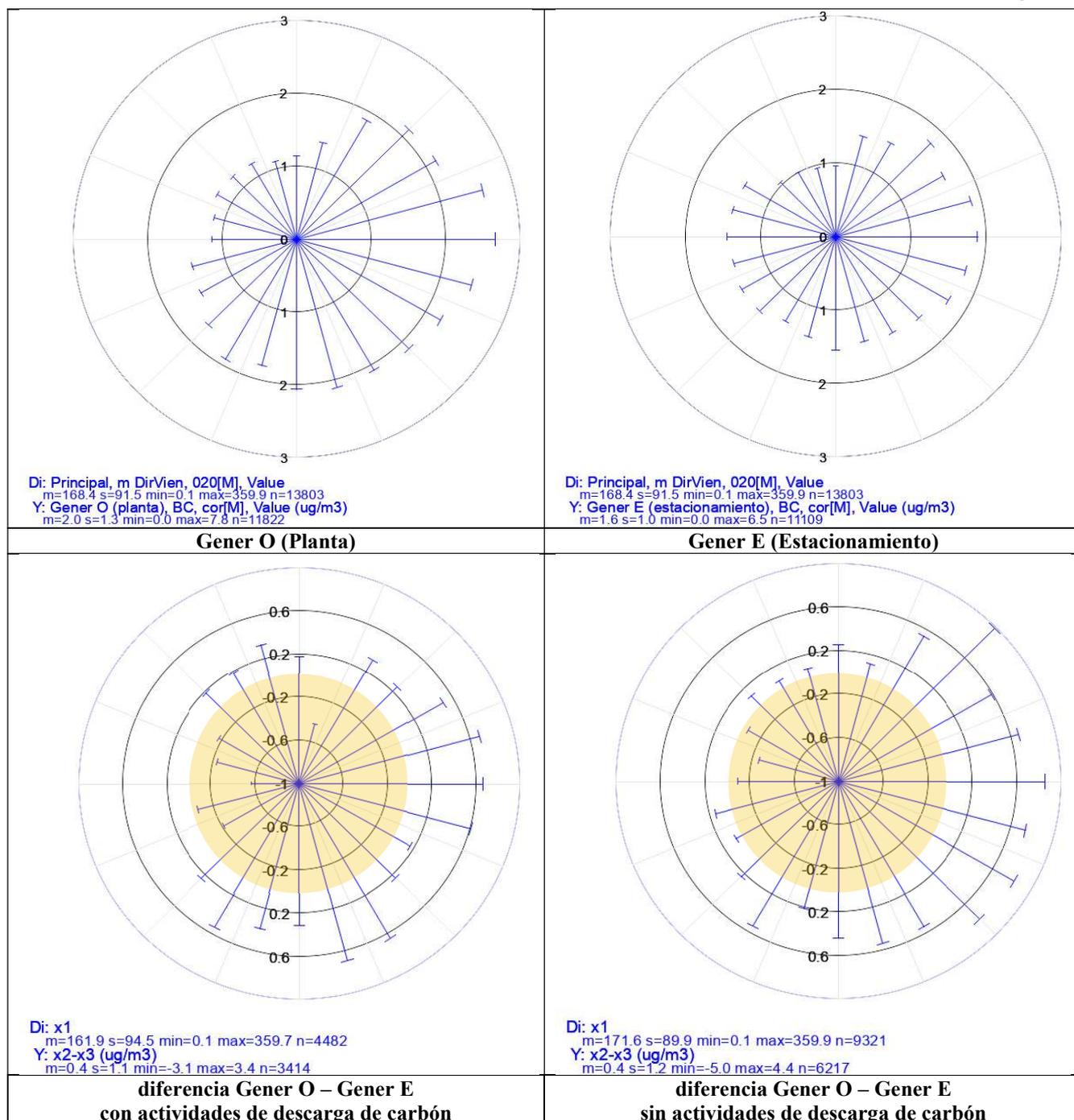


Fig. 5.10 Niveles promedio de BC por diferentes sectores del viento, como registrado en la torre Principal 20 m (arriba). Niveles de la diferencia entre Gener O y Gener E, durante periodos con descarga de carbón (izq., abajo) y sin descarga de carbón (der., abajo). Unidad: $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Periodo: 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.

En el análisis presentado en la Tabla 5.3 se han separado los resultados del monitoreo durante los dos casos con vientos del sector SSW-WNW y del sector NE-SE, según la rosa de vientos en la Fig. 5.5. Hemos analizado las concentraciones registradas bajo tres criterios:

1. Solamente requiriendo que la dirección del viento está entre uno de los dos sectores (del occidente o del oriente).
2. Adicionalmente requiriendo la descarga de carbón en AES (según la información SOF.).
3. Adicionalmente requiriendo la ausencia de actividades de descarga de carbón en AES (es decir el complemento al caso 2).

Para el caso 1 vemos, igual que la interpretación anterior basada en las Fig. 5.6 y 5.7, los niveles mayores en Gener O, para tanto vientos del occidente como del oriente, pero la diferencia siendo más acentuada para los vientos del occidente.

Al comparar los casos 2 y 3 para vientos de occidente (SSW-WNW), con y sin actividades de descarga de carbón, vemos que los niveles registrados en ambas estaciones son más altos para los períodos donde no hay actividades de descarga. Esto indica que tampoco puede ser la descarga de carbón del barco en sitio 5 y el transporte del carbón por la correa hacia el terreno de AES que están detrás de los niveles altos registrados. Con vientos de SSW-WNW se esperaría, si el manejo del carbón dentro del terreno AES tenga una contribución a los niveles de material particulado, un nivel más alto en Gener E, en comparación con Gener O. Para el caso 2 – con operaciones de descarga – se puede constatar que sí el carbón negro sale algo más alto ($<0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero los niveles de MP10 y MP2.5 siguen más altos en Gener O. Es decir, no podemos excluir una cierta contribución de material particulado causada por las operaciones dentro de la cancha de carbón, no detectables en MP10 y MP2.5, pero posiblemente en los niveles de carbón negro óptico.

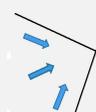
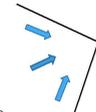
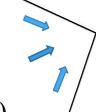
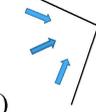
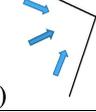
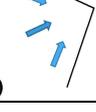
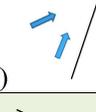
Analizando el caso con vientos del oriente (NE-SE), se espera para contribuciones mayores del manejo de carbón en AES, niveles mayores en Gener O. Esto sí es el caso para MP10 y BC, pero no para MP2.5. El problema es que cuando uno compara el caso 2 y 3 para vientos del oriente, se encuentran niveles MP10 más altos para el caso sin operaciones en AES. Es decir, es posible un cierto impacto, en línea con el aumento del nivel de BC, pero para MP10 el impacto de actividades en la cancha de carbón está escondido detrás del impacto de otras actividades, posiblemente generadas dentro del terreno AES. Para MP2.5 tenemos el tránsito vehicular en la vía pasando cerca a Gener E, el cual que puede explicar los niveles más altos en esta estación.

Tabla 5.3 Niveles registrados de MP10, MP2.5 y BC durante el período 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.

viento	critério	Gener O	Gener E	dif O - E	La Greda	Ventanas
a)	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación Principal 20 m (32% del período)	74.9 20.9 1.51	35.7 15.3 1.41	39.2 5.7 0.09	45.5 16.3	50.1 17.1
b)	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación Principal 20 m y AES operando con descarga (9% del período)	59.0 16.1 1.29	30.2 12.8 1.34	28.9 3.3 -0.07	37.1 13.9	45.5 15.7
c)	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación Principal 20 m y AES sin operar con descarga (23% del período)	80.9 22.8 1.61	37.8 16.2 1.44	43.2 6.6 0.16	48.7 17.2	52.6 17.7
d)	Dirección del viento entre 45 a 135 grados en la estación Principal 20 m (42% del período)	49.1 15.5 2.51	34.9 16.6 1.82	14.2 -1.1 0.69	34.2 19.9	42.0 17.0
e)	Dirección del viento entre 45 a 135 grados en la estación Principal 20 m y AES operando con descarga (16% del período)	41.4 13.3 2.40	32.4 15.3 1.79	9.0 -2.0 0.61	34.3 18.7	37.7 14.7
f)	Dirección del viento entre 45 a 135 grados en la estación Principal 20 m y AES sin operar con descarga (26% del período)	53.9 16.8 2.59	36.5 17.4 1.84	17.5 -0.6 0.74	34.2 20.6	44.6 18.4

Hasta ahora hemos estudiado los casos con/sin descarga de carbón. Utilizando la información “Line-Up” ha sido posible ubicar, aunque con menos detalle, otras actividades de carga/descarga en el puerto (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Niveles registrados de MP10, MP2.5 y BC durante el período 23 de julio a 8 de septiembre, 2019.

viento	critério	Gener O
a) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> (32% del período)	74.9 20.9 1.51
b) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con operaciones en PVSA sitio 2 de concentrados (16% del período)	73.7 21.0 1.70
c) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con operaciones en PVSA sitio 3 de concentrados (6% del período)	72.6 20.1 1.61
d) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con operaciones en PVSA sitio 3 de petcoke (3% del período)	83.1 26.2 2.17
e) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con operaciones en PVSA sitio 3 de trigo (4% del período)	55.7 15.1 1.37
f) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con operaciones en PVSA sitio 5 de clinker (8% del período)	81.1 25.1 1.97
g) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con operaciones en PVSA sitio 5 de trigo (4% del período)	75.1 18.9 0.95
h) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y con alguna operación en PVSA (25% del período)	72.1 20.3 1.59
i) 	Dirección del viento entre 202.5 a 295.5 grados en la estación <i>Principal 20 m</i> y sin operaciones en el puerto (7% del período)	85.6 23.4 1.12

En la Tabla 5.4 se muestran los niveles en Gener O con vientos de occidente (repetiendo en a) el promedio para todos los 5 minutos con vientos en este sector) y como criterio adicional las diferentes actividades identificadas (b-g). Se puede notar indicaciones de aumento de los niveles MP10, por encima de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuando se carga/descarga petcoke en sitio 3 y clinker en sitio 5. Sin embargo, la duración de las actividades es, especialmente para la de petcoke, corta y puede ser otros factores como por ejemplo las condiciones de dilución (meteorología), generación de sales marinas y niveles background que están afectando los niveles registrados.

Al final de la Tabla 5.4 se ha comparado los niveles durante el tiempo de ninguna actividad reportada en el puerto (tampoco descarga de carbón AES), con los niveles registrados durante algún o varias actividades de descarga. Salen mayores los niveles MP10 y MP2.5 cuando no se opera en el puerto.

Este último resultado contribuye a la hipótesis de que sea la velocidad del viento que afecta a los niveles, esto ya que se cancelan las operaciones en el puerto cuando la velocidad del viento es alta. En la Fig. 5.11 se muestra la relación entre la velocidad máxima durante un minuto registrado en la Torre Principal 40 m y los niveles registrados como promedio de 5 minutos. Como se puede ver no se aprecia una relación entre velocidades máximas y concentraciones máximas.

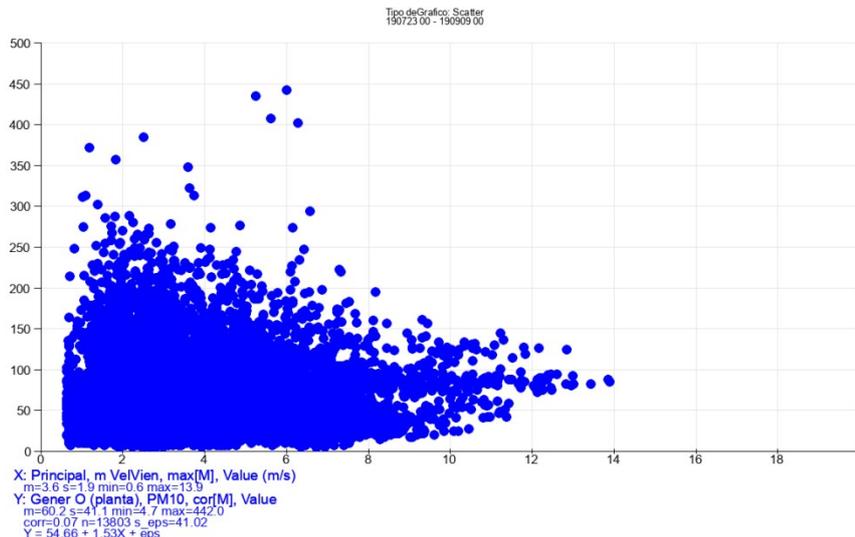


Fig. 5.11 Relación entre la velocidad máxima durante 5 minutos (registrado como promedio de un minuto) en el eje x y las concentraciones promedio 5 minutos de MP10 en Gener O.

