

**REF:** Expediente sancionatorio Rol D-146-2019.  
**MAT:** Recurso de reposición.  
**ADJ:** Anexo en formato digital.

---

Santiago, 4 de septiembre de 2020.

Sr.

Emanuel Ibarra Soto  
Jefe División de Sanción y Cumplimiento (S)  
Superintendencia del Medio Ambiente  
Teatinos 280, piso 8  
Santiago

**Presente**

**Sebastián Avilés Bezanilla**, abogado, en representación de **Guacolda Energía S.A.** ("**Guacolda**"), ambos domiciliados para estos efectos en Isidora Goyenechea N° 3477, piso 22, comuna de Las Condes, Santiago, considerando lo dispuesto en el artículo 59 de la Ley N° 19.880, que Establece Bases de los Procedimientos que Rigen los Actos de los Órganos de la Administración del Estado ("**LBPA**"), vengo en interponer recurso de reposición en contra de la Resolución Exenta N° 5/ROL D-146-2019, de 14 de agosto de 2020, que junto con aprobar el Programa de Cumplimiento ("**PdC**") de mi representada, incorporó una corrección de oficio a la acción N° 5 del mismo ("**Resolución Recurrída**") respecto de la cual, sobre la base de los nuevos antecedentes que se acompañan en este acto, solicito que sea dejada sin efecto, enmendándose conforme a derecho, según se detalla a continuación.

#### **I. ANTECEDENTES DE LA RESOLUCIÓN RECURRIDA.**

1. Con fecha 14 de octubre de 2019, la Superintendencia del Medio Ambiente ("**SMA**" o "**Superintendencia**"), mediante la Resolución Exenta N°1/Rol D-146-2019 inició un procedimiento administrativo sancionatorio en contra de Guacolda, por cuatro supuestas infracciones, tres de ellas consideradas leves y una grave. Los hechos fueron imputados como incumplimientos a las resoluciones de calificación ambiental ("**RCA**") que regulan el Complejo Termoeléctrico Guacolda ("**CTG**"), en conformidad a la letra a) del artículo 35 de la Ley Orgánica de la SMA ("**LOSMA**").

2. En lo que interesa al presente recurso de reposición, el cargo 1, referido a "*No dar cumplimiento satisfactorio a las medidas establecidas para mitigar emisiones atmosféricas*", clasificado como una infracción grave, en virtud de la letra e) del numeral 2 del artículo 36 de la LOSMA, consideró, entre otros hechos infraccionales, el "*d. No instalar tela impermeable en torno al perímetro de la cancha de carbón habiéndose comprobado la deficiencia de la disposición de malla raschel como medida de mitigación de emisiones fugitivas de MPS*", estimándose como normativa infringida la Resolución Exenta N° 191, de 18 de agosto de 2010 ("**RCA N° 191/2010**"), de la Comisión Regional del Medio Ambiente de la Región de Atacama, mediante la cual se calificó favorablemente el proyecto "Unidad 5 Central Térmica Guacolda S.A."

3. En relación con los fundamentos del hecho 1.d., mediante los cuales se definió el ámbito de acción de la supuesta infracción, la Resolución Exenta N°1/Rol D-146-2019, indicó lo siguiente:

*“32. De acuerdo con lo señalado, la empresa se comprometió a evaluar el éxito de la medida “instalación de paneles malla raschel en perímetro de la cancha de acopio de carbón” para efectos de mitigar las emisiones de MPS desde dicha instalación, lo cual se llevaría a cabo mediante un análisis de los resultados que arrojen dichos monitoreos mensuales durante el primer año. Como se indicó, los monitoreos se realizan mediante colectores de polvo sedimentable dispuestos dentro (Estación N° 3) y fuera de la cancha (estaciones N° 1, N° 2 y N° 4) para hacer un análisis comparativo [...]*

*33. De los antecedentes entregados por la empresa, en el marco de la inspección ambiental del 12 de octubre de 2016, se observó que existen 2 meses en el periodo (junio y agosto 2015) en los cuales el porcentaje de propagación de MPS supera el 10%, es decir, no se cumple con lo exigido, esto es, que en los colectores externos a la cancha de carbón, la captación de MPS sea inferior al 90% de los valores registrados al interior de la cancha de carbón, lo cual se vuelve a repetir al año siguiente (2016)”.*

4. En este contexto, con fecha 13 de noviembre de 2019 mi representada presentó una propuesta de PdC con acciones orientadas a retomar al estado de cumplimiento de la normativa ambiental y, en lo que respecta al ya señalado hecho 1.d., propuso como ejecutadas, la acción N° 4, consistente en la *“Realización de un estudio de determinación de la porosidad de malla raschel usada en el cerco perimetral de la cancha de carbón, para efectos de comprobar su eficiencia”*, y la acción N° 5, referida al *“Cumplimiento del porcentaje de la eficiencia de la malla raschel que rodea la cancha de carbón del CTG, para reducir las emisiones de material particulado sedimentable (MPS)”*.

5. Con fecha 27 de abril de 2020, mediante la Resolución Exenta N°3/ROL D-146-2019, la SMA formuló observaciones al PdC presentado el 13 de noviembre de 2019, requiriendo la presentación de un PdC refundido.

6. En razón de lo anterior, el 20 de mayo de 2020 se presentó un PdC refundido, el cual, respecto de dicho hecho, consideró la acción N° 2 en ejecución, consistente en la *“Realización de Campaña de Monitoreo de MP10 y carbono negro (BC), en los mismos puntos del monitoreo de MPS establecido en el Considerando 8 de la RCA 191/2020, junto con un análisis de la composición química del MP10, mediciones de meteorología básicas y de permeabilidad de la malla raschel”*, y la acción N° 5 por ejecutar, referida a la *“Complementación del monitoreo para medir la eficiencia de malla raschel”*, cuya forma de implementación consideraba que *“Una vez obtenidos los resultados del monitoreo de la acción N° 2, referidos a la caracterización del MP10, además de su relación con el carbono negro (BC), y las variables meteorológicas y operacionales del CTG, se complementará la medición de MPS establecida en el Considerando 8 de la RCA 191/2010, definiendo una metodología de medición, que incluirá las variables a medir, los puntos de monitoreo y equipos a utilizar”*. Finalmente, se incluyó la acción 6 por ejecutar, que conjugaba las acciones anteriores, toda vez que consistía en la *“Medición de eficiencia de la malla raschel en conformidad a la metodología de medición a que se refiere la acción N° 5”*, contemplando como forma de implementación el que *“Mensualmente se efectuará el monitoreo establecido en la metodología de medición a que se refiere la acción N° 5, que incluirá la comparación entre las mediciones de MPS dentro y fuera de la cancha de carbón, respecto de las 4 estaciones de monitoreo, de acuerdo al plan de seguimiento establecido en el Considerando 8 de la RCA 191/2010, así como las mediciones adicionales que recomiende la consultoría a que se refiere la acción N° 2”*.

7. Posteriormente, con fecha 11 de junio de 2020, mediante la Resolución Exenta N°4/Rol D-146-2019, la SMA formuló observaciones generales y específicas respecto del PdC refundido, que requirió incorporar en un nuevo PdC Refundido.

8. En lo que respecta a las acciones asociadas al hecho 1.d., se observó lo siguiente:

*“4. En relación a la acción N° 5, referida a “Complementación del monitoreo para medir la eficiencia de la malla raschel”, debe ser eliminada como acción independiente y pasar a ser un contenido de la acción N° 2, esto, considerando la relación de ambas acciones, debido a que la N° 2 corresponde a la puesta en marcha de monitoreos de MP10 y carbono negro (BC) tal como se describió en el PDC, y esta acción N° 5 corresponde a parte de la metodología de análisis de los referidos monitoreos de la acción N°2. Por tanto, la acción N° 5 debe ser incluida como complemento del acápite Forma de Implementación de la acción N° 2.*

*5. En relación a la acción N° 6, referida a “Medición de la eficiencia de la malla raschel en conformidad a la metodología de medición a que se refiere la acción N° 5”, la descripción de la acción debe ser modificada indicado que la medición se realizará en conformidad a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010. El acápite Forma de Implementación debe redactarse considerando la observación precedente, por lo que debe indicar que la eficiencia del sistema de malla raschel se medirá conforme a la metodología de medición establecida en la RCA N° 191/2010 y que dicho análisis se complementará con los resultados del monitoreo establecido en la acción N° 2 (que será contenida en la acción N° 5 tal como se señaló en el numeral 4 precedente). El acápite Plazo de ejecución, deberá ser modificado y señalar “Desde la aprobación del PdC, durante un año como máximo” (énfasis agregado).*

9. Con fecha 3 de julio de 2020, atendido las observaciones antes señaladas, se presentó una nueva versión del PdC refundido, donde se propuso la acción N° 5, referida a la “Medición de la eficiencia de la malla raschel”, cuya forma de implementación consistía en que “Mensualmente se efectuará el monitoreo de la eficiencia de la malla raschel en conformidad a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010 consistente en la comparación entre las mediciones de MPS dentro y fuera de la cancha de carbón, respecto de las 4 estaciones de monitoreo, incluyendo análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS”.

10. Seguidamente, con fecha 14 de agosto de 2020, el Jefe de la División de Sanción y Cumplimiento de la SMA dictó la Resolución Recurrída, aprobando el PdC de mi representada y suspendiendo el procedimiento administrativo sancionatorio, al mismo tiempo que incorporó correcciones de oficio al PdC, entre ellas al cargo 1, disponiendo en el Resuelvo I.B.a. lo siguiente:

*“En la Acción N°5, en el acápite Forma de Implementación, deberá eliminarse la última parte el relato, que dice: “incluyendo análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS”. En el acápite Impedimento, deberá reemplazarse todo lo señalado, por lo siguiente: “En caso que exista una superación de las emisiones de MPS conforme a los resultados de la medición de la eficiencia de la malla raschel, realizada conforme a la metodología señalada en la RCA N°191/2010, durante el periodo comprometido, y se concluya que se requiere incluir medidas de control de polvo fugitivo en la cancha de carbón adicionales a las establecidas en el Considerando 7.2.1.a de la RCA 191/2010”.*

11. La corrección incorporada de oficio por la SMA tiene como fundamento las consideraciones expuestas en el Considerando 29 de la Resolución Recurrída, en cuanto se

expone que en el PdC presentado con fecha 3 de julio de 2020 no se acompañaron antecedentes específicos sobre la fundamentación, forma y características de los análisis químicos propuestos en la acción N° 5 para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS, a saber:

*“[...] Así, con el objeto de volver al cumplimiento, el PdC propone, además de las medidas contenidas en las Acciones N°3 y N°4 descritas, realizar una medición de la eficiencia de la malla raschel como medida de control de emisiones de polvo fugitivo de la cancha de carbón, conforme a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010 (Acción N°5). En relación con la forma de implementar dicha medida, el titular agregó lo siguiente: “incluyendo análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS”. Al respecto, es necesario revisar los antecedentes presentados por el titular en relación con los análisis referidos. **En el PdC presentado el 3 de julio de 2020, objeto de este pronunciamiento, no se acompañan nuevos antecedentes asociados a análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS, asimismo, no se hace referencia, en el acápite forma de implementación de la Acción N°5, a algún antecedente o documento asociado a los referidos análisis.** Luego, en PdC Refundido anterior, presentado con fecha 20 de mayo de 2020, se incluyó una medida relativa a campañas de monitoreos de MP10 y carbono negro (BC), en los mismos puntos de monitoreo de MPS establecidos en el Considerando 8 de la RCA N°191/2010, junto con un análisis de la composición química del MP10 (acción N°2), a dicha medida se adjuntó el Anexo 2, que contenía el documento “Campaña de monitoreo en Complejo Termoeléctrico Guacolda”. En el mismo PdC Refundido, se incluyó una acción en la cual se propuso la medida relativa a monitoreos de MP10 y carbono negro (BC) como metodología complementaria para medir la eficiencia de la malla raschel (acción N°6), indicando en la forma de implementación que “una vez obtenidos los resultados del monitoreo de la acción N°2, referidos a la caracterización del MP10, además de su relación con el carbono negro (BC), y las variables meteorológicas y operacionales del CTG, se complementará la medición de MPS establecida en el Considerando 8 de la RCA N°191/2010, definiendo una metodología de medición, que incluirá las variables a medir, los puntos de monitoreo y equipos a utilizar”. En atención a las referidas medidas o acciones propuestas en el referido PdC Refundido, mediante la Resolución Exenta N°4/Rol D-146-2019, de 11 de junio de 2020, se realizaron observaciones, admitiéndose la inclusión de la acción N°2 como acción independiente, y respecto de la acción N°6, se solicitó su modificación, señalando que “la medición se realizará en conformidad a la metodología establecida en la RCA N°191/2010”, junto con ello, se solicitó modificar la forma de implementación de la referida acción en el mismo sentido, esto, con el objeto de establecer como única metodología de medición de eficiencia del sistema de manejo de emisiones fugitivas de la cancha de carbón, para efectos del PdC definitivo, la dispuesta en la RCA N° 191/2010. **De este modo, no se cuenta con antecedentes específicos sobre la fundamentación, forma y características de los “análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS” incluidos en la forma de implementación de la Acción N°5 del PdC de 3 de julio de 2020;** por otro lado, el documento “Campaña de monitoreo en Complejo Termoeléctrico Guacolda” que adjuntó el titular al PdC Refundido anterior, de 20 de mayo de 2020, referido a la campaña de monitoreos de MP10 y carbono negro (BC), en los mismos puntos de monitoreo de MPS establecidos en el Considerando 8 de la RCA N°191/2010, junto con un análisis de la composición química del MP10, consiste en una propuesta somera, que no indica resultados ni conclusiones que permitan a esta SMA verificar el objetivo de incluir una nueva forma de medir la eficiencia del sistema de manejo de emisiones fugitivas de la cancha de carbón de*

*forma diversa a la establecida en la RCA. Por tanto, de acuerdo con lo señalado, la Acción N°5 del PdC será objeto de correcciones de oficio en la parte resolutive de este acto*” (énfasis agregado).

## **II. NUEVOS ANTECEDENTES ESPECÍFICOS SOBRE LA FUNDAMENTACIÓN, FORMA Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ANÁLISIS QUÍMICOS PROPUESTOS EN LA ACCIÓN N° 5 DEL PDC.**

12. En consideración a que la corrección de oficio de la acción N° 5 del PdC se fundamenta en la supuesta falta de antecedentes asociados a los análisis químicos propuestos, en anexo de esta presentación, se entrega la propuesta técnica “*Análisis de muestras de material particulado sedimentable en el Complejo Termoeléctrico Guacolda y determinación de las fuentes contribuyentes mediante análisis químico*”, elaborada por el Departamento de Física de la Facultad de Ciencia de la Universidad de Santiago de Chile, en donde, como se pasará a explicar, se subsanan las deficiencias señaladas en la Resolución Recurrída, lo que permitirá a esta Superintendencia dejar sin efecto la corrección de oficio realizada.

13. En primer término, cabe destacar que, en la propuesta técnica en cuestión, se entrega el detalle de las deficiencias que presenta la actual metodología de medición de MPS, y que afecta la representatividad de sus resultados, pues al implicar la colecta de todos los procesos que generan dicho material, no permite verificar adecuadamente la eficiencia de la malla raschel, toda vez que la medición podría estar influenciada por aportes que no provienen del carbón que se acopia en la cancha de carbón.

14. En particular, los aspectos identificados se refieren a que i) no existe una correlación entre la descarga de carbón a las pilas de la cancha y los niveles medidos de MPS, tanto en la estación interior, como en las exteriores; y, ii) se pueden configurar incumplimientos a la proporción esperada del 10% entre la masa sedimentada en la estación interna y las exteriores, que no estarían relacionadas con las emisiones fugitivas de la cancha de carbón, sino que por el contrario, serían efecto de una fuente externa, cuyo aporte no sería posible discriminar.

15. Lo anterior evidencia la necesidad de complementar la metodología actual de medición, determinando químicamente la composición del MPS medido, para poder considerar en la evaluación de eficiencia de la malla solo aquella fracción de MPS proveniente del carbón de la cancha, eliminando con ello la influencia de fuentes externas, y así evaluar realmente la eficiencia de la referida medida de mitigación.

16. Precisamente, los análisis químicos propuestos en el PdC refundido presentado el 3 de julio de 2020, perseguían fraccionar químicamente el MPS para dar cuenta del aporte real proveniente de la cancha, en los términos antes referidos.

17. De igual modo, en la propuesta técnica que se acompaña en esta presentación, se presenta el detalle del método complementario de evaluación de la eficiencia de la malla, entregando la respectiva ecuación, que da cuenta de la separación química de las muestras de MPS en sus distintas fracciones y de la resta al total de las fracciones que no provienen del carbón.

18. Al mismo tiempo, se presentan los análisis químicos requeridos para determinar la fracción de carbón, correspondientes a las siguientes técnicas: (i) elemental por Rayos X, (ii) compuesto químicos (cationes/aniones) por ICP-MS y (iii) fracción de Carbono Elemental y Orgánico por análisis termo-óptico, que permitirán en definitiva determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS. Al respecto, se describen los resultados esperados de cada uno de los análisis en comentario, así como los aspectos técnicos asociados a su ejecución. Finalmente, para efectos de evidenciar, el carácter complementario de los análisis químicos, se define un procedimiento de trabajo analítico de la muestra de MPS, que supone la determinación de la masa del MPS como se realiza en la actualidad, para después aplicar a su respecto los análisis químicos.

19. Por tanto, en atención al contenido de la propuesta técnica antes descrita, cabe estimar que se cuenta con antecedentes específicos sobre la fundamentación, forma y características de los análisis químicos incluidos en la forma de implementación de la acción N°5 del PdC refundido presentado el 3 de julio de 2020, que permiten dejar sin efecto la corrección de oficio realizada.

### **III. EN SUBSIDIO, MOTIVOS QUE FUNDAMENTAN LA SOLICITUD DE DEJAR SIN EFECTO LA CORRECCIÓN FORMULADA DE OFICIO POR LA SMA.**

20. En el muy improbable evento que esta Superintendencia estime que la presentación de los nuevos antecedentes antes descritos no constituye motivo suficiente para dejar sin efecto la corrección incorporada de oficio a la acción N° 5 del PdC, a continuación, se pasan a exponer una serie de consideraciones que permiten justificar la improcedencia de la corrección en comentario.

21. La Resolución Recurrída, al eliminar los análisis químicos propuestos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS, y vincular el impedimento de la acción exclusivamente a los resultados de la medición de la eficiencia de la malla raschel realizada conforme a la metodología de la RCA N° 191/2010, resulta contradictoria con el resto de los antecedentes de este procedimiento administrativo, ya que esta Superintendencia, con anterioridad a la aprobación del PdC, ya había permitido complementar el método de medición establecido en la referida RCA, en atención a la necesidad de contar con una evaluación de la eficiencia de la malla que considerara solo la fracción de MPS proveniente del carbón acopiado en la cancha, restando la influencia de fuentes externas, para garantizar con ello la representatividad de las mediciones, y poder evaluar realmente la eficiencia de la medida de mitigación.

a) **El monitoreo de MPS tiene por único objeto determinar la contribución de las emisiones fugitivas de la cancha de carbón.**

22. Como bien se señala en el considerando 22 de la Resolución Recurrída “[...] es importante comprender la razón por la cual está involucrado el MPS, tanto en el proceso de evaluación del proyecto "Unidad 5 Central Termoeléctrica Guacolda S.A.", como en su RCA N°191/2010, la cual se relaciona con el acopio de carbón, donde la malla raschel cumple la función de reducir la acción del viento sobre el material acopiado, disminuyendo de esta forma la suspensión del material y su posterior dispersión”.