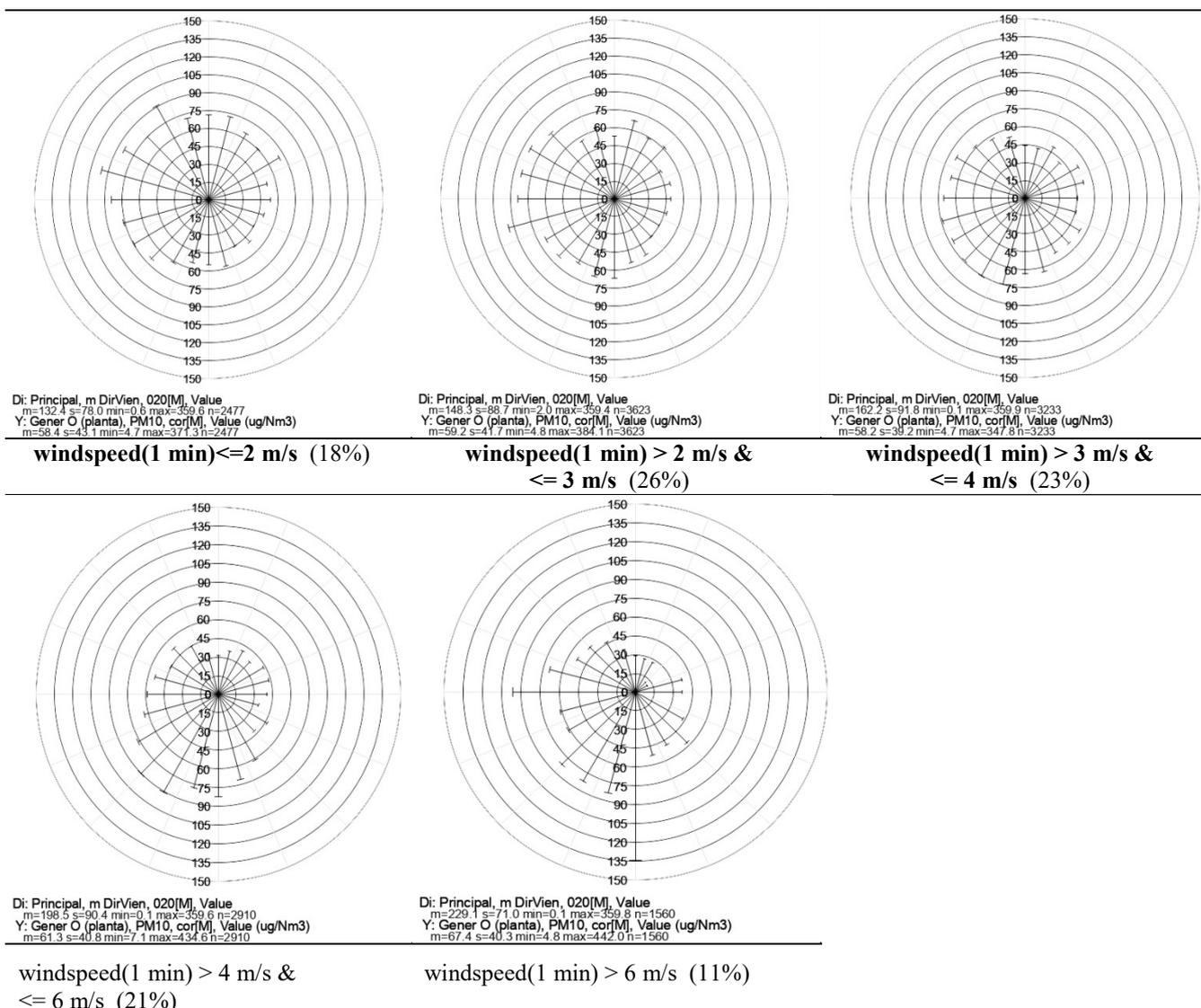


Fig. 5.12 Niveles promedio de MP10 en Gener O (Planta) como función de diferentes sectores de la dirección del viento en la Torre Principal 20 m, separados por la velocidad del viento (máxima velocidad promedio 1 minuto).

En la Fig. 5.12 se repiten el gráfico mostrando el promedio de MP10 en Gener O para cada sector del viento, sin embargo esta vez separando los datos según la velocidad máxima del viento durante un minuto. Tampoco acá es posible concluir sobre el efecto del viento. Niveles > 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ son registrados para todos los casos menos el caso de vientos entre 3 y 4 m/s. Sin embargo, el promedio de MP10 en Gener O con vientos > 6 m/s es un poco más alto (5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) que para vientos más suaves.

El motivo detrás de la Fig. 5.13 es de tratar de ver si se puede ver en los niveles registrados algún impacto de las camiones que transportan cal y ceniza. Ellos operan durante el día (ver Fig. 4.2). El impacto de la actividad “Romana” se esperaría, para Gener O (Planta), ver principalmente como un aumento para vientos del sector oriente. Para Gener E (Estacionamiento) lo contrario, un impacto aparecería para vientos del occidente. La Fig. 4.12 confirman niveles algo más altos en Gener O durante vientos del oriente y en Gener E lo mismo para vientos del occidente. Sin embargo, no es posible concluir sobre la causalidad, ya que se ha visto en la Fig. 5.4 (arriba, izq.) que los niveles MP10, en general, están más altos durante el día, es decir cuando se ven la actividad “Romana”. Por ejemplo la velocidad del viento, que produce el oleaje y la producción de burbujas de sales marinas, es más alta durante el día.

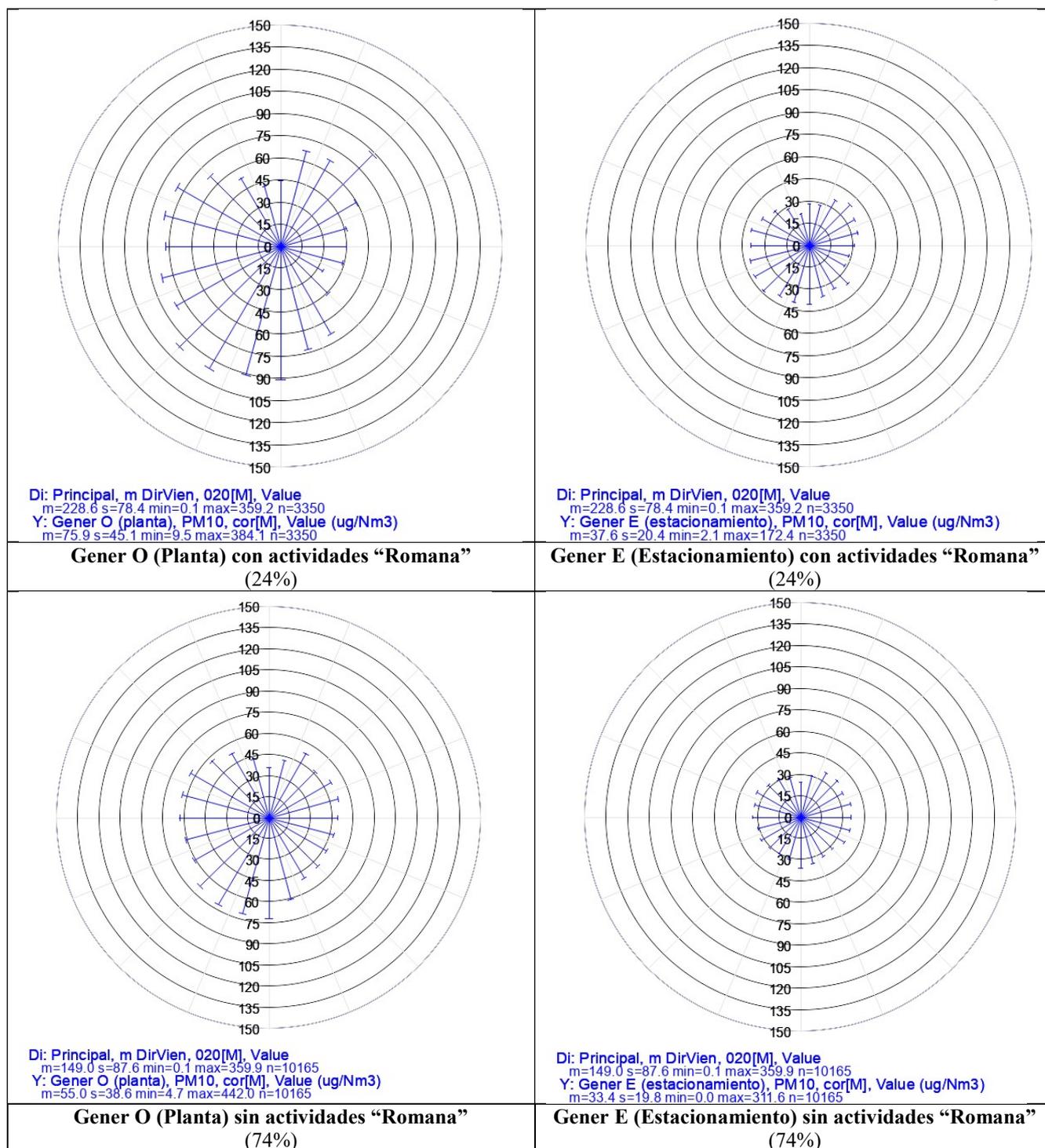


Fig. 5.13 Niveles promedio de MP10 por diferentes sectores del viento (Principal 20m), con y sin actividades de transporte de cal y ceniza, según documentación “Romana”. **A notar:** Del día 31 de julio falta información de las horas de inicio, por eso los porcentajes no suman a 100% del periodo analizado).

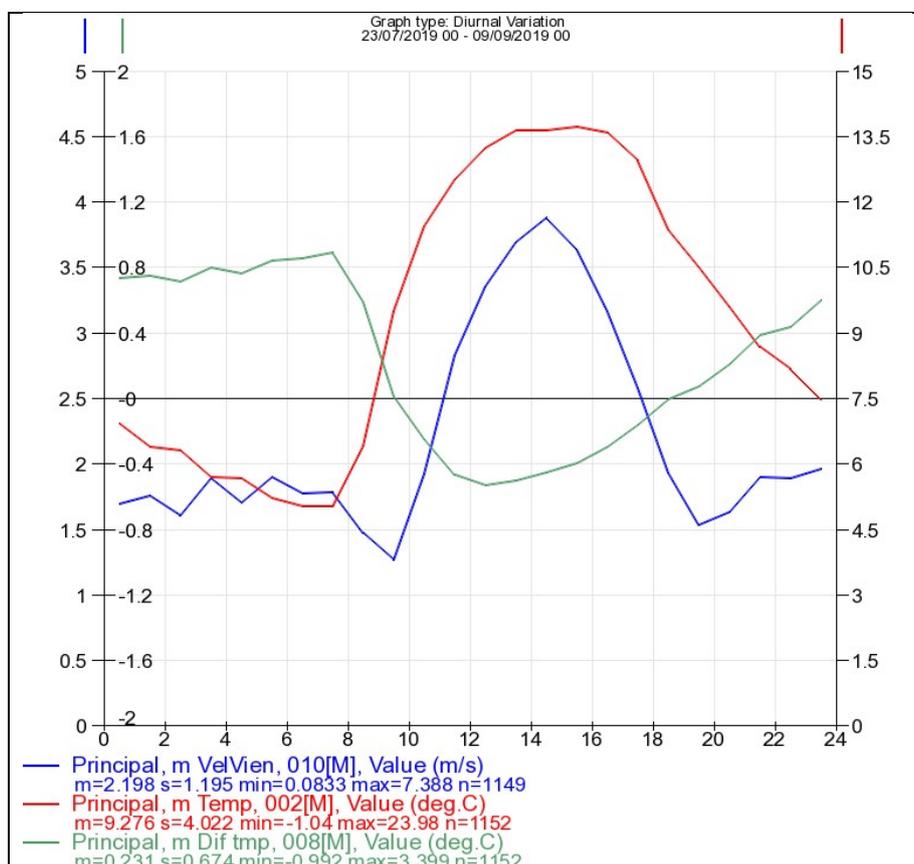
6 Modelación

Se ha realizado una simulación de una fuente de emisión cubriendo el área de la cancha de carbón, con una evaluación subsiguiente del impacto sobre las cuatro estaciones cercanas Gener O, Gener E, La Greda y Ventanas. La fuente se describe como una fuente fija (puntual) con un diámetro de 240 m y una altura de 18 m. Las emisiones saliendo de esta “chimenea ancha” tienen una temperatura de 20 °C y una velocidad vertical de 1m/s, o sea valores muy bajos para evitar un levantamiento dinámico de las emisiones. Se introdujo una emisión tentativa de 6 toneladas de material particulado por año, un valor estimado por MMA (Tabla 1 del DS105 “Inventario de emisiones para la zona saturada de Concón, Quintero y Puchuncavi”). Esto para evaluar si la emisión estimada por MMA es consistente con las concentraciones registradas durante la campaña de monitoreo.

La información meteorológica utilizada como datos de entrada al modelo fue tomada de la torre Principal. Las variables que gobiernan la estabilidad de la capa superficial y las condiciones de dilución, la velocidad del viento y el gradiente vertical de la temperatura (la diferencia entre 8 y 2 m de altura) tienen una variación diurna marcada, ver Fig. 6.1. Típicamente se ven, durante estos meses de invierno, condiciones estables (poca mezcla vertical) entre las 19:00 horas de la noche hasta las 09:00 horas de la mañana y condiciones neutrales o inestables (buena mezcla vertical) durante el día.

Fig. 6.1
Información meteorológica utilizada para la modelación, tomados de la Torre Principal.

- Velocidad: 10m (azul)
- Temperatura: 2m (rojo)
- Gradiente de la temperatura entre 8 a 2 m (verde)



El impacto promedio de emisiones de 6 toneladas emitidas de la cancha de carbón en forma contante durante el período 23 de julio a 8 de septiembre está ilustrado en la Fig. 6.2a. Sin embargo, se debe pensar que las emisiones tienen una variación temporal que se relaciona con la actividad de descarga del carbón y la operación de vehículos/maquinaria en la planta. En la Fig. 6.2b se muestra el impacto de emisiones de la cancha de carbón, suponiendo que las emisiones solamente ocurren durante las actividades de descarga de carbón. La diferencia en el impacto promedio es pequeña entre los dos casos sin y con una variación temporal, pero los niveles son algo más altos al suponer emisiones solamente durante la descarga.

Fig. 6.2a
Impacto promedio durante 23 de julio – 8 de septiembre 2019 para una emisión constante de 6 toneladas/año, saliendo por una chimenea de 18 m de altura.

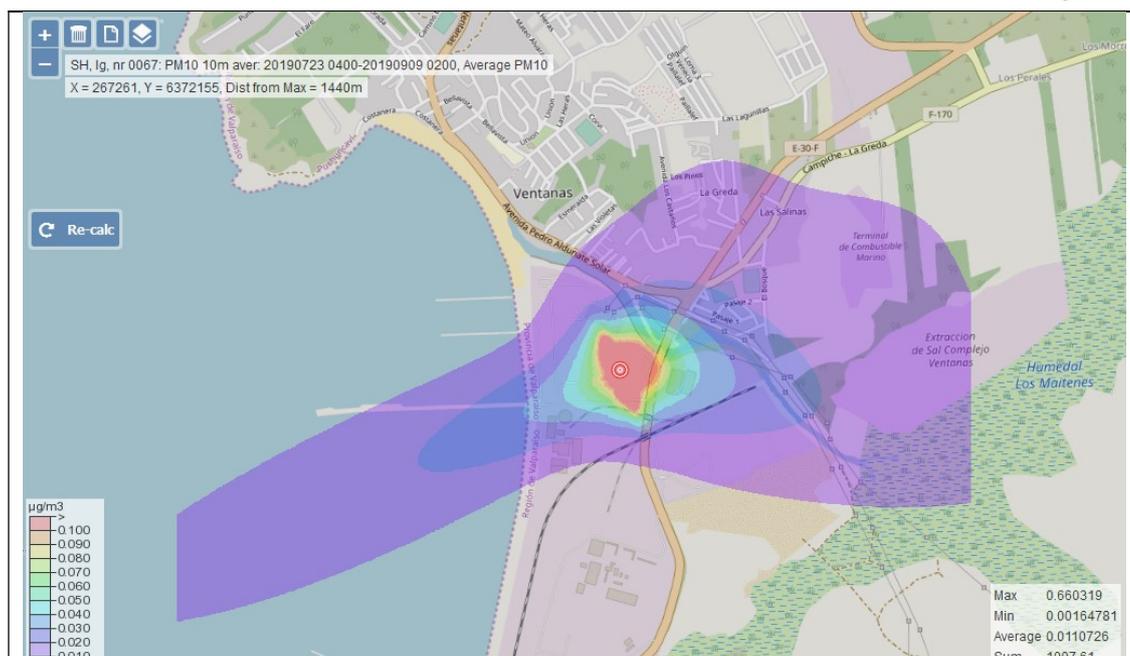
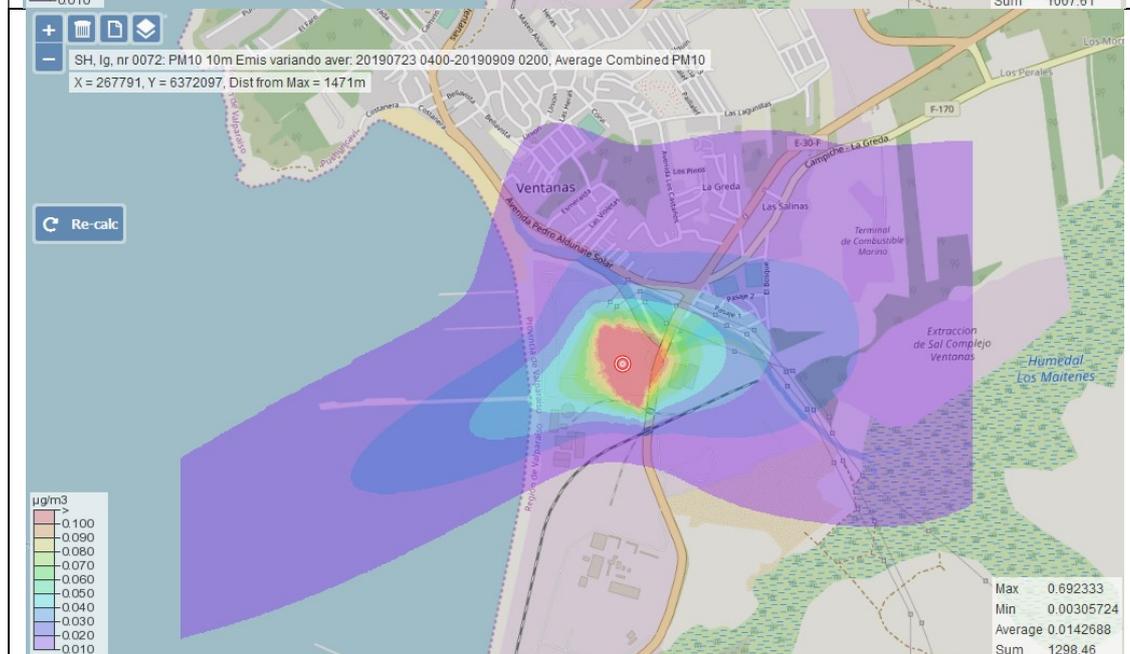


Fig. 6.2b
Impacto promedio durante 23 de julio – 8 de septiembre 2019 para una emisión durante actividades de descarga de carbón, sumando a 6 toneladas/año, saliendo por una chimenea de 18 m de altura.



Con la emisión de 6 toneladas/año, emitida a la atmósfera desde la cancha de carbón durante actividades de descarga, el impacto promedio para todo el período entre el 23 de julio y el 8 de septiembre, simulado por el modelo en Gener O es $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en Gener E es $0.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

El análisis de los niveles BC en Fig. 5.10 mostró que con vientos de occidente (del mar hacia el continente), los niveles de BC en Gener O son bajos, con niveles algo más altos en Gener E. En todas las figuras asociadas a las diferencias en niveles entre Gener O y Gener E, dónde más posibilidad de ver un impacto generado por emisiones en la cancha de carbón fue este caso. En la Fig. 6.3 se compara el resultado del modelo con la diferencia registrada en niveles BC entre Gener E y Gener O. Para reducir el impacto de factores no relevantes, se utilizan los criterios siguientes para esta comparación:

- Solamente horas con direcciones del viento en el sector 225 – 292.5 grados (SW – NWN)
- Solamente períodos con descarga de carbón
- Solamente para horas donde la concentración de BC en Gener E está mayor a la de Gener O (es decir se puede pensar que haya un impacto de emisiones en la cancha que está ubicada entre las dos estaciones). Aproximadamente 2/3 de las horas cumplen con este requisito.

Si se asume que el polvo levantado en la cancha de carbón implica concentraciones de BC cercanas a las de MP10, es decir que el polvo es muy negro (principalmente carbón elemental) y absorbiendo la luz en el monitor BC, parece posible que los niveles simulados puedan ser consistentes con el monitoreo, ver la Fig. 6.3. La comparación tiene una precisión bastante limitada, por una parte porque el impacto de la cancha registrado por las diferencias BC es baja y difícil de separar ($<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$); y además solamente facilita un punto exterior a la cancha. Por otra parte existen incertidumbres en los resultados del modelo ya que la cancha, con su maya de 18 m de altura y su gran tamaño horizontal, no es fácil de simular en un modelo Gaussiano diseñado para mostrar el impacto de fuentes fijas tipo chimeneas normales. Por lo tanto la conclusión que se puede hacer es que la comparación muestra que la emisión estimada por la autoridad parece consistente con los resultados de monitoreo de esta campaña. En este caso el significado de consistente es que las emisiones de la cancha de carbón está en el orden de magnitud de lo estimado por la autoridad (6 toneladas/año).

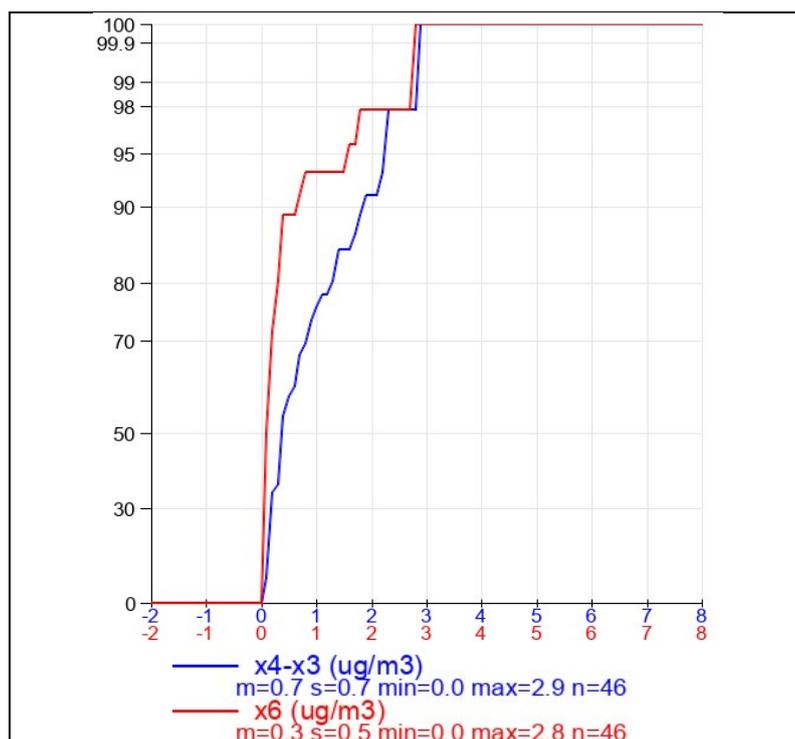


Fig. 6.3 Distribución de frecuencias de concentraciones BC, comparando las diferencias entre Gener E y Gener O (azul) y los niveles simulados en Gener E (rojo). La simulación realizada con una emisión de 6 toneladas/año, emitidas por una chimenea con diámetro de 240 m y una altura de 18 m, todo para períodos con descarga de carbón y vientos del sector 225-292.5 grados (SW-WNW). También se han eliminado las horas donde los niveles BC en Gener O son superiores a los en Gener E.

Como un ensayo de sensibilidad del modelo, también se ha realizado otra simulación donde se describen las mismas emisiones (6 toneladas/año) de la cancha de carbón como una fuente de área al nivel del suelo. Esto no es una descripción de las emisiones potenciales de la cancha de carbón con realismo, pero se lo hace para cuantificar un impacto teórico como tope en un rango de impactos. El impacto promedio sale $7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Gener O y $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Gener E. La razón por el valor alto hacia el oeste (Gener O) es que las situaciones con una dirección del viento del sector oriente están asociadas a condiciones meteorológicas típicas para la noche, o sea estables con una velocidad del viento baja y poca turbulencia/dispersión. Contaminantes emitidas por una fuente cerca a la superficie no van a ser diluidos bajo estas condiciones. En la Fig. 6.4a se puede notar que los niveles máximos simulados salen mucho fuera de lo registrado y es necesario bajar las emisiones a 10% (0.6 toneladas/año) para llevarlos al orden de magnitud de lo registrado (Fig. 6.4b).

Es importante repetir que estos resultados en Gener O no deben verse probables, ya que en la realidad las emisiones ocurren en una altura de 18 m y bajo condiciones bastante turbulentas (influencia de las estructuras en la planta y el calor asociado a la planta y las pilas de carbón). El ensayo de sensibilidad ha mostrado que la maya de 18 m que está encerrando las pilas de carbón, no solamente tiene un efecto de disminuir el riesgo de que el viento levanta el polvo, sino también ayuda a llevar las emisiones potenciales de la cancha a ser

emitidas a un nivel más alto, contribuyendo a mejorar su dispersión inicial y evitando niveles altos en zonas exteriores durante condiciones estables/nocturnos.

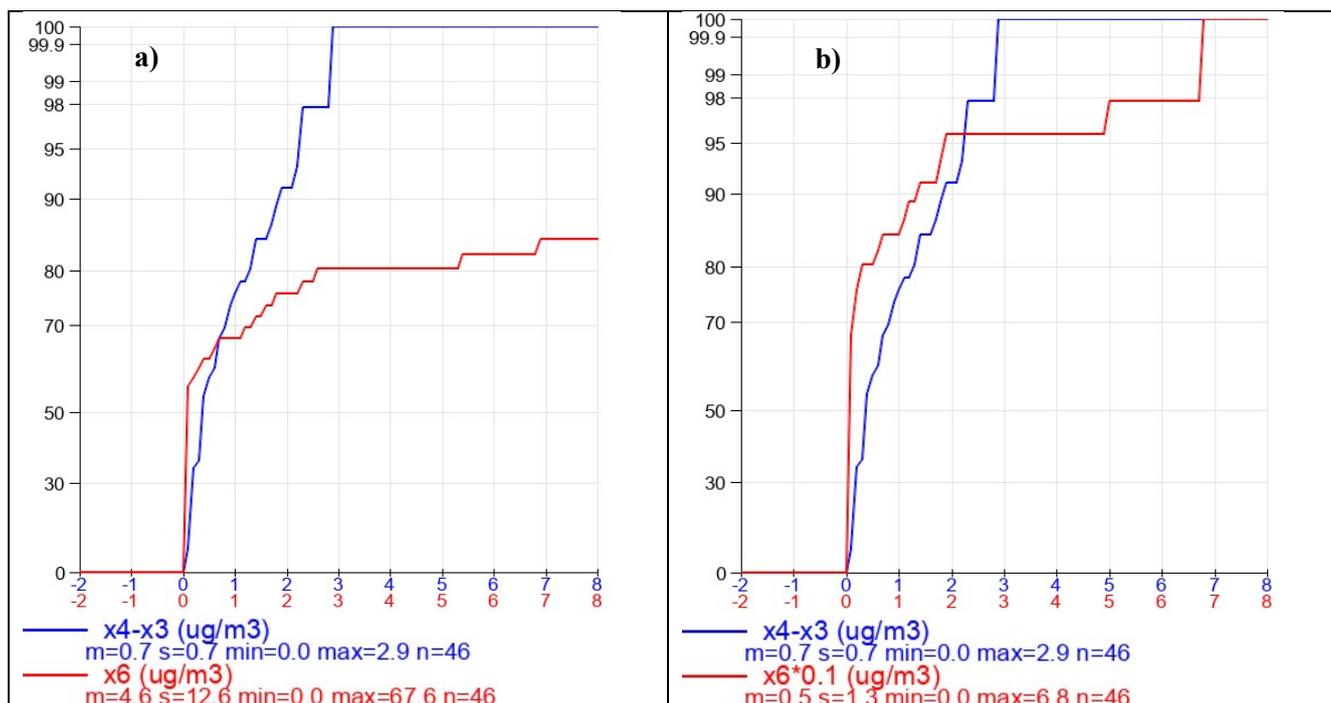


Fig. 6.4 Distribución de frecuencias de concentraciones BC, comparando las diferencias entre Gener E y Gener O (azul) y los niveles simulados en Gener E (rojo). La simulación realizada con una emisión de 6 toneladas/año, emitidas como una fuente de área al nivel del suelo, todo para periodos con descarga de carbón y vientos del sector 235-292.5 grados (SW-WNW). También se han eliminado las horas donde los niveles BC en Gener O son superiores a los en Gener E. En b) se supone una emisión un orden de magnitud inferior, 10% (afecta la línea roja).

7 Episodios con niveles extremos

La Fig. 7.1 muestra un ejemplo de las variaciones temporales encontradas durante la campaña de monitoreo. Como indicado en la Tabla 5.1, se registraron niveles extremos de MP10 y MP2.5 más altos en Gener O y Gener E, en comparación con las estaciones de monitoreo de la red fija.