23. Al respecto, es útil recordar que el proyecto originalmente calificado mediante la RCA N° 191/2010 consideraba el crecimiento de la cancha de carbón hasta pilas de 19 metros. En tanto, para minimizar la dispersión de MP desde la cancha, en el capítulo 6 del Estudio de Impacto Ambiental (“**EIA**”), referido al “Plan de medidas de mitigación, compensación y reparación” (Sección 2.2.1.), se consideró mantener la malla de protección de viento perimetral existente.

24. Luego, en la respuesta 1.9.b de la Adenda 1, junto con informar que la altura máxima que podrían alcanzar las pilas sería la de 15 m, para mitigar la emisión de polvo de carbón se indicó como medida la *“Instalación en torno a la cancha de carbón una malla de protección ambiental de 16 m de altura, para reducir la velocidad del viento > 50%, con lo que se consigue reducir las emisiones a < 90 %”*.

25. Ello es ratificado y complementado en la respuesta 8.7. de la Adenda 2, en donde se indica que *“Se tiene contemplado construir una pantalla cortaviento con malla Ratchell de alta densidad y 16 m de altura en torno a toda la cancha de carbón, con un sistema de aspersion de agua nebulizada. Las pilas de almacenamiento inactivas se pulverizarán con agua mezclada con un agente supresor de polvo tipo 3M LSP1100 o similar, que evitará la emisión de polvo fugitivo por efecto del viento. En caso que todas estas medidas no logren mitigar la emisión de polvo fugitivo, se tiene contemplado recubrir la malla Ratchell con una tela totalmente impermeable al viento”*.

26. Luego, a raíz del requerimiento de la autoridad evaluadora de contar con algún tipo de muestreo objetivo que permitiera determinar si las medidas propuestas lograrían mitigar la emisión de polvo fugitivo, en la respuesta 7.3. de la Adenda 3, se comprometió el monitoreo del MPS con colectores dentro y fuera de la cancha de carbón para hacer un análisis comparativo.

27. En tanto, en la sección 7.2.1.a. del Informe Consolidado de la Evaluación (“**ICE**”), referida al “Plan de Medida de Mitigación, Compensación y Reparación” para las emisiones de material particulado en la etapa de “Acopio en Cancha de Carbón”, se consideran las siguientes medidas:

- “- Las canchas de carbón cuentan con un sistema de humectación por aspersores (8 torres la cancha principal y 2 torres la cancha Norte), el que es alimentado por medio de una bomba centrífuga y es aplicado neblinas de agua en el perímetro de la cancha.*
- Dependiendo de la residencia del carbón en Cancha, se aplican soluciones encostrantes a aquellas pilas que no tienen movimiento a diario.*
- Se cuenta con camiones aljibes que humectan los caminos interiores de la cancha y disponen de una torre móvil con pitón a fin de humectar aquellas pilas en donde no se alcanza cubrir con el sistema de humectación de la Cancha.*
- En caso que todas estas medidas no logren mitigar la emisión de polvo fugitivo, se tiene contemplado recubrir la malla Ratchell con una tela totalmente impermeable al viento.*
- Instalación en torno a la cancha de carbón una malla Ratchell de alta densidad, de 16 m de altura para reducir la velocidad del viento >50% con lo que se consigue reducir las emisiones a <90%. la altura del acopio del carbón será de 15 m.*
- Compactación permanente de las pilas de carbón con cargadores frontales sobre neumáticos.*
- Humectación del carbón en el sistema de correas de descarga del Puerto y del apilador radial”*.

28. Finalmente, en el ICE también se incorpora al Plan de Seguimiento del proyecto el monitoreo de MPS, describiéndose el método a utilizar en los siguientes términos: *“Equipo de medición continua tipo CODEL o similar. Los colectores serán reemplazados en forma mensual por un periodo de un año, evaluando comparativamente los resultados entre los colectores instalados dentro de la cancha y los localizados fuera de ella”*.

29. El contenido del ICE antes expuesto es reproducido en la RCA N° 191/2010, tanto en el considerando 7, referido al “Plan de Medidas de Mitigación, Compensación y Reparación”, así como en el considerando 8 referido al “Plan de Seguimiento Ambiental Propuesto en el E.I.A. y sus Adendas”.

30. En consecuencia, conforme a los antecedentes de la evaluación ambiental, para acreditar la eficiencia de la malla raschel se requiere que el valor mensual de la masa sedimentada en las estaciones exteriores a la cancha, se encuentren bajo el 10% de la masa sedimentada en la estación interna.

31. Con todo, como ya bien se antes se expuso, el utilizar la masa total recolectada en las estaciones conlleva que dentro de los parámetros de la evaluación se incluya tanto aquella proveniente del carbón como la provenientes de otras fuentes, como sales marinas, polvo natural, emisiones vehiculares, etc., lo cual puede implicar el incrementar o reducir el MPS registrado, y en consecuencia generar resultados distorsionados, puesto que estos no dan cuenta en forma exclusiva del manejo de material realizado al interior de la cancha de carbón, como lo exige el expediente de evaluación ambiental.

32. Requiriéndose en consecuencia, de un método complementario que permita fraccionar químicamente el MPS para dar cuenta del aporte real proveniente de la cancha de carbón, en los términos dispuestos en la RCA.

**b) Discordancia de la Resolución Recurrida respecto de los actos que le sirven de antecedente.**

33. En atención a la necesidad de estimar solo la fracción de MPS que proviene de la cancha de carbón para efectos de asegurar la representatividad del monitoreo respecto del manejo de dicho combustible, en el PdC refundido presentado con fecha 20 de mayo de 2020 se incluyó la acción N° 2 consistente en la *“realización de una campaña de monitoreo de MP10 y carbono negro (BC), junto con un análisis de la composición química del MP10, mediciones de meteorología básicas y de permeabilidad de la malla raschel”*, con el objeto de complementar el monitoreo de MPS mediante la definición de una metodología que incluyera los parámetros mencionados, lo cual correspondía a la acción N° 5 de dicha versión refundida del PdC.

34. El detalle de dichas campañas fue entregado en el Anexo 2 del PdC refundido, correspondiente a una propuesta técnica elaborada por un equipo consultor experto en ciencias atmosféricas. Cabe destacar que en la introducción de dicho documento, como justificación de los monitoreos propuestos se indicó que *“Por encargo de Guacolda Energía S.A., a continuación se presenta una propuesta de campaña de monitoreo asociada a la cancha de carbón del Complejo Termoeléctrico Guacolda para efectos de determinar con mayor precisión la influencia de las distintas fuentes del proyecto en los niveles de partículas, considerando también aquellas que no guardan relación con las actividades de Guacolda entre las que pueden encontrarse*



*aerosoles marinos y para todo lo cual se advierte que la dirección y velocidad del viento tiene incidencia relevante”.*

35. Luego, con fecha 11 de junio de 2020, mediante la Resolución Exenta N°4/Rol D-146-2019, esta Superintendencia, respecto de la propuesta de complementar el monitoreo de MPS establecido en la RCA, formuló una serie de observaciones específicas que en lo concreto implicaron la validación de la necesidad de dicho complemento.

36. En particular, se señaló que *“En relación a la acción N° 6, referida a “Medición de la eficiencia de la malla raschel en conformidad a la metodología de medición a que se refiere la acción N° 5”, la descripción de la acción debe ser modificada indicando que la medición se realizará en conformidad a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010. El acápite Forma de Implementación debe redactarse considerando la observación precedente, por lo que debe indicar que la eficiencia del sistema de malla raschel se medirá conforme a la metodología de medición establecida en la RCA N° 191/2010 y que dicho análisis se complementará con los resultados del monitoreo establecido en la acción N° 2 [...]”.*

37. Por tanto, no resulta efectivo lo indicado por la SMA en el considerando 29 de la Resolución Recurrída en cuanto a que *“[...] respecto de la acción N°6, se solicitó su modificación, señalando que “la medición se realizará en conformidad a la metodología establecida en la RCA N°191/2010”, junto con ello, se solicitó modificar la forma de implementación de la referida acción en el mismo sentido, esto, con el objeto de establecer como única metodología de medición de eficiencia del sistema de manejo de emisiones fugitivas de la cancha de carbón, para efectos del PdC definitivo, la dispuesta en la RCA N° 191/2010”.*

38. Lo anterior, ya que si bien la medición de MPS se efectuaría conforme a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010, al mismo tiempo se indicó expresamente que dicho análisis se complementaría con los resultados del monitoreo establecido en la acción N° 2, correspondiente a la campaña de monitoreo de MP10 y carbono negro (BC), al análisis de la composición química del MP10, a mediciones de meteorología básicas y de permeabilidad de la malla raschel. Estas campañas, evidentemente implicaban un efecto sobre los resultados del monitoreo de MPS, pues perseguían determinar con mayor precisión la influencia de las distintas fuentes del proyecto en los niveles de partículas.

39. Cabe también hacer presente que en dicha oportunidad, esta Superintendencia no efectuó observación alguna respecto a la suficiencia del contenido del Anexo 2 del PdC refundido presentado el 20 de mayo de 2020, correspondiente a la propuesta de las campañas de monitoreo complementarias en análisis.

40. De ahí que, cuando en la versión refundida del PdC presentada el 3 de julio de 2020, se mantiene la posibilidad de complementar las mediciones de MPS con análisis químicos para determinar el aporte específico de la cancha de carbón en la composición del MPS, la eliminación de dichos análisis en virtud de la Resolución Recurrída no resulta armónica con lo resuelto antes mediante la Resolución Exenta N°4/Rol D-146-2019, que como bien se explicó, sí admitió la posibilidad de incluir monitoreos complementarios para asegurar la representatividad de los resultados respecto del manejo del carbón dentro de la cancha.