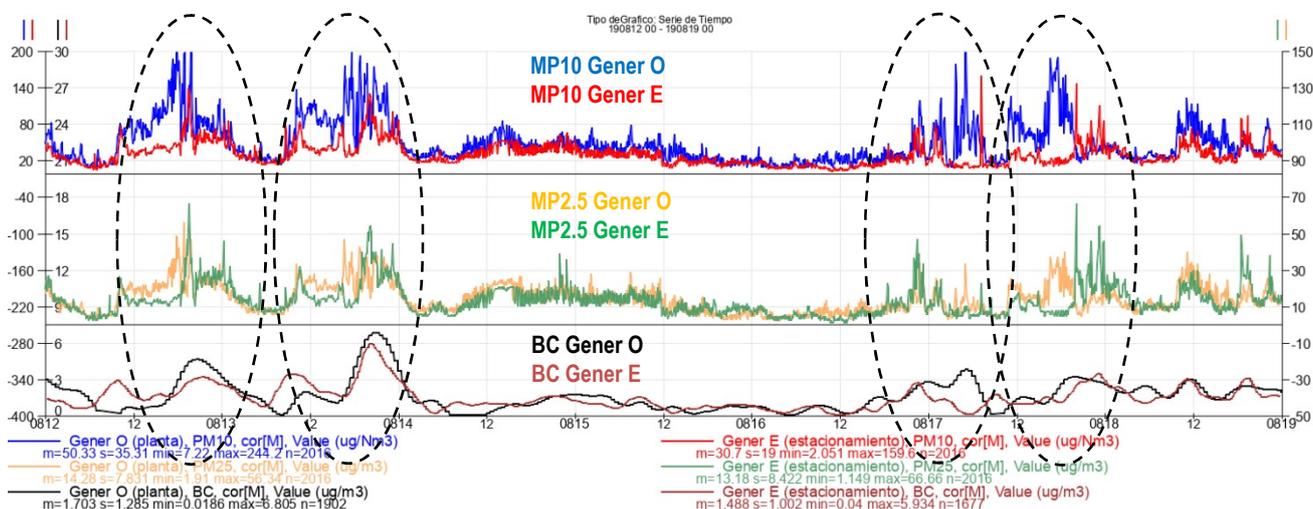


Fig. 7.1 Series temporales de datos promedio 5 minutos (para BC 15-30 minutos) entre 12 a 18 de agosto, 2019, ejemplificando eventos (episodios) con niveles altos.

En las Tablas 7.1-3 se muestran las condiciones en las dos estaciones Gener O y Gener E, junto con La Greda, durante eventos de corta duración de niveles altos en MP10 (>200 o $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$), MP2.5 ($>50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y BC ($>5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Comentarios a la Tabla 7.1 sobre los eventos con niveles altos de MP10 en Gener O y Gener E:

- Se observan eventos de 5 minutos de MP10 en Gener O cuatro veces más altos y en Gener E el doble de los observados en la estación La Greda. Estas diferencias a los niveles registrados en las zonas residenciales en Ventanas, indican impactos de fuentes locales en Gener O y Gener E de fuentes que tienen un impacto espacialmente limitado.
- Con niveles MP10 muy altos en Gener O, también se ven niveles altos en Gener E. El impacto tiene una relación baja de partículas finas, especialmente en Gener O. El hecho de que la rosa de vientos en Gener O muestra una mezcla de vientos desde occidente y desde oriente, indica que no es solamente las sales marinas que producen los niveles altos allí, sino también a la existencia de una fuente local de MP10 que genera niveles altos también para vientos del oriente. Esta fuente podría ser la cancha de carbón, sin embargo, los niveles altos en Gener O no coinciden temporalmente con la descarga de carbón, por lo tanto, parece más probable que se trata de algo generado muy cerca a la estación Gener O cuyo impacto está muy limitado en forma espacial (no afectando a zonas exteriores de la planta).
- Con niveles de MP10 muy altos en Gener E, se encuentran niveles bastante bajos en Gener O. Para vientos del occidente, esto puede ser un resultado de un impacto de la cancha de carbón. Sin embargo, durante los mayores casos con niveles altos en Gener E se ven vientos del oriente. Esto indica que hay fuentes locales en ambos lados de Gener E, que pueden producir niveles $> 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con una fracción MP2.5 relativamente alta, alrededor de la mitad de la masa. Normalmente, se relaciona una fracción mayor de MP2.5 a la existencia de fuentes de combustión, lo que refrenda el impacto marginal de la cancha y la consistencia de impedimento de la dispersión de material particulado hacia el exterior de la instalación.

Tabla 7.1 Niveles promedio y número de eventos promedio 5 minutos (*n*, de un total de ~13800) durante episodios extremos de MP10: >200 µg/m³ en Gener O y >100 µg/m³ en Gener E. A la derecha al rosa de vientos durante estos episodios.

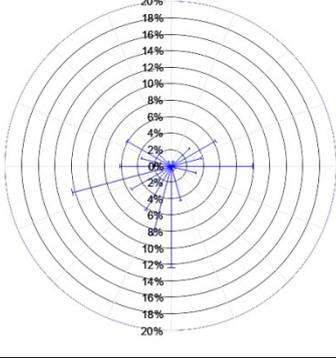
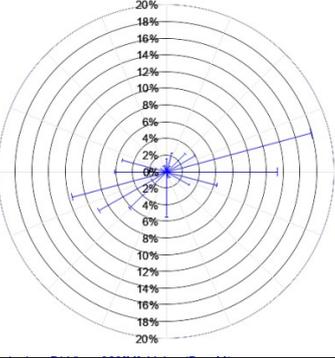
		>200 (O)	>100 (E)	>200 (Gener O)	>100 (Gener E)
MP10	Gener O	240.1	108.1		
	Gener E	55.5	122.1		
	La Greda	60.3	67.9		
MP2.5	Gener O	54.2	33.7		
	Gener E	22.7	58.0		
	La Greda	20.0	26.3		
BC	Gener O	2.8	3.7		
	Gener E	1.9	3.3		
MP2.5/MP10	Gener O	23%	33%		
	Gener E	41%	48%		
	La Greda	33%	39%		
n total MP10 y MP2.5		162	121		
n con descarga carbón		14	48		
n total BC		135	121		
n con descarga carbón		14	48		

Tabla 7.2 Niveles promedio y número de eventos promedio 5 minutos (*n*, de un total de ~13800) durante episodios extremos de MP2.5: >50 µg/m³ en Gener O y >50 µg/m³ en Gener E.

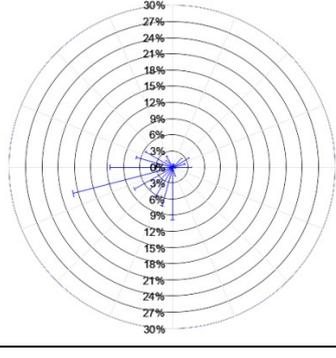
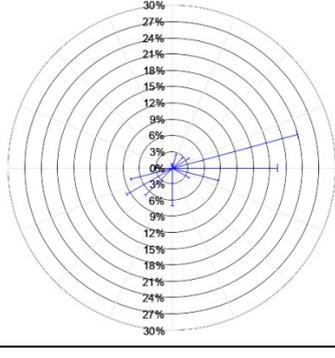
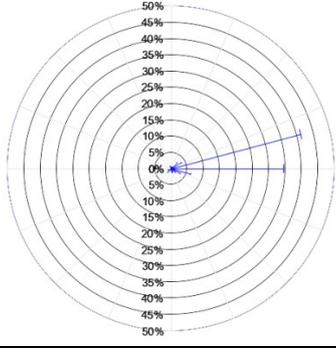
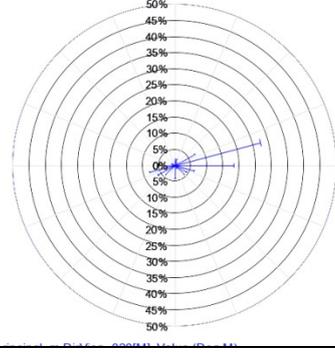
		>50 (O)	>50 (E)	>50 (Gener O)	>50 (Gener E)
MP10	Gener O	212.4	80.0		
	Gener E	64.6	118.2		
	La Greda	63.9	67.7		
MP2.5	Gener O	60.4	26.4		
	Gener E	27.6	63.6		
	La Greda	21.6	29.0		
BC	Gener O	2.4	4.0		
	Gener E	2.2	3.5		
MP2.5/MP10	Gener O	28%	33%		
	Gener E	43%	54%		
	La Greda	34%	43%		
n total MP10 y MP2.5		174	114		
n con descarga carbón		8	49		
n total BC		148	108		
n con descarga carbón		8	48		

Tabla 7.3 Niveles promedio y número de eventos promedio 5 minutos (*n*, de un total de ~13800) durante episodios extremos de BC: >5 µg/m³ en Gener O y >5 µg/m³ en Gener E.

		>5 (O)	>5 (E)	>5 (Gener O)	>5 (Gener E)
MP10	Gener O	82.3	81.8		
	Gener E	62.8	71.9		
	La Greda	62.3	71.1		
MP2.5	Gener O	25.8	24.0		
	Gener E	31.6	33.8		
	La Greda	32.4	24.1		
BC	Gener O	5.9	5.0		
	Gener E	3.4	5.5		
MP2.5/MP10	Gener O	31%	29%		
	Gener E	50%	47%		
	La Greda	52%	34%		
n total MP10 y MP2.5		330	99		
n con descarga carbón		117	62		
n total BC		276	91		
n con descarga carbón		99	62		

Comentarios a la Tabla 7.2 sobre los eventos con niveles altos de MP2.5 en Gener O y Gener E:

- a) En esta tabla se puede ver claramente que las fuentes contribuyendo con niveles altos en MP2.5 no son las mismas y tampoco se relacionan con las actividades en la cancha de carbón, esto ya que:
 - Las rosas de vientos indican fuentes de MP2.5 alto desde el occidente (desde el mar) en Gener O y desde el oriente (desde el interior) en Gener E.
 - Con niveles muy altos en Gener O (y vientos principalmente del occidente), los niveles de MP2.5 son mucho más bajos en Gener E (aunque por encima del promedio total en Tabla 5.1).
 - Con niveles altos en Gener E (y vientos principalmente del oriente), los niveles de MP2.5 son mucho más bajos en Gener O (aunque por encima del promedio total en Tabla 5.1).

Comentarios a la Tabla 7.3 sobre los eventos con niveles altos de BC en Gener O y Gener E:

- b) En Gener O el impacto de niveles altos de BC ocurren solamente para vientos del oriente, junto con niveles modestamente elevados de MP10 y MP2.5. Puede ser posible que una pequeña parte de este impacto proviene del manejo de carbón en la cancha AES.
- c) En Gener E el impacto de niveles altos de BC también ocurren con vientos del oriente, pero existen también un cierto impacto con vientos del occidente. Es posible que el último impacto, en tiempo de menor duración, provienen del manejo de carbón en la cancha AES.
- d) Con todo, se trata de un efecto acotado, de manera que optimizaciones simples en la gestión de graneles son consistentes con el impedimento de la dispersión de material particulado hacia el exterior de la instalación.

8 Causas de los niveles altos de MP10 en Gener O

Se ha observado niveles altos de MP10 en la estación Gener O, tanto como promedio y como concentraciones extremas durante 5 minutos. Una gran parte de este impacto es posible culpar a sales marinas, que, por causa de las distancias a la playa del mar, afectan más a Gener O que a Gener E. El impacto de las sales marinas se esperan ocurrir durante condiciones con vientos del occidente. Sin embargo, tanto en la Sección 5 (análisis de niveles promedio) como en la Sección 7 (mirando eventos extremos) se observan impactos altos también para vientos del oriente, lo cual indica una fuente de MP10 dentro de la zona industrial que necesariamente no sea la cancha de carbón misma (aunque esta posibilidad existe). A continuación se va discutiendo estas observaciones en Gener O.

8.1 Niveles promedio de MP10

Se muestra en la Fig. 5.6 que el promedio de MP10 en Gener O (Planta) es superior al promedio de Gener E (Estacionamiento) con vientos del oriente, la diferencia siendo alrededor de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (la comparación realizada sin considerar las actividades de descarga). Considerando una fuente de MP10 en la cancha de AES, esto podría explicar la diferencia. Sin embargo, contra la interpretación de que sea una fuente significativa en la cancha se ven dos observaciones:

- a) Para vientos del suroccidente, una fuente significativa en la cancha de AES debería contribuir a un aumento similar de $5\text{-}15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Gener E, ya que esta estación está localizada a la misma distancia de la cancha que Gener O. Sin embargo, según la Fig. 5.6 no se puede observar ningún aumento significativo en los niveles MP10 de Gener E para vientos del suroccidente (la comparación realizada sin considerar las actividades de descarga).
- b) Al introducir las actividades de descarga, se puede ver por comparación de los dos diagramas de Fig. 5.7, que la diferencia entre Gener O y Gener E, con vientos de oriente, es mayor durante períodos sin descarga/manejo de carbón. Lo mismo está indicado en la Tabla 5.3, comparando los datos en la columna “dif O-E” para MP10 con descarga (Tabla 5.3e indicando $9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y sin descarga (Tabla 5.3f indicando $17.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Esto contradice la hipótesis de que sea el manejo de los graneles durante la descarga que genera el impacto.

Es importante notar que existen actividades/manejo de graneles en la cancha AES que son continuas, ocurriendo sin y con descarga y que pueden producir cierto impacto sobre los niveles MP10 en vecindad de la planta. Sin embargo, no debe ser posible que contribuyen a diferencias más altas durante períodos sin descarga, en comparación con períodos de descarga que incluyen muchas más actividades manejando el carbón.

8.2 Niveles extremos de MP10

Tanto Gener O como Gener E muestran niveles extremos de MP10 superiores a las otras estaciones de monitoreo en la vecindad. Los niveles máximos de Gener O son aproximadamente el doble de los niveles máximos de Gener E, lo cual para vientos de occidente se puede pensar en un efecto acentuado de sales marinas. Sin embargo, también se registran niveles altos $>200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con vientos de oriente en Gener O, sin tener niveles muy altos en Gener E. Por lo tanto debe existir algún tipo de fuente vientos arriba (i.e. este de) de Gener O que está causando una parte de los máximos. De los 162 registros (5 min) con niveles $> 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Gener O, 43 ocurren con vientos del este. La gran mayoría de los registros (37) se ven durante períodos sin descarga de carbón. Un ejemplo se ve en la Fig. 8.1, mostrando los niveles en la noche entre 5 y 6 de septiembre, 2019.