41. En dicho sentido, la necesidad de complementar la actual metodología de medición del MPS para efectos de restar la influencia de fuentes externas a la cancha de carbón, fue

un aspecto considerado en la Resolución Exenta N°4/Rol D-146-2019 que sirve de antecedente y fundamento a la Resolución Recurrída, más aun teniendo en consideración el detalle de las deficiencias del monitoreo identificadas en la propuesta técnica “Análisis de muestras de material particulado sedimentable en el Complejo Termoeléctrico Guacolda y determinación de las fuentes contribuyentes mediante análisis químico, antes referenciada.

c) **La propuesta realizada cumplió con criterios de integridad, eficacia y verificabilidad que exige el artículo 9° del Reglamento sobre Programas de Cumplimiento.**

42. Por otra parte, cabe indicar que la propuesta asociada a la realización de análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS, es autosuficiente para alcanzar la finalidad de discriminar las fuentes aportantes.

43. Es del caso señalar, que cuando en la forma de implementación de la acción N° 5 del PdC refundido presentado el 3 de julio de 2020, referida a la “Medición de la eficiencia de la malla raschel”, se indica que “Mensualmente se efectuará el monitoreo de la eficiencia de la malla raschel en conformidad a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010 [...], incluyendo análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS”, necesariamente dichos análisis, conforme al estado actual de la técnica, al perseguir el fraccionamiento químico de las muestras de MPS, corresponden a los siguientes: i) Análisis elemental por Fluorescencia de Rayos X (FRX), ii) Análisis compuestos químicos por espectrometría de masas con inducción de plasma (ICP-MS) y iii) Análisis termo-óptico de carbono elemental (EC) y orgánico (OC).

44. En dicho sentido, la acción N° 5 cumple los requerimientos de contenido del PdC establecidos en el artículo 7° del Decreto Supremo N° 30, de 2012, del Ministerio del Medio Ambiente, que Aprueba Reglamento sobre Programas de Cumplimiento, Autodenuncia y Planes de Reparación (“**D.S. N° 30/2012**”), toda vez que su descripción está expresada en términos tales que evidencian la eficacia y seriedad de la propuesta de realización de los análisis químicos, puesto que, al señalarse el objetivo de los mismos, se delimita su naturaleza, sin requerirse en consecuencia mayores detalles.

45. De ahí que, en opinión de mi representada, las consideraciones expuestas en la Resolución Recurrída en cuanto a que “En el PdC presentado el 3 de julio de 2020, objeto de este pronunciamiento, no se acompañan nuevos antecedentes asociados a análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS, asimismo, no se hace referencia, en el acápite forma de implementación de la Acción N°5, a algún antecedente o documento asociado a los referidos análisis”, no justifican del todo el ejercicio de la facultad de corrección de oficio del PdC, ya que ésta debe tener por objeto subsanar deficiencias que pudieran conllevar a su rechazo, cuestión que no se verifica en el caso concreto.

46. Al respecto, conviene relevar que el rol de la SMA en relación a la aprobación de un PdC es el de velar porque dicho programa cumpla con el rol de protección al medio ambiente, a través de la exigencia a los titulares de los antecedentes necesarios para evaluar el debido cumplimiento de los criterios de integridad, eficacia y verificabilidad

establecidos en el artículo 9 del D.S. N° 30/2012<sup>1</sup>, los cuales en ningún caso han sido objeto de observación respecto de la Acción N° 5 en cuestión, no requiriéndose en consecuencia un mayor estándar de información.

47. Ahora bien, aun cuando los análisis químicos propuestos en la acción N° 5 satisfacen las exigencias de integridad, eficacia y verificabilidad, en la propuesta técnica que se acompaña en anexo de esta presentación, se presentan antecedentes específicos sobre la fundamentación, forma y características de los análisis químicos del tipo (i) elemental por Rayos X, (ii) compuesto químicos (cationes/aniones) por ICP-MS y (iii) fracción de Carbono Elemental y Orgánico por análisis termo-óptico, que permitirán en definitiva determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS.

**IV. PROPUESTA DE CONTENIDO DE LA ACCIÓN N° 5 DEL PDC.**

En caso que esta Superintendencia acoja el presente recurso de reposición y proceda a dejar sin efecto la corrección de oficio incorporada a la acción 5 del PdC, a continuación, se especifica el contenido de la acción en comento en atención a la propuesta técnica acompañada en anexo de esta presentación.

2.2.2 ACCIONES PRINCIPALES POR EJECUTAR						
Incluir todas las acciones no iniciadas por ejecutar a partir de la aprobación del Programa.						
N° identificador	DESCRIPCIÓN  (describir los aspectos fundamentales de la acción y forma de implementación, incorporando mayores detalles en anexos si es necesario)	PLAZO DE EJECUCIÓN  (periodo único a partir de la notificación de la aprobación del PDC, definido con un inicio y término de forma independiente de otras acciones)	INDICADORES DE CUMPLIMIENTO  (datos, antecedentes o variables que se utilizarán para valorar, ponderar o cuantificar el avance y cumplimiento de las acciones y metas definidas)	MEDIOS DE VERIFICACIÓN  (a informar en Reportes de Avance y Reporte Final respectivamente)	COSTOS ESTIMADOS  (en miles de \$)	IMPEDIMENTOS EVENTUALES  (indicar según corresponda: acción alternativa que se ejecutará y su identificador, implicancias que tendría el impedimento y gestiones a realizar en caso de su ocurrencia)
5	Acción	A partir del 4° mes contado desde la notificación de la aprobación del PdC y durante un año.	Medición de la eficiencia de la malla raschel, en la forma y plazo comprometido.	Reportes de avance	5.500	Impedimentos
	Medición de la eficiencia de la malla raschel.			Consolidado de monitoreos mensuales.		En caso que exista una superación de las emisiones de MPS conforme a los resultados de la medición de la eficiencia de la malla

<sup>1</sup> Segundo Tribunal Ambiental de Santiago, Roles N° R-75-2015 y N° R-104-2016

			<p>raschel, que acrediten que esta no consigue reducir las emisiones de MPS que se le atribuyan a la cancha de carbón a &lt;90%, durante el periodo comprometido, y se concluya que se requiere incluir medidas de control de polvo fugitivo en la cancha de carbón adicionales a las establecidas en el Considerando 7.2.1.a. de la RCA 191/2010.</p>
<p><b>Forma de Implementación</b></p>		<p><b>Reporte final</b></p>	<p><b>Acción alternativa, implicancias y gestiones asociadas al impedimento</b></p>
<p>Mensualmente se efectuará el monitoreo de la eficiencia de la malla raschel en conformidad a la metodología establecida en la RCA N° 191/2010 consistente en la comparación entre las mediciones de MPS dentro y fuera de la cancha de carbón, respecto de las 4 estaciones de monitoreo, incluyendo análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS. Los análisis químicos serán del tipo (i) elemental por Rayos</p>		<p>Informe final consolidados con todos los monitoreos mensuales, que incluya evaluación de la eficiencia de la malla raschel.</p>	<p>Verificado el impedimento, se informará a la SMA en el plazo de 5 días hábiles. A su vez, se dará inicio a la ejecución de la acción alternativa N° 9, y una vez esta ejecutada se procederá a la ejecución de la acción N° 10.</p>

<p>X, (i) compuesto químicos (cationes/aniones) por ICP-MS y (iii) fracción de Carbono Elemental y Orgánico por análisis termo-óptico. Estos análisis químicos se desarrollarán conforme a la propuesta técnica "Análisis de muestras de material particulado sedimentable en el Complejo Termoeléctrico Guacolda y determinación de las fuentes contribuyentes mediante análisis químico", elaborada por el Departamento de Física de la Facultad de Ciencia de la Universidad de Santiago de Chile.</p>			
---	--	--	--

**POR TANTO,**

Se solicita a Ud. se sirva tener por interpuesto el presente recurso de reposición en contra de la Resolución Exenta N° 5/ROL D-146-2019, de 14 de agosto de 2020, de esta Superintendencia, que aprobó el PdC de mi representada e incorporó correcciones de oficio, y que, considerando los antecedentes de hecho y de derecho expuestos en el cuerpo de este escrito, lo acoja en todas sus partes, procediendo a mantener como parte del contenido de la acción N° 5 del PdC refundido presentado el 3 de julio de 2020, los análisis químicos para determinar el aporte específico de las emisiones de la cancha de carbón en la composición del MPS, conforme a la propuesta presentada en la sección IV del presente recurso.

SEBASTIAN AVILES BEZANILLA  
 Firmado digitalmente por SEBASTIAN AVILES BEZANILLA  
 Fecha: 2020.09.04 10:56:39 -04'00'  
**Sebastián Avilés Bezanilla**  
**Guacolda Energía S.A.**



## Propuesta técnica

---

Análisis de muestras de material particulado sedimentable en el Complejo Termoeléctrico Guacolda y determinación de las fuentes contribuyentes mediante análisis químico.

Departamento de Física  
Facultad de Ciencia  
Universidad de Santiago de Chile

# Índice

1	Antecedentes .....	3
2	Necesidad de incorporar de forma complementaria un método de especiación de MPS .....	5
3	Propuesta metodológica complementaria de especiación del MPS.....	7
3.1	Metodología de especiación del MPS y propuesta de cálculo. ....	7
3.2	Composición química del carbón manejado en la cancha del Complejo Termoeléctrico Guacolda.....	8
3.3	Forma y características de los Análisis Químicos.....	9
3.3.1	Descripción de la técnica FRX. ....	10
3.3.2	Descripción de la técnica (ICP-MS) para determinar los compuestos químicos.....	16
3.3.3	Descripción de la técnica Termo-óptica para determinar EC/OC .....	17
4	Procedimiento de trabajo analítico de la muestra de MPS. ....	20
4.1	Manejo de las muestras de MPS. ....	20
5	Resultados esperados .....	21

# 1 Antecedentes

La cancha de acopio de carbón del Complejo Termoeléctrico Guacolda cuenta con una malla raschel, de una altura de 16 m. que tiene por función disminuir las emisiones y las fugas de polvo de carbón, posiblemente levantado por el viento y/o actividades realizadas al interior de la cancha.