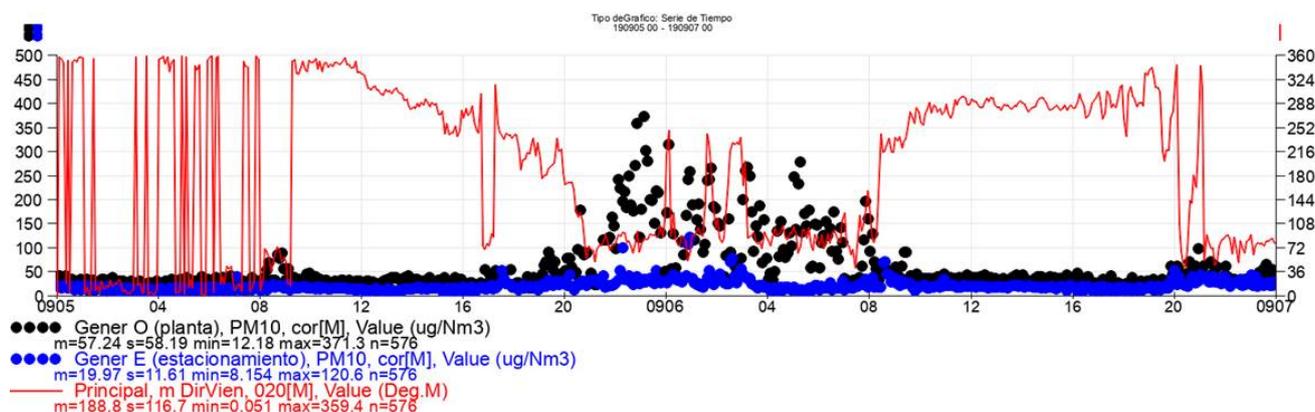


Fig. 8.1 Series temporales de MP10 en Gener O (puntos negros), MP10 en Gener E (puntos azules) y dirección del viento (línea roja) para el período 5-6 de septiembre, 2019.

En caso de que el aumento en Gener O fuera causada por una fuente dentro de la cancha, uno esperaría con vientos de suroccidente algún registro donde los niveles MP10 en Gener E superaría mucho a los niveles de Gener O. Pero esto es muy raro, solamente en 4% de los casos con esta dirección del viento se ven niveles mayores en Gener E y solamente 2 registros muestran una diferencia $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El hecho de que Gener O y Gener E están en la misma distancia de la cancha, hace difícil creer que el impacto de una fuente ubicada a la misma distancia de las estaciones de monitoreo, daría una respuesta muy fuerte hacia el oeste (Gener O) y muy baja hacia el noreste (Gener E).

En la Sección 6 discutiendo los resultados de modelación, se hace un ensayo de sensibilidad donde se localizaron las emisiones de la cancha como una fuente de área cerca al suelo, es decir sin considerar la maya de 18 m rodeando la cancha. Para fuentes localizadas muy cerca o en el suelo, el impacto puede variar mucho entre condiciones estables (normalmente nocturnas) y condiciones de buena mezcla (normalmente durante el día). Vimos en los resultados de modelación con esa fuente de área un impacto mucho mayor hacia el oeste (Gener O) en comparación hacia el oriente (Gener E). Sin embargo, la modelación donde localizamos las emisiones a altura (18 m), utilizando una “chimenea ancha” como modelo, no se produjeron estas diferencias entre los dos lados de la cancha (Fig. 6.2), a pesar de las condiciones meteorológicas fueron idénticos con las del ensayo de sensibilidad.

Otra posibilidad, más probable que las condiciones meteorológicas discutidas anteriormente, que puede explicar estos eventos ocurriendo solamente en Gener O, sería pensar en una actividad muy cercana al monitor que puede generar polvo con contenido de MP10, por ejemplo movimientos de vehículos o actividades de

barrida/limpieza. Fuentes a poca distancia de Gener O pueden tener un impacto local alta en esa estación, sin impacto significativo a Gener E y zonas exteriores a la planta. Es importante tener en cuenta la distancia entre la fuente y el monitor mostrando el impacto, esto también ilustrado por el mayor impacto de sales marinas a los niveles MP10 en Gener O, en comparación con Gener E.

8.3 Resumen y recomendaciones para diagnosticar los eventos de niveles altos de MP10 en Gener O

Los datos disponibles de la campaña de monitoreo indican la posible presencia de fuente o fuentes locales de MP10 dentro del área industrial, cerca a Gener O, cuyo impacto no parece gobernado por el manejo de los graneles durante las descargas de los buques. Es posible que las emisiones sean intermitentes y de poca duración/frecuencia. No hay indicación de que esta fuente/fuentes produce un impacto hacia áreas externas de la planta. Para diagnosticar mejor la causa de estos eventos no trazables con la información existente, se recomienda la elaboración de un inventario de actividades potenciales en la zona alrededor de Gener O (desde la orilla del mar hasta la cancha de carbón). Al disponer de información sobre actividades posibles que puede explicar los eventos de MP10 alto, se puede evaluar la relevancia de ejecutar un monitoreo diseñado a verificar la causa detrás de estos eventos extremos de MP10 registrados esporádicamente en la estación Gener O.

9 Conclusiones

Los resultados del monitoreo en dos estaciones Gener O (Planta) y Gener E (Estacionamiento), localizados occidente y oriente de la cancha de carbón de AES, han sido analizados utilizando datos complementarios en primer lugar de meteorología, pero también información disponible de actividades de operación en la planta y en el puerto. Como referencia se han utilizado las mediciones de MP10 y MP2.5 registrados en la red fija de la zona, especialmente las estaciones más cercanas La Greda y Ventanas.

Las conclusiones son:

1. **MP10:** La estación Gener O (Planta), ubicada dentro del área industrial de AES, entrega los niveles más altos. En promedio, el MP10 es entre 15 y 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ más alto que en otras estaciones de monitoreo presentes en la zona circundante, incluyendo la estación Gener E. En gran parte este nivel más alto puede explicarse por la concentración de sales marinas afectando a Gener O, situada pocos metros de la playa. En efecto, es posible inferir un impacto de sales marinas en Gener O del orden de 17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En Gener E la contribución de sales marinas se estima del orden de 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y para las estaciones localizadas más al interior la contribución de sales marinas se estima entre 5 y 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En Gener O los niveles suben al doble durante el día cuando el viento cambia hacia el occidente (del mar al interior), en comparación con las condiciones durante la noche cuando el viento va desde el Se registraron en Gener O algunos eventos con niveles MP10 superiores a 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tanto para vientos del occidente (desde el mar) como del oriente (desde el continente). Estos eventos se manifiestan mayoritariamente en horas donde no se está descargando o manejando carbón. Si bien no es posible trazar el origen de estos eventos con exactitud, se aprecia que son muy locales y limitados en forma espacial, sin afectar a zonas exteriores de la planta.

Se observa que el efecto de vientos fuertes no es la causa de niveles elevados alrededor de la cancha de carbón. En efecto, los niveles promedio son un poco más altos con vientos mayores a 6 m/s, algo que puede tener relación con una generación fortalecida de sales marinas (estas velocidades más fuertes normalmente están asociadas con vientos desde el oeste, o sea desde el mar hacia el continente). Es decir, la planta AES no parece tener problemas significativos con resuspensión de carbón apilado en la cancha durante eventos de vientos más fuertes.

2. **MP2.5:** En ambas estaciones Gener O y Gener E se observan eventos de corta duración con niveles más altos que en la red fija.

Los niveles promedio de MP2.5 en Gener O y Gener E son similares a los registrados en otras

estaciones de la zona y al igual que para el MP10 las diferencias entre los promedios de concentraciones entre Gener O y Gener E por direcciones del viento no son consistentes con un impacto significativo de emisiones desde la cancha de carbón. Sin embargo, ambas estaciones muestran eventos de corta duración con niveles más altos que las estaciones de la red fija. El análisis muestra que se trata de diferentes fuentes que contribuyen con esos niveles, tal que en Gener O principalmente se asocian con vientos desde el occidente y en Gener E con vientos desde el oriente. Por lo tanto, estos niveles altos de MP2.5 no evidencian tener relación con el manejo de carbón.

- 3. BC (Black Carbon = Carbón Elemental):** Es posible asumir que el manejo del carbón en la cancha presenta el potencial de generación de MP10 rico en carbono elemental, lo cual debe registrarse en los sensores ópticos en forma similar a lo que sucede con el BC “normal” registrado en ciudades (donde el BC es un producto de combustión diésel).

Con vientos del occidente (desde el mar) y bajo condiciones de descarga, fue posible detectar en Gener E un aumento en los niveles BC de aproximadamente $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por encima de los de Gener O. Esta diferencia poco significativa puede relacionarse con emisiones causadas por el manejo de carbón localizado entre Gener O y Gener E, ya que con vientos del occidente (desde el mar) el contenido background de BC es bajo.

Para vientos del oriente (desde el interior) también se registran en Gener O, concentraciones promedio de BC para el período analizado, aproximadamente $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por encima de los del Gener E. Con esta dirección del viento se llevan a la zona industrial contribuciones elevadas de BC por causa de emisiones de combustión en el interior del continente (tránsito y quema de leña principalmente). Por eso los niveles más altos de BC se registran en Gener O exclusivamente con vientos del oriente.

- 4. Modelo de dispersión:** El uso de un modelo sencillo tipo Gaussiano revela que el impacto de las actividades relacionadas con el manejo de graneles en la cancha de carbón produce un impacto en los niveles de material particulado en el exterior de una magnitud inferior a $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo que es consistente con las diferencias de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en los niveles de BC registrados entre Gener O y Gener E. Los resultados del modelo también indica que la emisión que la autoridad ha estimada para el manejo de graneles de carbón en la planta AES (6 toneladas/año) es consistente con lo registrado por el monitoreo, aunque la similaridad solamente puede hacerse por orden de magnitud. Queda claro que son otras fuentes que dominan tanto el promedio elevado de MP10 en Gener O como los eventos de corta duración de niveles muy altos de MP10 y MP2.5 en ambas estaciones.

De esta manera, dadas las bajas diferencias entre los niveles de BC, optimizaciones bien diseñadas son consistentes con el cumplimiento de la exigencia de “impedimento de la dispersión de material particulado hacia el exterior de la instalación”.

Resumen de impactos estimados: La tabla siguiente resume el orden de magnitud de diferentes impactos identificados.

Tipo de impacto	Observación	Otras fuentes	Manejo carbón
MP10 promedio	alto en Gener O	sales marinas más otra fuente cercana: 10-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional	< 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
MP10 alto (corta duración)	altos en Gener O y Gener E	Gener O: hasta 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional Gener E: 50-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional	<i>no determinable</i>
MP2.5 promedio	similar a otras estaciones en la región	tránsito, quema de leña	<i>no determinable</i>
MP2.5 alto (corta duración)	altos en Gener O y Gener E	Gener O: 30-50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional Gener E: 30-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ adicional	<i>no determinable</i>
BC promedio	<i>(no hay referencias)</i>	vehículos, quema de leña: 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.	$\sim 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
BC alto (corta duración)	<i>(no hay referencias)</i>	vehículos, quema de leña: $\sim 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.	$\sim 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$

En síntesis: El sistema actual del manejo de los graneles de carbón en la planta AES Ventanas tiene el potencial de impedir la dispersión del material hacia el exterior de la instalación, utilizando un formato optimizado del manejo de los graneles de carbón. Esto puede estar asociado a una mejor gestión de los graneles de carbón en general.

Esta conclusión en síntesis del autor del informe se basa en el análisis de la información de monitoreo presentado, que ha permitido determinar que las actividades en la cancha de carbón producen un impacto promedio en MP₁₀, MP_{2.5} y BC inferior a 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual es marginal al compararse con los niveles promedio de MP₁₀ registrados en los puntos de monitoreo localizados fuera de la planta AES Ventanas: Gener E = 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, La Greda = 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y Ventanas = 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Finalmente, el mecanismo de verificación que acredite la efectividad del sistema es coherente con la replicabilidad de campañas de monitoreo como la desarrollada, en complementariedad con la documentación de mejoras en la gestión de graneles respecto de la situación actual.

Dados los impactos marginales, consistentes (a partir de la modelación) con una baja tasa de emisión, no se justifican para esta exigencia mecanismos de verificación de mayor sofisticación o complejidad. En efecto, referencias internacionales de gestión de graneles son consistentes con impacto de alcance laboral y plena factibilidad de control con la gestión adecuada de graneles, lo cual es consistente con las prácticas actuales, requiriéndose mejoras acotadas a efectos de cumplir con el “impedimento de la dispersión de material particulado hacia el exterior de la instalación”.

10 Datos del consultor

Gidhagen consulting AB (no. IVA 559185-8773)
 Director Lars Gidhagen (PhD)
 Heleneborgsgatan 16, SE-60209 Norrköping, Suecia
 E-mail: lars.gidhagen@telia.com
 fono: +46 – 709 534 762

Anexo 1 Procedimiento de corrección de los datos MP10 y MP2.5

El monitoreo de MP10 y MP2.5 fue realizado con cuatro instrumentos E-sampler, de marca MetOne Instruments. La medición se hace con una técnica nefelométrica dispersiva (luz láser en el espectro visible) que cuenta partículas sólidas y líquidas. En MetOne cada E-Sampler es calibrado contra una atmósfera patrón de partículas de latex. Usando un factor de conversión, propietario de MetOne, se realiza la conversión de una medición nefelométrica a una medición gravimétrica con unidad $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ya que el E-sampler está calibrado contra un tipo de partículas particulares (latex), se recomienda que se hace una nueva calibración en cada sitio diferente donde se está monitoreando. El procedimiento es de mandar los filtros recolectados con el mismo E-sampler a un laboratorio para un análisis gravimétrica y luego comparar el output continuo del E-sampler (calibrado en fábrica) con los resultados obtenidos por pesar los filtros. La corrección se puede expresar como un factor (K).

Según la experiencia de SETEC al utilizar el E-sampler en Chile, el output directo del MP2.5 normalmente compara bastante bien con el resultado gravimétrico (un factor K cerca de 1), pero para MP10 es normal de tener que corregir el output directo con un factor entre 2 y 2.5 (un factor K entre 2.0 a 2.5).

Durante la campaña de monitoreo en Ventanas, se colectaron 23 filtros MP10 (E0101) y 30 filtros de MP2.5 (E0102) de la estación Gener O / Planta. De la estación Gener E / Estacionamiento se colectaron 23 filtros MP10 y 34 filtros MP2.5. En base a esto se calculó, para la duración de exposición de cada filtro, el promedio del output directo de cada E-sampler. Como se puede ver en Fig. A1.1 las comparaciones para cada filtro siguen lo provisto por SETEC, con niveles parecidos entre el output del instrumento y el resultado gravimétrico para MP2.5, pero con una subestimación considerable para el output directo de MP10.

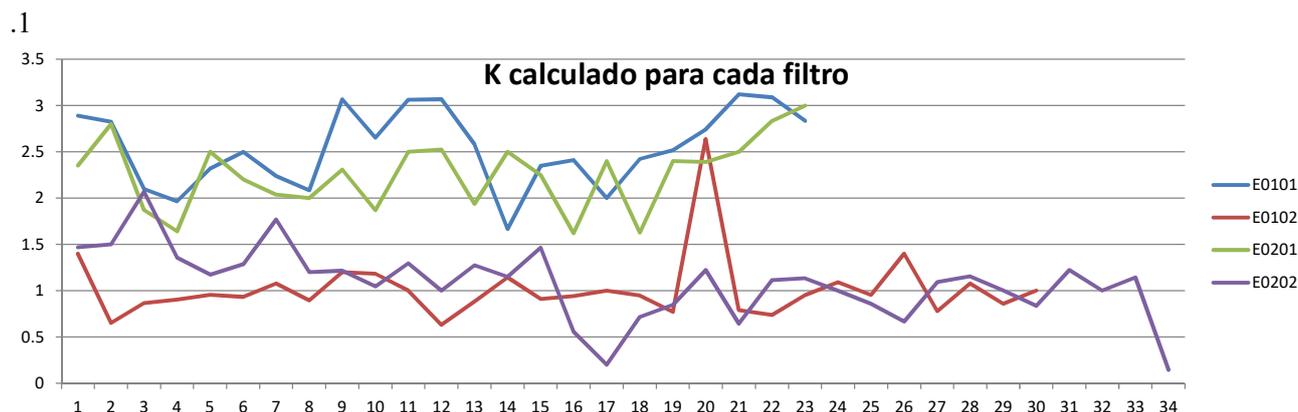


Fig. A1.1 Cociente $MASA_{grav}/MASA_{E-sampler}$, nombrado factor K, para la campaña de monitoreo en Ventanas.

Para evaluar para cada instrumento un K representativo para todo el monitoreo en Ventanas, se hizo una regresión lineal obligando la línea de regresión de pasar el origen (es decir requerir un sesgo de cero). La Fig. A1.2 muestra el resultado.

Los factores de conversión utilizados para corregir el output directo del E-sampler fueron:

- E0101 (Gener O, MP10): $K = 2.5132$
- E0102 (Gener O, MP2.5): $K = 0.9549$
- E0201 (Gener E, MP10): $K = 2.1338$
- E0202 (Gener E, MP2.5): $K = 1.1493$

Todos los resultados de los monitores E-sampler presentados en este informe están basados en datos corregidos según lo descrito en este anexo. El procedimiento para corregir los datos MP10 y MP2.5 fue realizado en colaboración con SETEC.

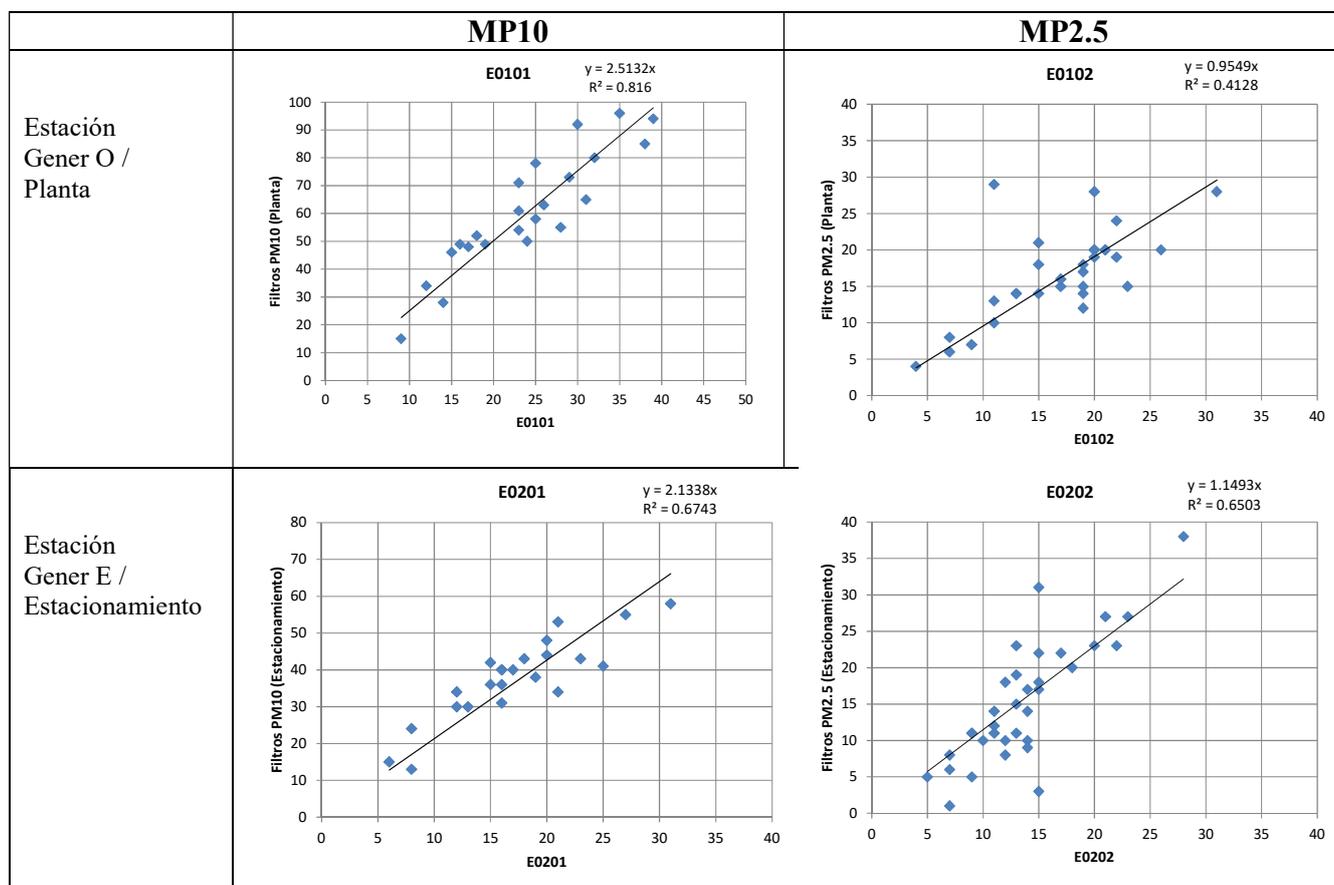


Fig. A1.2 Resultado de la regresión lineal, obligando la línea para por origo.

Anexo 2 Procedimiento de corrección de los datos BC

Se ha utilizado los análisis OC/EC/ (carbono orgánico/elemental/total) de los filtros de los E-samplers colectando muestras MP10, localizados en Gener O y Gener E, para corregir el señal BC saliendo de los instrumentos SIMCA. Los filtros fueron expuestos durante 24 o 48 horas, aproximadamente. Para cada variable OC, EC y TC el laboratorio informa una incertidumbre (“Unc”).

Los niveles promedio de los filtros:

	OC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Gener O (Planta)	15.7	1.8	17.5
Gener E (Estacionamiento)	12.8	1.5	14.3

Site	Date in	Time in	Date out	Time out	OC	OC Unc	EC	EC Unc	TC	TC Unc
Gener O (Planta)	2019-07-25	14:17	26-jul-2019	12:43	22.05	1.60	3.41	0.67	25.46	2.32
Gener O (Planta)	2019-07-28	13:10	29-jul-2019	15:22	15.47	1.24	1.99	0.53	17.51	1.77
Gener O (Planta)	2019-07-31	13:39	2-aug-2019	12:51	9.47	0.71	1.03	0.29	10.50	1.01
Gener O (Planta)	2019-08-06	13:26	8-aug-2019	13:26	10.57	0.77	2.07	0.34	12.65	1.11
Gener O (Planta)	2019-08-10	12:44	11-aug-2019	13:31	15.56	1.26	1.54	0.56	17.06	1.78
Gener O (Planta)	2019-08-13	12:53	14-aug-2019	13:27	18.39	1.37	2.22	0.57	20.60	1.98
Gener O (Planta)	2019-08-16	13:17	17-aug-2019	13:43	20.43	1.52	2.13	0.57	22.56	2.09
Gener O (Planta)	2019-08-20	12:42	22-aug-2019	12:52	11.62	0.82	1.95	0.34	13.54	1.15
Gener O (Planta)	2019-08-29	13:00	30-aug-2019	13:14	13.48	1.15	3.92	0.67	17.35	1.82
Gener O (Planta)	2019-09-01	12:33	2-sep-2019	12:49	36.57	2.29	1.53	0.57	38.08	2.86
Gener O (Planta)	2019-09-04	13:05	5-sep-2019	13:25	6.28	0.81	0.00	0.48	6.28	1.29
Gener O (Planta)	2019-09-08	12:14	9-sep-2019	11:50	8.00	0.88	0.00	0.49	8.00	1.37
Gener E (Estacionamiento)	2019-07-25	16:22	26-jul-2019	14:12	21.11	1.59	2.39	0.64	23.50	2.23
Gener E (Estacionamiento)	2019-07-28	14:24	29-jul-2019	16:27	14.36	1.16	1.56	0.53	15.92	1.69
Gener E (Estacionamiento)	2019-07-31	14:36	2-aug-2019	14:11	9.30	0.71	1.70	0.34	11.00	1.05
Gener E (Estacionamiento)	2019-08-06	14:57	8-aug-2019	15:05	9.36	0.70	1.71	0.34	11.07	1.03
Gener E (Estacionamiento)	2019-08-10	14:11	11-aug-2019	15:14	17.02	1.29	1.66	0.55	18.68	1.85
Gener E (Estacionamiento)	2019-08-13	14:15	14-aug-2019	14:54	16.49	1.32	2.40	0.61	18.89	1.88
Gener E (Estacionamiento)	2019-08-16	14:29	17-aug-2019	15:15	11.37	1.03	1.26	0.51	12.63	1.59
Gener E (Estacionamiento)	2019-08-20	13:50	22-aug-2019	14:37	13.80	0.93	1.61	0.31	15.41	1.23
Gener E (Estacionamiento)	2019-08-29	14:20	30-aug-2019	14:47	13.07	1.14	2.23	0.57	15.30	1.71
Gener E (Estacionamiento)	2019-09-01	13:56	2-sep-2019	14:05	13.96	1.20	1.49	0.58	15.40	1.73
Gener E (Estacionamiento)	2019-09-04	14:23	5-sep-2019	14:42	7.48	0.86	0.00	0.48	7.48	1.33
Gener E (Estacionamiento)	2019-09-08	13:12	9-sep-2019	12:16	6.63	0.85	0.00	0.50	6.63	1.36

Al comparar estos niveles de EC con los datos BC de los dos SIMCAs, se encontraron una buena relación para ambos, con una excepción. Para ambas comparaciones, los dos filtros colectados 29-30 de agosto mostraron niveles mucho más altos que los instrumentos SIMCAs (ver las dos diagramas en la Fig. A2.1 donde se ha marcado con anillos en rojo los dos datos raros). Al excluir esta fecha en la comparación, se obtiene una buena relación al hacer una regresión lineal (ver diagramas abajo).

Se debe notar que el incertidumbre del análisis de EC en filtro es alrededor de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, lo cual puede explicar que el laboratorio puede informar niveles cero para las dos últimas muestras en Gener O.

Conclusión: Se han aplicado una corrección de 1.5264 sobre los niveles SIMCA de Gener O y de 1.7402 sobre los niveles SIMCA de Gener E.

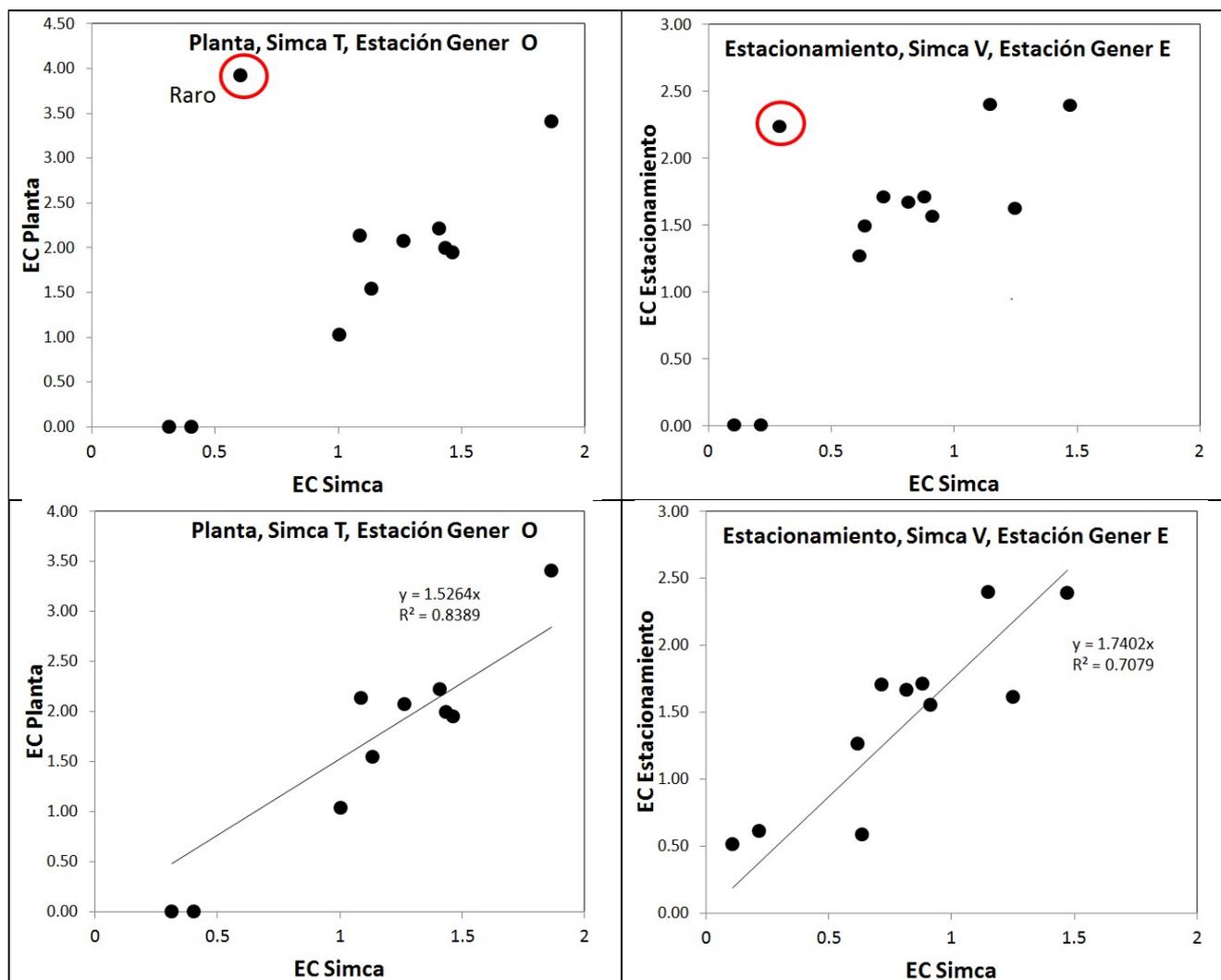


Fig. A2.1 Comparación entre los niveles BC registrados por los instrumentos SIMCA con los niveles EC analizados en filtros. Abajo la regresión lineal después de eliminar los dos outliers (marcados en rojo), obligando la línea de pasar por origen.