Lo anterior, en cumplimiento del considerando 7.2.1.a. de la RCA N° 191/2010 que calificó favorablemente la Unidad 5 del Complejo, y que, dentro de las medidas de mitigación de polvo fugitivo asociado al sistema de manejo de carbón, en particular para su acopio, contempla lo siguiente:

- “*Instalación en torno a la cancha de carbón una malla raschel de alta densidad, de 16 m de altura para reducir la velocidad del viento >50% con lo que se consigue reducir las emisiones a < 90%*”.

En tanto, la evaluación de la eficiencia de la malla, de acuerdo a lo indicado en la RCA, se efectúa mediante un monitoreo de la masa de polvo que mensualmente se capta en monitores del tipo sedimentación (MPS<sup>1</sup>), localizadas en cuatro estaciones (ver ubicaciones en Fig. 1 y fotos de la infraestructura para cada estación en Fig. 2).

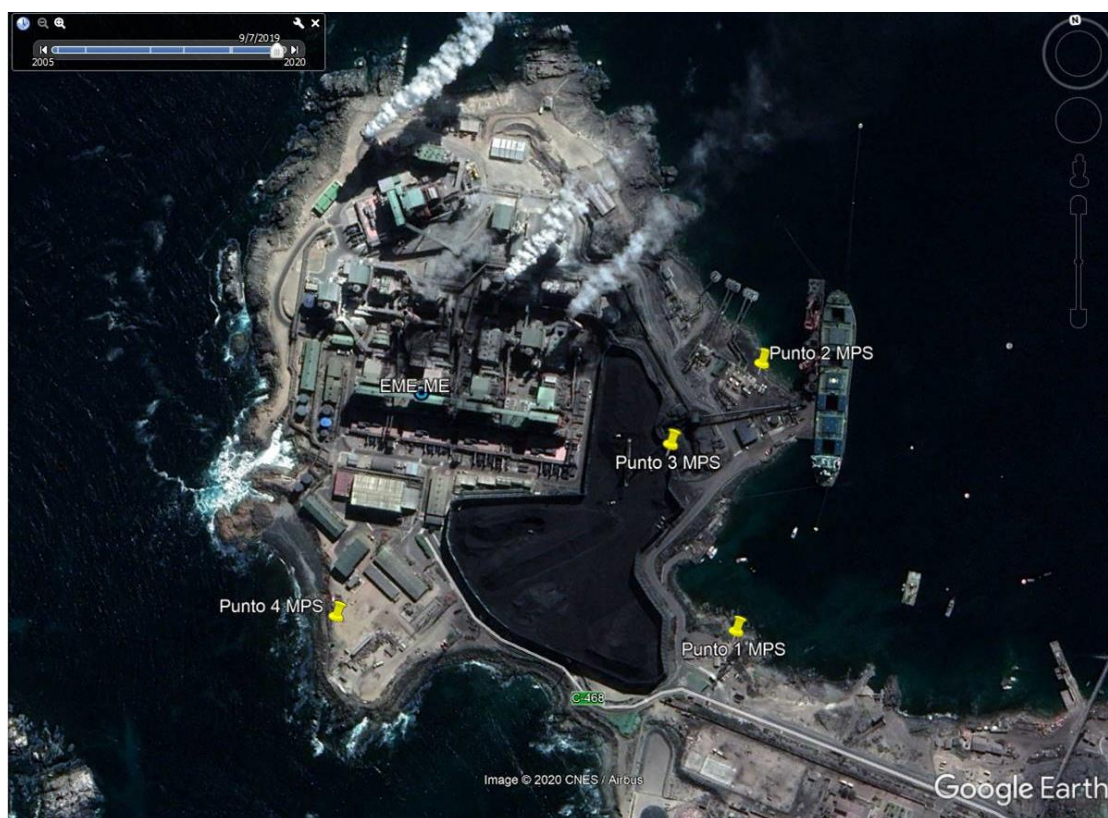


Figura 1. El Complejo Termoeléctrico Guacolda con las ubicaciones de las estaciones de MPS: Puntos 1, 2 y 4 (externas a la cancha) y 3 (interna [dentro de la cancha]).

Para evidenciar el efecto de mitigación de la malla sobre las emisiones de polvo de la cancha de carbón, que en la RCA N°191/2010 se expresa como una reducción de emisiones a < 90%, lo que implica que la eficiencia de la malla se verifica cuando el valor mensual de la masa sedimentada en las estaciones

---

<sup>1</sup> Material Particulado Sedimentable.



denominadas externas 1, 2 y 4 se encuentre bajo el 10% de la masa sedimentada en la estación interna (Punto 3).



Punto 1



Punto 2

Punto 3

Punto 4



*Figura 2. Detalles de las plataformas con los monitores de MPS en Puntos 1-2-3-4.*

El Material Particulado (MP) es un contaminante atmosférico formado por una mezcla compleja de materiales sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden variar significativamente en tamaño, forma y composición dependiendo fundamentalmente de su origen. La parte más pesada (y por lo tanto más grande) de este material es depositada en las superficies cercanas a la fuente. El material particulado fino ( $MP_{2,5}$ ) puede permanecer en el aire desde unos días a varias semanas y puede viajar cientos de kilómetros, el material particulado grueso ( $MP_{10}$ ) puede permanecer desde unos minutos hasta varias horas y puede viajar desde unos metros hasta algunos kilómetros y el material particulado más grueso (diámetro  $> 10 \mu m$ ) permanece en el aire unos minutos y se deposita muy cerca de donde es emitido es decir menos de 100 m. Por ello, lo que se deposita en sectores cercanos a la fuente es el material particulado con tamaños de  $\sim 10 \mu m$  o mayores, correspondiendo esto a lo que se llama material particulado sedimentable (MPS).

En general, el MPS es generado por procesos mecánicos, tales como abrasión, vibración, roces, viento, etc. y está formado por partículas de tierra, esporas, sales marinas, restos orgánicos y otras partículas relativamente grandes. Los elementos mayoritarios que se encuentran en el MPS son el silicio, aluminio, hierro y magnesio, antimonio, calcio. Los compuestos mayoritarios corresponden a partículas de la tierra, es decir silicatos, óxidos de aluminio, óxidos de hierro, óxidos de titanio, potasio,

etc. La morfología de las partículas se presenta en forma irregular, rectangular-laminar, alargada, amorfa. Por otra parte, las emisiones de fuentes emisoras antropogénicas o naturales cercanas, se van a agregar a la composición que contenga el MPS monitoreado, enriqueciendo la proporción de algunos compuestos por sobre lo natural esperado. Por ejemplo, en lugares con mucho tráfico vehicular, el  $\text{NO}_2$  emitido por el tubo de escape puede, mediante reacciones químicas, convertirse en ácido nítrico que se puede depositar junto con las partículas de MPS natural. Por consiguiente, el MPS tiene aportes en su composición que provienen de fuentes ajenas a la tierra. En el caso del Complejo Guacolda, a las emisiones fugitivas del carbón manejado en cancha, se suman al MPS natural (proveniente del suelo y aerosoles marinos) recolectados en las estaciones instaladas al interior y exterior de la cancha de acopio.

La medición de MPS se realiza mediante un colector pasivo, que consiste en una superficie de acero inoxidable que se deja abierta para que se depositen partículas de todas las fuentes durante un tiempo determinado, que normalmente es un mes.

## 2 Necesidad de incorporar de forma complementaria un método de especiación de MPS

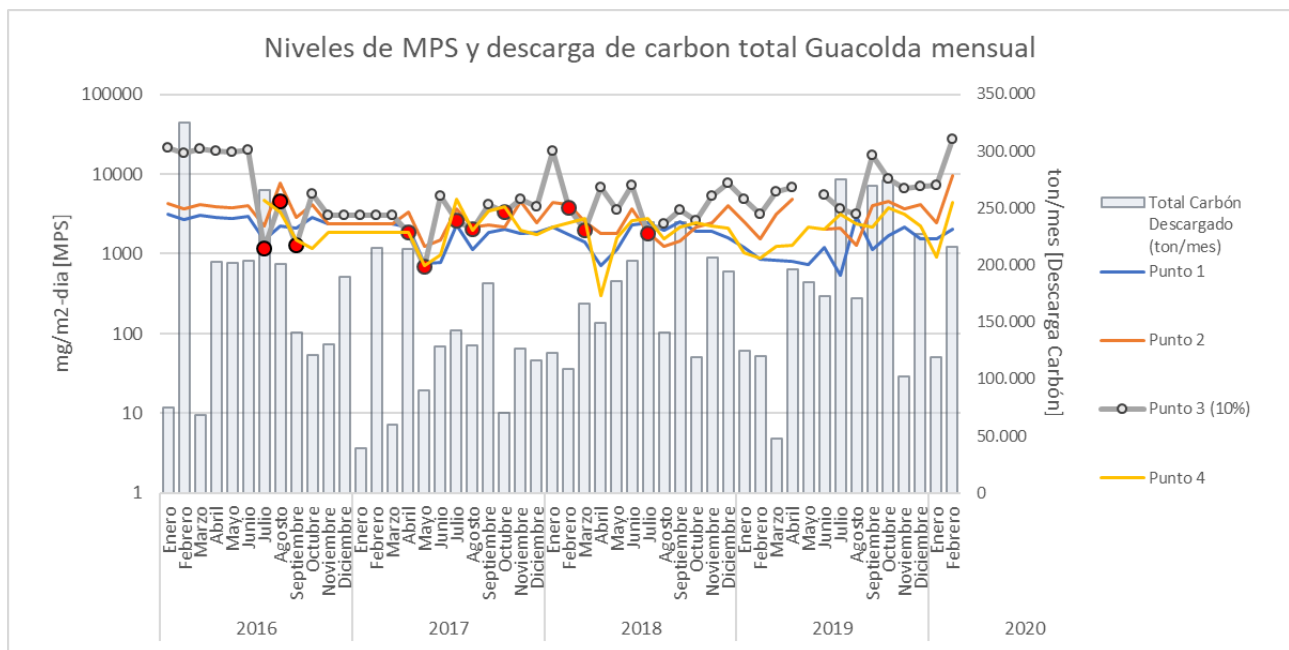
Como se mencionó anteriormente, la medición actual del MPS, implica su colecta durante todo un mes y representa un promedio de los distintos procesos que generan este material particulado, sin poder verificar adecuadamente la eficiencia de la malla raschel, toda vez que la medición podría estar influenciada por aportes que no provienen del carbón que se acopia en la cancha. Por ello, la evaluación del cumplimiento de lo comprometido en la RCA, respecto de la proporción de la masa de MPS exterior e interior, requiere ser complementada para asegurar que se obtenga el cálculo adecuado de la eficiencia de malla, subsanando las deficiencias que se detallan a continuación:

- El cálculo actual (estándar) para la evaluación de la eficiencia de la malla conforme a la RCA, se realiza utilizando toda la masa de MPS medida en las estaciones exteriores 1, 2 o 4, y lo divide por la masa total de MPS medido en la estación 3 interior (expresado en la ecuación 1). Estas masas incluyen tanto el polvo fugitivo del carbón en cancha y otros aportes, como polvo natural o sales marinas. Cabe señalar que el cumplimiento de la eficiencia de la malla según la RCA, se verifica cuando el resultado de la ecuación (1) sea menor a 10%.

$$\text{Método estándar} \quad \left( \frac{MPS_{ext}}{MPS_{int}} \right)_{tot} < 10\% \quad (1)$$

En que  $MPS_{ext}$  corresponde al MPS total medido individualmente en las estaciones 1, 2, o 4, mientras que  $MPS_{int}$  corresponde al MPS medido en la estación 3. Por lo tanto, la condición de que la proporción entre el MPS exterior e interior se mantenga por debajo del 10%, depende de que las masas del  $MPS_{int}$  y  $MPS_{ext}$ , varíen también de manera proporcional, es decir que ambos aumenten o ambos bajen en proporciones similares. Por el contrario, si el  $MPS_{int}$ , que da cuenta principalmente del polvo fugitivo dentro de la cancha, disminuye y por otro lado el  $MPS_{ext}$  se mantiene o incluso aumenta, la ecuación 1 dará como resultado que la proporción aumente, con la posibilidad de no cumplirse el 10%. Es decir, un mes en que haya muy poca actividad en la cancha o por otro lado, que se recolecte poco MPS al interior de la cancha, se puede verificar una situación de incumplimiento, en circunstancia que una menor emisión al interior de la cancha debiera asegurar que se cumpla el supuesto de la ecuación 1.

En dicho sentido, la Figura 3 muestra los datos históricos de MPS, desde enero 2016 hasta febrero 2020, en los cuales es posible observar la no correlación, antes descrita, entre la descarga de carbón a las pilas de la cancha y los niveles medidos de MPS tanto en la estación interior como en las exteriores. Por tanto, no se observa que exista un patrón de fluctuación del MPS respecto de la fluctuación del manejo de carbón por ejemplo (descarga desde buque), dándose el caso que cuando se midieron las menores concentraciones de MPS en interior (septiembre 2016, mayo 2017), se produjo el incumplimiento según la ecuación 1. Los puntos destacados en rojo en la Figura 3 dan cuenta de esta situación.



*Figura 3. Masa de polvo sedimentado en los cuatro Puntos, en unidad mg/mes, y cantidad de carbón descargado en cancha, en unidades de toneladas mensuales. Para el Punto 3 (línea gris con círculos), se muestra el 10% de la masa colectada. El cumplimiento requiere que los niveles en Punto 3 (10%) estén siempre por encima de las masas sedimentadas en las otras estaciones (1, 2 y 4, representadas en la líneas azul, naranja y amarilla respectivamente).*

- Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente, la metodología utilizada actualmente para verificar el cumplimiento de la RCA respecto de la eficiencia de la malla, utiliza la masa total recolectada en las estaciones exteriores (1, 2 o 4) y la divide por la masa total de la estación 3, de acuerdo a la ecuación 1. Ello, puede conllevar a una situación de incumplimiento de la proporción esperada del 10% producto de un escenario como el que a continuación se describe, en donde un agente externo a la cancha puede generar una distorsión en las mediciones. Si por ejemplo, existe aumento significativo en el tránsito de vehículos por los caminos cercanos a la estación 4, por mencionar una, entonces este monitor de MPS puede colectar una mayor masa de polvo que el resto de los monitores. Bajo esta condición, se puede configurar un incumplimiento a la ecuación 1 que no estaría relacionada con las emisiones fugitivas de la cancha de carbón, por el contrario sería efecto de una fuente externa. En consecuencia, el método de medición de MPS, tal como se realiza hoy, debe ser complementado para poder discriminar el aporte real de la cancha de carbón, y así poder evaluar su verdadera eficiencia, que es el objetivo de la evaluación ambiental.

Los escenarios descritos anteriormente motivan a un análisis y/o revisión de antecedentes o literatura, para ver la posibilidad de identificar las fuentes que contribuyen al material particulado sedimentable monitoreado, de manera de separar la fracción de MPS que proviene de la cancha (polvo fugitivo de

manejo de carbón) y el material sedimentable que proviene de otras fuentes. Dicha determinación, permitirá reducir en gran medida el efecto distorsionador de la contribución de fuentes distintas a la cancha, logrando la finalidad de tener una medición más representativa de la eficiencia real de la malla raschel para mitigar las emisiones de polvo fugitivo mencionadas.

### 3 Propuesta metodológica complementaria de especiación del MPS.

#### 3.1 Metodología de especiación del MPS y propuesta de cálculo.

En consideración a lo descrito en la sección anterior, se propone, en complemento a la metodología existente, realizar la determinación química de la composición del MPS medido, para así evaluar si se cumple la reducción de 90% de las emisiones de polvo de la cancha, restando la influencia de las fuentes externas, permitiendo así determinar el aporte de las emisiones de la cancha al MPS.

Al analizar químicamente el MPS proveniente de las estaciones, se puede esperar que se obtengan compuestos provenientes del suelo (como  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , etc.), carbono elemental, carbono orgánico, cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ), aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{=}$ ), además de metales en concentraciones menores. Un ejemplo de composición química esperada del MPS se muestra en la Figura 4a. Los compuestos químicos del MPS se pueden agrupar dependiendo de las fuentes que los emiten, tal como lo muestra el diagrama de la Figura 4b. La agrupación se realiza utilizando los perfiles químicos de las fuentes, descrito en la próxima sección.

Como ejemplo, la Figura 4b, muestra que la mayor parte del MPS de la estación 3 provendría de la resuspensión de carbón de la cancha, pero además tiene una fracción atribuible a sales marinas y material de la superficie natural del suelo que es introducido en la cancha por acción del viento. La estación 2 por su parte tiene, para efectos del ejemplo, aportes del carbón proveniente de la cancha, del suelo, sales marinas y material particulado proveniente de las emisiones de vehículos, tal como se aprecia en la barra derecha de la Figura 4b.

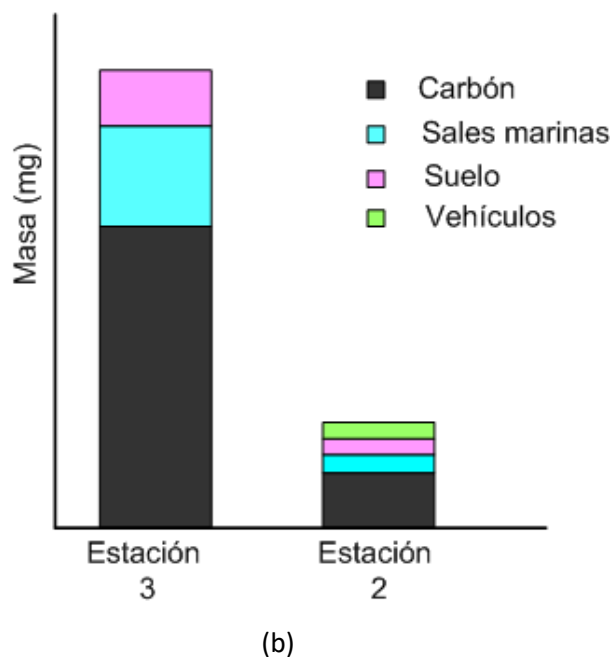
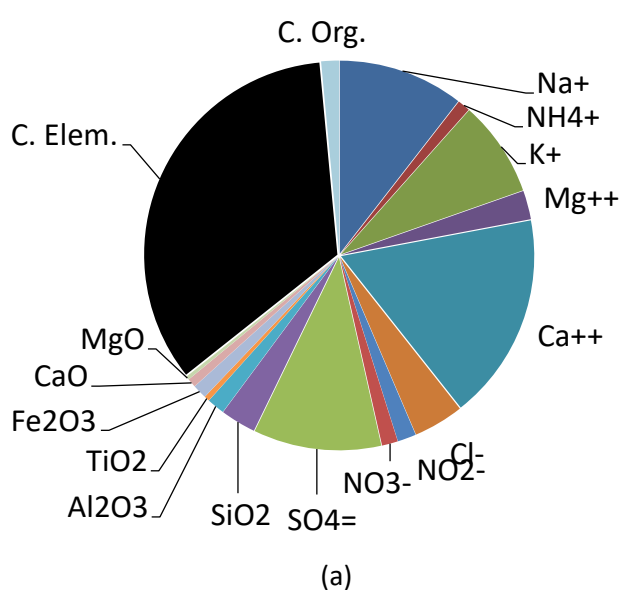


Figura 4. (a) Ilustración del fraccionamiento químico de las muestras de MPS y los compuestos que se pueden esperar en los sitios de medición. (b) Separación de los compuestos en las fuentes que lo emiten.