El procedimiento para corregir los datos BC fue realizado en colaboración con Ernesto Gramsch.

Anexo 3 Análisis de elementos principales

Los filtros tipo teflón a analizar con XRF fueron selectos en forma posterior al recibir la información MP10 y MP2.5 de los E-samplers. Se buscaron días con un impacto visible en alguna o varias estaciones, buscando períodos con y sin descarga de carbón (la actividad AES):

	Lab ID						
	inicio	término	E0101	E0102	E0201	E0202	comentarios
1	2019-07-26	2019-07-27	19-T1802	19-T1803	19-T1804	19-T1889	Descarga AES durante 26 de julio, varias otras descargas en el muelle
2	2019-08-02	2019-08-04	19-T1906	19-T1904	19-T1908	19-T1909	No descarga AES.
3	2019-08-08	2019-08-09	19-T2250	19-T2251	19-T2252	19-T2253	Descarga AES, no otra descarga en el muelle
4	2019-08-12	2019-08-13	19-T2265	19-T2266	19-T2267	19-T2268	Descarga AES, también descarga trigo y concentrado
5	2019-08-27	2019-08-28	19-T2323	19-T2324	19-T2325	19-T2326	Descarga AES, altas concentraciones PM10 en La Greda y Ventanas
6	2019-08-30	2019-08-31	19-T2333	19-T2334	19-T2339	19-T2336	Descarga AES, impacto en Planta durante 30 de agosto
7	2019-09-03	2019-09-04	19-T2347	19-T2348	19-T2349	19-T2350	No descarga AES, descarga trigo

En total 28 filtros, 7 de cada monitor E-sampler, fueron analizados por el método XRF. Para cada elemento, se entrega una incertidumbre ("Unc.") del análisis. Los resultados marcados en rojo tienen un valor menor a tres veces la incertidumbre. Elementos con niveles marcados en rojo en más de 2 de las 7 muestras tomadas con cada monitor fueron descartados en el análisis final.

Site	Sample Date	Part. Size	Units	Na	Na Unc.	Mg	Mg Unc.	Al	Al Unc.	Si	Si Unc.	P	P Unc.	S	S Unc.	Cl	Cl Unc.	K	K Unc.	Ca	Ca Unc.	Ti	Ti Unc.
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM10	µ/m3	2.2498	0.2445	0.4952	0.0768	0.6024	0.0459	1.5491	0.0802	0.0000	0.0089	2.2761	0.1176	4.7338	0.2387	0.6140	0.0316	0.9048	0.0459	0.0513	0.0042
Gener O (Planta)	2019-08-02	PM10	µg/m3	6.7526	0.4649	1.4116	0.0983	0.8341	0.0540	1.6419	0.0893	0.0000	0.0072	2.7422	0.1458	18.6505	0.9588	1.0273	0.0530	2.2266	0.1140	0.0637	0.0037
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM10	µg/m3	2.9431	0.2619	0.6093	0.0760	0.5955	0.0444	1.3400	0.0690	0.0132	0.0086	1.2621	0.0662	7.3931	0.3721	0.5266	0.0269	1.3290	0.0670	0.0425	0.0039
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM10	µg/m3	6.7958	0.4689	1.7021	0.1236	1.6623	0.0993	3.3121	0.1736	0.0583	0.0109	2.5557	0.1341	19.2180	0.9758	1.1426	0.0583	2.3228	0.1177	0.1083	0.0063
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM10	µg/m3	8.5107	0.5768	1.9161	0.1388	1.5732	0.0977	3.0896	0.1634	0.0141	0.0125	3.4732	0.1820	25.6036	1.3032	1.2539	0.0646	3.5964	0.1828	0.0900	0.0056
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM10	µg/m3	6.5408	0.4442	1.3827	0.1080	1.0993	0.0711	2.3408	0.1222	0.0000	0.0107	1.9701	0.1034	17.8605	0.9044	0.8378	0.0431	2.2082	0.1118	0.0746	0.0050
Gener O (Planta)	2019-09-03	PM10	µg/m3	2.7079	0.2674	0.9315	0.0898	1.4586	0.0863	3.5616	0.1842	0.0122	0.0124	1.3486	0.0712	6.4349	0.3254	1.1027	0.0561	5.1027	0.2570	0.1002	0.0062
Gener E (Estac.)	2019-07-26	PM10	µ/m3	1.2759	0.2123	0.4314	0.0737	1.1086	0.0674	2.4693	0.1266	0.0362	0.0086	2.3828	0.1231	1.8376	0.0931	0.7797	0.0393	0.7469	0.0378	0.0787	0.0054
Gener E (Estac.)	2019-08-02	PM10	µg/m3	3.2263	0.2287	0.6969	0.0574	1.0085	0.0591	2.2263	0.1171	0.0066	0.0057	1.8238	0.0956	6.7375	0.3427	0.7603	0.0386	1.1693	0.0591	0.0888	0.0049
Gener E (Estac.)	2019-08-08	PM10	µg/m3	1.2862	0.2060	0.2895	0.0687	0.6792	0.0467	1.5481	0.0790	0.0240	0.0080	0.9975	0.0527	2.6219	0.1322	0.4816	0.0248	0.7078	0.0359	0.0611	0.0044
Gener E (Estac.)	2019-08-12	PM10	µg/m3	3.1853	0.2764	0.9186	0.0872	1.8723	0.1059	4.2421	0.2185	0.0456	0.0091	1.8063	0.0948	6.7965	0.3434	0.9060	0.0460	1.6389	0.0825	0.1427	0.0079
Gener E (Estac.)	2019-08-27	PM10	µg/m3	4.5197	0.3427	1.0767	0.0964	1.8172	0.1041	3.6308	0.1871	0.0162	0.0101	1.8520	0.0968	9.9355	0.5018	0.7319	0.0377	1.3355	0.0672	0.1377	0.0077
Gener E (Estac.)	2019-08-31	PM10	µg/m3	2.7982	0.2657	0.7787	0.0833	1.5255	0.0885	3.3681	0.1723	0.0076	0.0092	1.2915	0.0681	5.4468	0.2745	0.6929	0.0357	0.8433	0.0425	0.1390	0.0076
Gener E (Estac.)	2019-09-03	PM10	µg/m3	1.1273	0.2032	0.6352	0.0748	1.6502	0.0929	3.4471	0.1755	0.0197	0.0081	0.9580	0.0509	1.7799	0.0899	0.6003	0.0305	0.8375	0.0420	0.1284	0.0073
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM2.5	µ/m3	0.6360	0.1868	0.1324	0.0647	0.0571	0.0263	0.1602	0.0133	0.0000	0.0080	1.4657	0.0761	0.2473	0.0156	0.3204	0.0167	0.1012	0.0065	0.0068	0.0030
Gener O (Planta)	2019-07-31	PM2.5	µg/m3	1.4935	0.1349	0.2995	0.0399	0.0713	0.0151	0.1234	0.0086	0.0000	0.0046	0.6966	0.0365	3.2504	0.1634	0.1866	0.0098	0.2004	0.0104	0.0038	0.0016
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM2.5	µg/m3	0.3382	0.1757	0.0682	0.0612	0.0234	0.0234	0.1099	0.0101	0.0031	0.0066	0.6441	0.0347	0.7231	0.0370	0.2155	0.0121	0.1325	0.0078	0.0080	0.0031
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM2.5	µg/m3	1.0772	0.1900	0.2201	0.0634	0.0989	0.0254	0.2854	0.0142	0.0000	0.0070	0.7647	0.0410	1.7938	0.0903	0.2624	0.0141	0.2592	0.0137	0.0137	0.0031
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM2.5	µg/m3	1.8663	0.2292	0.3713	0.0717	0.2471	0.0320	0.4229	0.0243	0.0000	0.0085	0.9885	0.0523	3.5111	0.1762	0.3370	0.0178	0.4918	0.0251	0.0085	0.0032
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM2.5	µg/m3	1.4447	0.2032	0.3004	0.0675	0.1855	0.0278	0.3382	0.0197	0.0000	0.0077	0.5379	0.0297	2.2935	0.1153	0.2206	0.0124	0.3020	0.0158	0.0039	0.0031
Gener O (Planta)	2019-09-03	PM2.5	µg/m3	0.4962	0.1865	0.1304	0.0654	0.1861	0.0279	0.4733	0.0255	0.0209	0.0077	0.6140	0.0333	0.7959	0.0410	0.2554	0.0139	0.8729	0.0437	0.0124	0.0031
Gener E (Estac.)	2019-07-26	PM2.5	µ/m3	0.1391	0.1890	0.0000	0.0670	0.0900	0.0273	0.2030	0.0152	0.0000	0.0082	1.7031	0.0881	0.1048	0.0113	0.4693	0.0242	0.0744	0.0062	0.0054	0.0035
Gener E (Estac.)	2019-08-02	PM2.5	µg/m3	0.9475	0.1130	0.2143	0.0367	0.1038	0.0154	0.1819	0.0107	0.0000	0.0043	1.0242	0.0529	0.9746	0.0492	0.3748	0.0189	0.1323	0.0070	0.0037	0.0016
Gener E (Estac.)	2019-08-08	PM2.5	µg/m3	0.4742	0.1785	0.0755	0.0627	0.0124	0.0236	0.1326	0.0112	0.0000	0.0068	0.5558	0.0304	0.2883	0.0176	0.2340	0.0124	0.0790	0.0056	0.0032	0.0032
Gener E (Estac.)	2019-08-12	PM2.5	µg/m3	0.5885	0.1778	0.1407	0.0624	0.0921	0.0249	0.2999	0.0174	0.0012	0.0071	0.8668	0.0458	0.8608	0.0438	0.3090	0.0162	0.2189	0.0119	0.0099	0.0031
Gener E (Estac.)	2019-08-27	PM2.5	µg/m3	0.6169	0.1959	0.0898	0.0683	0.0723	0.0272	0.1959	0.0146	0.0000	0.0077	0.6504	0.0354	1.1799	0.0601	0.1435	0.0090	0.1150	0.0073	0.0000	0.0037
Gener E (Estac.)	2019-08-30	PM2.5	µg/m3	0.5336	0.1893	0.0842	0.0664	0.0822	0.0265	0.2098	0.0146	0.0000	0.0075	0.4993	0.0280	0.7273	0.0379	0.1667	0.0099	0.0956	0.0063	0.0020	0.0031
Gener E (Estac.)	2019-09-03	PM2.5	µg/m3	0.1513	0.1811	0.0553	0.0646	0.0724	0.0259	0.2101	0.0147	0.0012	0.0074	0.6075	0.0329	0.1424	0.0120	0.2458	0.0132	0.0782	0.0054	0.0000	0.0031

Site	Sample Date	Part. Size	Units	Ti Unc.	V	V Unc.	Cr	Cr Unc.	Mn	Mn Unc.	Fe	Fe Unc.	Co	Co Unc.	Ni	Ni Unc.	Cu	Cu Unc.	Zn	Zn Unc.	Ga	Sa Unc.	Ge	Se Unc.
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM10	µ/m3	0.0042	0.0409	0.0035	0.0039	0.0050	0.0185	0.0046	0.9150	0.0459	0.0000	0.0039	0.0092	0.0023	0.2842	0.0146	0.0690	0.0039	0.0000	0.0019	0.0015	0.0019
Gener O (Planta)	2019-08-02	PM10	µg/m3	0.0037	0.0174	0.0020	0.0061	0.0025	0.0256	0.0025	0.9147	0.0457	0.0000	0.0024	0.0072	0.0012	0.4064	0.0203	0.1226	0.0063	0.0008	0.0010	0.0000	0.0010
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM10	µg/m3	0.0039	0.0160	0.0027	0.0000	0.0051	0.0093	0.0047	0.6224	0.0312	0.0031	0.0031	0.0039	0.0019	0.1629	0.0086	0.0312	0.0023	0.0000	0.0016	0.0000	0.0019
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM10	µg/m3	0.0063	0.0352	0.0031	0.0047	0.0051	0.0418	0.0043	1.7014	0.0852	0.0000	0.0047	0.0117	0.0019	0.6865	0.0344	0.1349	0.0070	0.0039	0.0016	0.0000	0.0019
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM10	µg/m3	0.0056	0.0291	0.0036	0.0049	0.0053	0.0246	0.0049	2.1925	0.1098	0.0000	0.0053	0.0056	0.0024	1.2789	0.0642	0.0379	0.0028	0.0020	0.0020	0.0008	0.0020
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM10	µg/m3	0.0050	0.0246	0.0031	0.0031	0.0050	0.0250	0.0046	1.2629	0.0634	0.0031	0.0038	0.0073	0.0023	0.3439	0.0173	0.0377	0.0027	0.0004	0.0019	0.0012	0.0019
Gener O (Planta)	2019-09-03	PM10	µg/m3	0.0062	0.0077	0.0031	0.0120	0.0050	0.0364	0.0050	1.5295	0.0766	0.0000	0.0047	0.0047	0.0023	0.0882	0.0054	0.0271	0.0023	0.0019	0.0019	0.0012	0.0019
Gener E (Estac.)	2019-07-26	PM10	µ/m3	0.0054	0.0623	0.0043	0.0125	0.0051	0.0187	0.0047	1.2438	0.0623	0.0016	0.0039	0.0191	0.0023	0.2887	0.0148	0.0674	0.0039	0.00			