Dado lo explicado anteriormente sobre el cálculo actual (estándar) obtenido de la ecuación (1), se propone de manera complementaria el siguiente método de evaluación de la eficiencia de la malla conforme a la RCA:

$$\text{Método Complementario} \quad \left( \frac{MPS_{ext}}{MPS_{int}} \right)_{carb} < 10\% \quad (2)$$

El subíndice “carb” de la ecuación (2) se refiere a la fracción del MPS que proviene del polvo fugitivo del carbón presente tanto en la cancha ( $MPS_{int}$ ) como en el exterior ( $MPS_{ext}$ ).

Para lograr lo propuesto, se debe separar químicamente las muestras de MPS en sus distintas fracciones y restar al total las fracciones que no provienen del carbón. Usando como referencia la Figura 4b, la propuesta consistirá en utilizar en la ecuación 2, solo la fracción atribuible al “carbón” que se muestra en color negro.

De este modo se elimina la influencia que puedan tener otras fuentes en la evaluación de la eficiencia de la malla requerida por la RCA (referenciado en la Figura 4b como magenta, verde y celeste).

### 3.2 Composición química del carbón manejado en la cancha del Complejo Termoeléctrico Guacolda.

En concreto, en la Figura 5a se grafica la composición química del carbón presente en la cancha del Complejo Guacolda, que fue elaborada a partir de los certificados de calidad entregados por los productores de carbón de origen australiano y colombiano. En ella se muestra que la composición química tiende a ser relativamente similar a pesar de sus orígenes. Se puede observar también, que más del 60% de la composición total de estos carbones, consiste en carbono elemental, es decir átomos de carbono ordenados en una estructura hexagonal. El carbono elemental, por su parte, viene mezclado con átomos de hidrógeno, nitrógeno y oxígeno además de una fracción denominada ceniza que a su vez tiene varios compuestos comunes al polvo natural y que se muestran en la Figura 5b. En el caso específico de la ceniza contenida en el carbón, se tiene que la Silica, la Alúmina y el Oxido de Hierro conforman más del 90% del total de la composición. Cabe puntualizar que estos tres compuestos son también la fracción más importante del polvo natural<sup>2</sup>, lo que será tomado en cuenta al momento de fraccionar el aporte del carbón al MPS.

---

<sup>2</sup> <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-0>

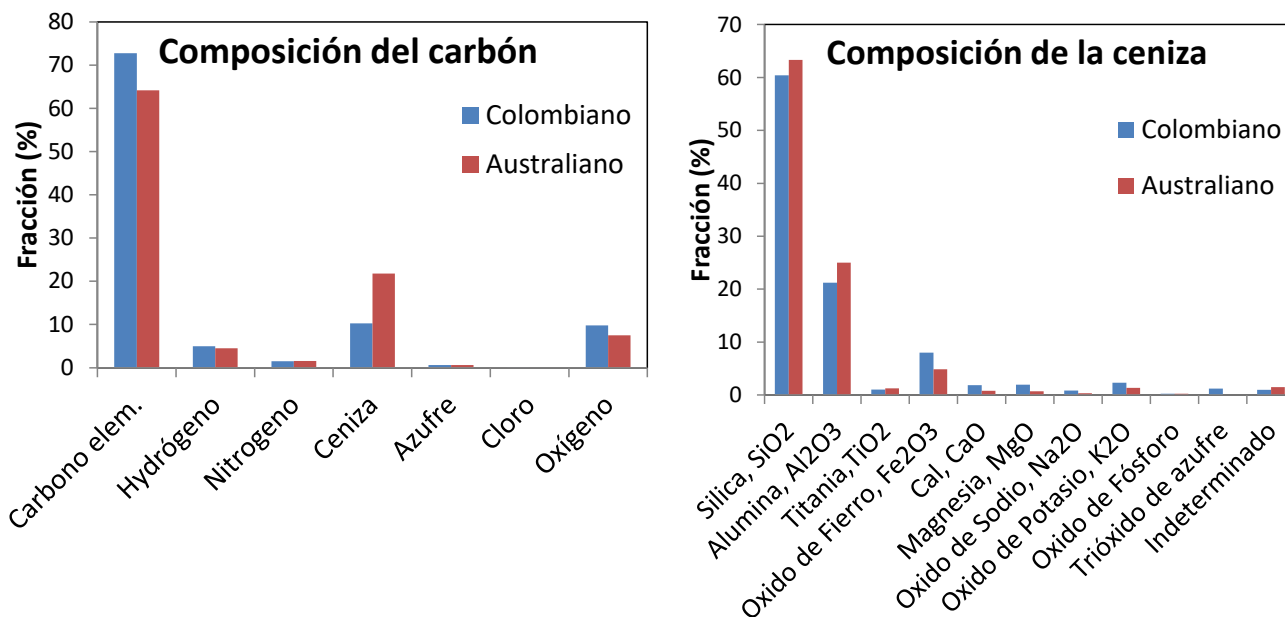


Figura 5. (a) Composición por peso del carbón utilizado en la Central Guacolda. (b) Composición por peso de la ceniza presente en el carbón. Obtenido de certificados de origen.

### 3.3 Forma y características de los Análisis Químicos

Para determinar la fracción de carbón y esta pueda ser utilizada en el cálculo del método complementario propuesto en la ecuación 2, se deben hacer análisis químicos de tres tipos: (1) elemental por Rayos X, (2) compuesto químicos (cationes/aniones) por ICP-MS y (3) fracción de Carbono Elemental y Orgánico por análisis termo-óptico. A continuación, se pasan a exponer los resultados esperados de cada uno de los análisis en comento.

1. **Análisis elemental por Fluorescencia de Rayos X (FRX).** Con este análisis se obtienen las masas de los siguientes elementos: Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Sm, Eu, Tb, W, Au, Hg, Tl, Pb. Este método nos va a permitir reconstruir la mayor parte de los compuestos provenientes del polvo natural de superficie y de la ceniza proveniente en el carbón, tales como sílice, alumina, etc. Por ejemplo, el método de fluorescencia de rayos X permite obtener la masa de Si y utilizando la técnica de estequiometría de masas se puede obtener por consiguiente la masa del dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>). De igual manera, a partir de la masa del aluminio (Al), se puede determinar la masa del óxido de aluminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Lo mismo aplica para otros componentes como CaO, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, MgO, MnO, Na<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>.

Cabe hacer presente, que este tipo de análisis no puede medir los elementos más livianos que representan una fracción importante del MPS, como lo son el carbono, nitrógeno y oxígeno, por ello se requiere de las otras dos técnicas para su determinación.

2. **Análisis compuestos químicos por espectrometría de masas con inducción de plasma (ICP-MS).** Con esta técnica, se obtienen las fracciones de los compuestos más livianos y solubles en agua, tales como cloruro (Cl<sup>-</sup>), nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>) y los

cationes de especies como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ). Estas masas pueden provenir de emisiones de vehículos, emisiones industriales, emisiones de hornos, etc.

Cabe señalar, que de este tipo de análisis no es posible obtener la fracción no soluble en agua, como el Carbono Elemental y algunos derivados del carbono, los cuales se obtienen por la siguiente técnica.

3. **Análisis termo-óptico de carbono elemental (EC) y orgánico (OC).** Como se muestra en la Figura 5a, más del 60% del carbón utilizado de combustible se compone de carbono elemental que será determinado con este método. Esta técnica permite también determinar la fracción de Carbono Orgánico del MPS que puede provenir de procesos de combustión.

A continuación, se detallan los aspectos técnicos de cada uno de los análisis químicos propuestos.

### **3.3.1 Descripción de la técnica FRX.**

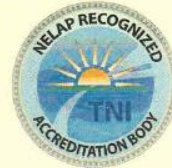
La técnica de Fluorescencia de Rayos X (FRX) es muy utilizada porque permite obtener concentraciones de elementos desde sodio ( $Z = 11$ ) hasta el americio ( $Z = 95$ ) en concentraciones que van desde 0,1 ppm hasta 100%. El análisis se hará en el laboratorio Chester LabNet, en calle Park 217, 12242 SW Garden Pl, Tigard, OR 97223, Estado Unidos.

CHESTER LabNet es un laboratorio acreditado por el “Programa Nacional de Acreditación de Laboratorios Ambientales de Estados Unidos”, NELAP. Chester LabNet que se especializa en análisis de muestras inorgánicas de calidad del aire. Chester LabNet tiene gran conocimiento y experiencia con los métodos usados en calidad del aire y sus variaciones. El certificado del laboratorio se muestra a continuación:



# OREGON

## Environmental Laboratory Accreditation Program



**Chester LabNet**

NELAP Recognized

**OR100051**

12242 SW Garden Place

Tigard, OR 97223

IS GRANTED APPROVAL BY ORELAP UNDER THE 2009 TNI STANDARDS, TO PERFORM ANALYSES ON ENVIRONMENTAL SAMPLES IN MATRICES AS LISTED BELOW :

<i>Air</i>	<i>Drinking Water</i>	<i>Non Potable Water</i>	<i>Solids and Chem. Waste</i>	<i>Tissue</i>
Chemistry				

AND AS RECORDED IN THE LIST OF APPROVED ANALYTES, METHODS, ANALYTICAL TECHNIQUES, AND FIELDS OF TESTING ISSUED CONCURRENTLY WITH THIS CERTIFICATE AND REVISED AS NECESSARY.