Site	Sample Date	Part. Size	Units	As	As Unc.	Se	Se Unc.	Br	Br Unc.	Rb	Rb Unc.	Sr	Sr Unc.	Y	Y Unc.	Zr	Zr Unc.	Mo	Mo Unc.	Pd	Pd Unc.	Ag	Ag Unc.
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM10	µ/m3	0.0501	0.0039	0.0139	0.0015	0.0255	0.0031	0.0031	0.0015	0.0023	0.0031	0.0000	0.0039	0.0000	0.0054	0.0000	0.0092	0.0000	0.0081	0.0000	0.0081
Gener O (Planta)	2019-08-02	PM10	µg/m3	0.1208	0.0063	0.0152	0.0012	0.0858	0.0045	0.0045	0.0010	0.0117	0.0016	0.0020	0.0021	0.0049	0.0027	0.0078	0.0047	0.0000	0.0041	0.0000	0.0055
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM10	µg/m3	0.0226	0.0031	0.0000	0.0016	0.0339	0.0031	0.0008	0.0016	0.0043	0.0027	0.0016	0.0039	0.0000	0.0051	0.0000	0.0086	0.0000	0.0082	0.0000	0.0082
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM10	µg/m3	0.0555	0.0039	0.0141	0.0016	0.0989	0.0055	0.0035	0.0016	0.0211	0.0031	0.0031	0.0039	0.0000	0.0051	0.0004	0.0086	0.0031	0.0082	0.0172	0.0082
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM10	µg/m3	0.0343	0.0032	0.0024	0.0016	0.1300	0.0069	0.0065	0.0020	0.0206	0.0032	0.0000	0.0044	0.0020	0.0056	0.0000	0.0097	0.0000	0.0085	0.0000	0.0113
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM10	µg/m3	0.0096	0.0035	0.0000	0.0019	0.0815	0.0050	0.0065	0.0015	0.0100	0.0031	0.0000	0.0038	0.0000	0.0054	0.0127	0.0088	0.0000	0.0081	0.0069	0.0081
Gener O (Planta)	2019-09-03	PM10	µg/m3	0.0190	0.0031	0.0000	0.0019	0.0345	0.0031	0.0066	0.0015	0.0089	0.0031	0.0000	0.0042	0.0112	0.0054	0.0000	0.0093	0.0000	0.0081	0.0163	0.0081
Gener E (Estac.)	2019-07-26	PM10	µ/m3	0.0471	0.0035	0.0105	0.0016	0.0164	0.0027	0.0019	0.0016	0.0043	0.0031	0.0008	0.0039	0.0000	0.0051	0.0000	0.0090	0.0000	0.0082	0.0000	0.0082
Gener E (Estac.)	2019-08-02	PM10	µg/m3	0.0933	0.0049	0.0141	0.0010	0.0344	0.0021	0.0000	0.0010	0.0105	0.0016	0.0000	0.0020	0.0025	0.0027	0.0006	0.0047	0.0066	0.0041	0.0002	0.0055
Gener E (Estac.)	2019-08-08	PM10	µg/m3	0.0208	0.0032	0.0036	0.0016	0.0148	0.0028	0.0008	0.0016	0.0040	0.0028	0.0008	0.0040	0.0084	0.0052	0.0000	0.0088	0.0024	0.0084	0.0052	0.0084
Gener E (Estac.)	2019-08-12	PM10	µg/m3	0.0757	0.0048	0.0139	0.0016	0.0293	0.0028	0.0060	0.0016	0.0159	0.0028	0.0000	0.0040	0.0055	0.0052	0.0171	0.0087	0.0016	0.0083	0.0020	0.0083
Gener E (Estac.)	2019-08-27	PM10	µg/m3	0.0186	0.0032	0.0008	0.0020	0.0425	0.0037	0.0020	0.0016	0.0122	0.0032	0.0000	0.0044	0.0000	0.0057	0.0016	0.0097	0.0000	0.0085	0.0049	0.0113
Gener E (Estac.)	2019-08-31	PM10	µg/m3	0.0389	0.0036	0.0020	0.0016	0.0249	0.0032	0.0000	0.0016	0.0056	0.0032	0.0000	0.0044	0.0124	0.0056	0.0100	0.0096	0.0249	0.0084	0.0120	0.0084
Gener E (Estac.)	2019-09-03	PM10	µg/m3	0.0077	0.0027	0.0008	0.0015	0.0096	0.0027	0.0004	0.0015	0.0027	0.0031	0.0054	0.0039	0.0046	0.0054	0.0046	0.0092	0.0000	0.0081	0.0193	0.0081
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM2.5	µ/m3	0.0430	0.0034	0.0118	0.0015	0.0088	0.0027	0.0015	0.0015	0.0000	0.0030	0.0008	0.0042	0.0000	0.0053	0.0000	0.0091	0.0000	0.0080	0.0049	0.0080
Gener O (Planta)	2019-07-31	PM2.5	µg/m3	0.0546	0.0032	0.0074	0.0010	0.0112	0.0014	0.0018	0.0008	0.0000	0.0016	0.0000	0.0020	0.0000	0.0028	0.0066	0.0048	0.0000	0.0042	0.0026	0.0042
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM2.5	µg/m3	0.0207	0.0027	0.0004	0.0016	0.0082	0.0023	0.0000	0.0016	0.0004	0.0027	0.0000	0.0039	0.0008	0.0051	0.0000	0.0086	0.0000	0.0082	0.0000	0.0082
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM2.5	µg/m3	0.0372	0.0035	0.0164	0.0016	0.0102	0.0024	0.0035	0.0016	0.0000	0.0027	0.0000	0.0039	0.0000	0.0051	0.0000	0.0086	0.0156	0.0082	0.0000	0.0082
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM2.5	µg/m3	0.0032	0.0028	0.0000	0.0020	0.0199	0.0028	0.0024	0.0016	0.0069	0.0032	0.0049	0.0041	0.0020	0.0053	0.0000	0.0093	0.0041	0.0085	0.0000	0.0085
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM2.5	µg/m3	0.0151	0.0027	0.0000	0.0015	0.0131	0.0027	0.0008	0.0015	0.0000	0.0031	0.0000	0.0039	0.0042	0.0050	0.0000	0.0089	0.0000	0.0081	0.0058	0.0081
Gener O (Planta)	2019-09-03	PM2.5	µg/m3	0.0047	0.0027	0.0004	0.0015	0.0085	0.0023	0.0000	0.0015	0.0008	0.0031	0.0000	0.0039	0.0000	0.0050	0.0000	0.0089	0.0015	0.0081	0.0116	0.0081
Gener E (Estac.)	2019-07-26	PM2.5	µ/m3	0.0366	0.0035	0.0054	0.0019	0.0082	0.0027	0.0039	0.0016	0.0000	0.0031	0.0000	0.0043	0.0000	0.0054	0.0000	0.0093	0.0000	0.0082	0.0059	0.0082
Gener E (Estac.)	2019-08-02	PM2.5	µg/m3	0.0849	0.0045	0.0139	0.0010	0.0156	0.0016	0.0018	0.0008	0.0006	0.0016	0.0000	0.0021	0.0000	0.0027	0.0088	0.0047	0.0000	0.0041	0.0031	0.0041
Gener E (Estac.)	2019-08-08	PM2.5	µg/m3	0.0160	0.0028	0.0024	0.0016	0.0068	0.0024	0.0000	0.0016	0.0000	0.0028	0.0000	0.0040	0.0000	0.0052	0.0000	0.0088	0.0000	0.0084	0.0092	0.0084
Gener E (Estac.)	2019-08-12	PM2.5	µg/m3	0.0624	0.0043	0.0146	0.0016	0.0099	0.0024	0.0008	0.0016	0.0000	0.0028	0.0000	0.0040	0.0024	0.0051	0.0016	0.0087	0.0190	0.0083	0.0122	0.0083
Gener E (Estac.)	2019-08-27	PM2.5	µg/m3	0.0272	0.0028	0.0020	0.0016	0.0045	0.0028	0.0000	0.0016	0.0037	0.0028	0.0000	0.0041	0.0000	0.0057	0.0000	0.0097	0.0000	0.0085	0.0199	0.0085
Gener E (Estac.)	2019-08-30	PM2.5	µg/m3	0.0367	0.0040	0.0020	0.0020	0.0067	0.0028	0.0048	0.0016	0.0008	0.0028	0.0000	0.0040	0.0000	0.0055	0.0000	0.0091	0.0000	0.0083	0.0201	0.0083
Gener E (Estac.)	2019-09-03	PM2.5	µg/m3	0.0093	0.0027	0.0015	0.0015	0.0035	0.0027	0.0008	0.0015	0.0027	0.0031	0.0000	0.0039	0.0000	0.0050	0.0097	0.0089	0.0000	0.0081	0.0000	0.0081

Site	Sample Date	Part. Size	Units	Cd	Cd Unc.	In	In Unc.	Sn	Sn Unc.	Sb	Sb Unc.	Ba	Ba Unc.	La	La Unc.	Hg	Hg Unc.	Pb	Pb Unc.
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM10	µ/m3	0.0000	0.0112	0.0367	0.0124	0.0000	0.0143	0.0000	0.0251	0.0378	0.0166	0.0181	0.0081	0.0000	0.0046	0.0266	0.0050
Gener O (Planta)	2019-08-02	PM10	µg/m3	0.0162	0.0057	0.0000	0.0063	0.0024	0.0072	0.0078	0.0127	0.0000	0.0113	0.0000	0.0047	0.0051	0.0024	0.0569	0.0059
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM10	µg/m3	0.0000	0.0082	0.0097	0.0090	0.0320	0.0144	0.0000	0.0183	0.0000	0.0168	0.0000	0.0082	0.0000	0.0035	0.0074	0.0039
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM10	µg/m3	0.0000	0.0082	0.0043	0.0125	0.0000	0.0145	0.0000	0.0184	0.0137	0.0203	0.0000	0.0086	0.0000	0.0035	0.0328	0.0055
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM10	µg/m3	0.0056	0.0117	0.0000	0.0129	0.0000	0.0149	0.0605	0.0266	0.0262	0.0210	0.0000	0.0097	0.0000	0.0049	0.0145	0.0053
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM10	µg/m3	0.0000	0.0112	0.0000	0.0123	0.0000	0.0142	0.0000	0.0250	0.0273	0.0188	0.0277	0.0081	0.0000	0.0046	0.0515	0.0046
Gener O (Planta)	2019-09-03	PM10	µg/m3	0.0000	0.0112	0.0097	0.0124	0.0000	0.0143	0.0000	0.0251	0.0205	0.0201	0.0077	0.0089	0.0042	0.0047	0.0035	0.0039
Gener E (Estac.)	2019-07-26	PM10	µ/m3	0.0140	0.0113	0.0137	0.0125	0.0000	0.0144	0.0000	0.0253	0.0354	0.0191	0.0129	0.0090	0.0027	0.0047	0.0226	0.0051
Gener E (Estac.)	2019-08-02	PM10	µg/m3	0.0000	0.0057	0.0000	0.0063	0.0004	0.0072	0.0000	0.0127	0.0049	0.0123	0.0000	0.0051	0.0027	0.0018	0.0506	0.0051
Gener E (Estac.)	2019-08-08	PM10	µg/m3	0.0016	0.0084	0.0255	0.0092	0.0000	0.0148	0.0080	0.0188	0.0000	0.0184	0.0000	0.0084	0.0000	0.0036	0.0156	0.0040
Gener E (Estac.)	2019-08-12	PM10	µg/m3	0.0064	0.0083	0.0178	0.0091	0.0246	0.0147	0.0000	0.0186	0.0000	0.0230	0.0000	0.0095	0.0000	0.0036	0.0448	0.0064
Gener E (Estac.)	2019-08-27	PM10	µg/m3	0.0101	0.0089	0.0061	0.0130	0.0089	0.0150	0.0203	0.0263	0.0324	0.0223	0.0146	0.0097	0.0000	0.0049	0.0259	0.0041
Gener E (Estac.)	2019-08-31	PM10	µg/m3	0.0000	0.0116	0.0000	0.0128	0.0048	0.0148	0.0080	0.0260	0.0000	0.0232	0.0000	0.0096	0.0000	0.0048	0.0096	0.0052
Gener E (Estac.)	2019-09-03	PM10	µg/m3	0.0000	0.0112	0.0000	0.0124	0.0201	0.0143	0.0000	0.0251	0.0000	0.0212	0.0066	0.0092	0.0019	0.0035	0.0208	0.0039
Gener O (Planta)	2019-07-26	PM2.5	µ/m3	0.0000	0.0110	0.0133	0.0122	0.0251	0.0144	0.0000	0.0247	0.0000	0.0148	0.0000	0.0080	0.0000	0.0046	0.0240	0.0049
Gener O (Planta)	2019-07-31	PM2.5	µg/m3	0.0062	0.0058	0.0129	0.0064	0.0000	0.0074	0.0048	0.0100	0.0006	0.0078	0.0000	0.0042	0.0000	0.0024	0.0387	0.0040
Gener O (Planta)	2019-08-08	PM2.5	µg/m3	0.0000	0.0082	0.0000	0.0125	0.0000	0.0144	0.0000	0.0187	0.0000	0.0137	0.0000	0.0070	0.0000	0.0035	0.0078	0.0039
Gener O (Planta)	2019-08-12	PM2.5	µg/m3	0.0305	0.0086	0.0051	0.0090	0.0000	0.0145	0.0391	0.0184	0.0000	0.0137	0.0000	0.0070	0.0000	0.0035	0.0325	0.0043
Gener O (Planta)	2019-08-27	PM2.5	µg/m3	0.0057	0.0118	0.0000	0.0130	0.0170	0.0150	0.0199	0.0199	0.0000	0.0158	0.0000	0.0085	0.0000	0.0037	0.0203	0.0041
Gener O (Planta)	2019-08-30	PM2.5	µg/m3	0.0035	0.0112	0.0135	0.0124	0.0000	0.0143	0.0000	0.0181	0.0000	0.01						