ACCREDITED STATUS DEPENDS ON SUCCESSFUL ONGOING PARTICIPATION IN THE PROGRAM AND CONTINUED COMPLIANCE WITH THE STANDARDS.

CUSTOMERS ARE URGED TO VERIFY THE LABORATORY'S CURRENT ACCREDITATION STATUS IN OREGON.

Travis Bartholomew  
Oregon State Public Health Laboratory  
ORELAP Program Manager  
7202 NE Evergreen Parkway, Suite 100  
Hillsboro, OR 97124

EFFECTIVE DATE : 06/23/2020

EXPIRATION DATE : 06/22/2021

Certificate No : OR100051 - 012







# OREGON

## Environmental Laboratory Accreditation Program

ORELAP Fields of Accreditation

ORELAP ID: OR100051



Chester LabNet

EPA CODE: OR0044

12242 SW Garden Place

Certificate: OR100051 - 012

Tigard, OR 97223

Issue Date: 6/23/2020 Expiration Date: 6/22/2021

As of 6/23/2020 this list supersedes all previous lists for this certificate number.

MATRIX	Reference	Code	Analyte	Code	Description
Air	40 CFR Part 50 Appendix J			10000507	Determination of Particulate Matter as PM10 PARTICULATE MATTER AS PM10 IN THE ATMOSPHERE
		3950	Particulates <10 um		
	40 CFR Part 50 Appendix L			10000709	Fine Particulate Matter as PM2.5 in the Atmosphere
		3805	Fine particulates <2.5 um		
	ASTM D7614-12			30033193	Hexavalent Chromium in Total Suspended Particulate (TSP) by Ion Chromatography
		1045	Chromium VI		
	CARB MLD 039 CARB MLD 039			60029007	Hexavalent Chromium by Ion Chromatography
		1045	Chromium VI		
	DRI SOP#2-216r2			60034200	Thermal/Optical Carbon Analysis (TOR/TOT) of Aerosol Filter Samples - Method IMPROVE_A
		1553	Carbon		
	EPA 202			10403006	Determination of Condensable Particulate Emissions from Stationary Sources
		3915	Particulates		
	EPA CTM-027			10214707	Procedure for Collection and Analysis of Ammonia in Stationary Sources
		3751	Ammonia		
	EPA Method 26A 2000			10403200	Determination of Hydrogen Halides and Halogen Emissions From Stationary Sources - Isokinetic Method
		1541	Bromine		
		1580	Chlorine		
		1768	Hydrobromic Acid (Hydrogen Bromide)		
		1770	Hydrochloric acid (Hydrogen chloride (gas only))		
		1775	Hydrogen fluoride (Hydrofluoric acid)		
EPA Method 316			10274449	Sampling and Analysis for Formaldehyde Emissions from Stationary Sources in the Mineral Wool and Wool Fiberglass Industries	
	4815	Formaldehyde			
NIOSH 5040 3			90012763	Diesel Particulate Matter (as Elemental Carbon)	
	1553	Carbon			

El equipo utilizado es un equipo "EDXRF Thermo Scientific™ ARL™ QUANT'X energy-dispersive x-ray fluorescence analyzer ". La técnica de Fluorescencia de Rayos X está certificada por la EPA norteamericana y está descrita en detalle en la publicación IO-3.3.<sup>3</sup>

El espectrómetro consta de un tubo de rayos x de rodio de 50 W para generar la excitación primaria. Además, tiene un carrusel con 6 elementos adicionales (blancos) para generar otros 6 tipos de rayos x para excitación. Estos elementos adicionales se excitan con el tubo principal de rodio.

Una lista de los elementos utilizados, las energías de rayos x y los elementos que pueden ser analizados por estas líneas se muestra a continuación:

Blanco	Elementos Excitados por el blanco
Gadolinium Gd (42.761 Kev)	Líneas K-alfa de Cd In Sn Sb Te I Cs Ba La Ce (Pr)
Antimonio Sb (26.274 Kev)	Líneas K-alfa de Ru Rh Pd Ag
Plata Ag (22.104 Kev)	Líneas K-alfa de Ga Ge As Se Br Kr Rb Sr Y Zr Nb Mo Líneas L-alfa de Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb Bi Th U
Germanio Ge (9.876 Kev)	Líneas K-alfa de Mn Fe Co Ni Cu Zn Líneas L-alfa de Sm Eu Gd Tb Dy Ho Er Tm Yb Lu Hf
Hierro Fe (6.400 Kev)	Líneas K-alfa de Sc Ti V Cr Líneas L-alfa de I Xe Cs Ba La Ce Pr Nd
Titanio Ti (4.508 Kev)	Líneas K-alfa de Cl Ar K Ca Líneas L-alfa de Ru Rh Pd Ag Cd In Sn Sb Te Líneas M-alfa de Bi Th U
Rodio directo Rh (2.696 Kev)	Líneas K-alfa de Mg Al Si P S Cl Líneas L-alfa de Ge As Se Br Kr Rb Sr Y Zr Nb Mo Líneas M-alfa de Er Ta W Re Os Ir Pt Au Hg Tl Pb

Se puede ver de la tabla que los elementos desde el Magnesio hasta el Uranio pueden ser analizados usando el blanco apropiado.

Cuando los elementos presentes en la muestra son irradiados por los rayos x primarios emiten a su vez, rayos x característicos del material. La máxima emisión de rayos x secundarios ocurre cuando la energía de excitación es levemente superior. Los rayos x secundarios son detectados por un detector de dispersión de energía (EDS-XRF). Es decir, el detector mide simultáneamente los rayos x

<sup>3</sup> <https://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/inorganic/mthd-3-3.pdf>

provenientes de la muestra y los separa por energía. Este método permite una velocidad de medición mucho mayor que un detector de dispersión de longitud de onda, pudiendo ser desde unos segundos hasta casi 1000 seg. (Dependiendo de la concentración de la muestra).

Con respecto al método de análisis, cabe señalar que este mismo enfoque ha sido utilizado en estudios previos realizados por nuestro grupo para la CONAMA RM y para el Ministerio del Medio Ambiente durante muchos años.

Una foto del Espectrómetro de rayos x se muestra en la **Figura 6**.



*Figura 6. Espectrómetro de rayos x de dispersión de energía, EDXRF Thermo Scientific™ ARL™ QUANT'X*

### **Límites de detección**

Los límites mínimos de detección (LMD) son un componente importante del análisis de elementos químicos, ya que definen las limitaciones de uso de los datos obtenidos. La determinación de los LMD en filtro en el análisis de filtros de aire ambiente se logra a través del análisis múltiple de filtros blancos de laboratorio. Los LMD para el espectrómetro ARL QUANT'X que se muestran en la Tabla 1 se calculan utilizando la incertidumbre promedio del instrumento de diez filtros blancos. Los datos del espectrómetro ARL QUANT'X se comparan con los datos indicados en el Método IO-3.3 de la EPA de Norteamérica. Los LMD se informan como  $1\sigma$  (nivel de confianza del 68%) como se describe en el Método IO-3.3 del Compendio de la EPA. Para la mayoría de los elementos enumerados, los LMD son alcanzables con el espectrómetro ARL QUANT'X son incluso mejores que los reportados en el Método IO-3.3 del Compendio de la EPA. Los niveles de detección calculados por el espectrómetro ARL QUANT'X varían desde menos de 1 ( $\text{ng}/\text{cm}^2$ ) a 21 ( $\text{ng}/\text{cm}^2$ ). Para varios elementos enumerados en Tabla 1 se da un valor extra entre paréntesis. Estos son los valores LMD  $1\sigma$  calculados para las líneas L de estos elementos. Aunque las líneas L de estos elementos suelen sufrir más por interferencia espectral que la línea K correspondiente, es posible obtener un mejor LMD.

*Tabla 1. Límites de detección para el espectrómetro ARL QUANT'X utilizado por Chester LabNet y lo mínimo indicado en el método IO-3.3 de la EPA.*

Elemento	Límite de detección (ng/cm <sup>2</sup> )	
	QUANT'X	Método IO-3.3 EPA
Na	4,6	5,3
Mg	1,7	3,2
Al	1,9	17,6
Si	0,9	8,0
P	0,9	2,6
S	0,9	2,6
Cl	0,6	4,8
K	0,3	6,3
Ca	0,2	9,0
Sc	0,4	1,5
Ti	0,2	16,9
V	0,2	5,3
Cr	0,2	3,0
Mn	0,2	0,8
Fe	0,3	0,7
Co	0,1	0,4
Ni	0,2	0,6
Cu	0,5	0,7
Zn	0,4	1,0
Ga	0,3	1,6
As	0,2	0,8
Se	0,1	0,7
Br	0,6	0,6
Rb	0,3	0,7
Sr	0,4	1,1
Y	0,3	1,2
Zr	0,8	1,2
Mo	0,2	1,6
Pd	3,0	22,9
Ag	3,0	20,2
Cd	4 (0,6)	22
Sn	16 (1,0)	30,5
Sb	21 (1,3)	31,4
Cs	0,7	48,9
Ba	0,6	51,8
La	0,1	70,6
W	1,0	3,4
Au	0,5	1,7
Hg	0,5	1,5
Pb	0,4	1,5

### 3.3.2 Descripción de la técnica (ICP-MS) para determinar los compuestos químicos

El análisis iones inorgánicos del MPS se hará en el laboratorio de Química Ambiental de la Universidad de Santiago de Chile, dirigido por la Dra. María Angélica Rubio. Este laboratorio tiene más de 20 años de experiencia en el análisis químico de muestras ambientales y que se puede ver de las publicaciones internacionales<sup>4</sup>.

Utilizando las muestras recolectadas en los filtros de teflón, se van a determinar mediante espectrometría de masas por inducción de plasma (ICP-MS) los aniones las siguientes especies: cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y los cationes las siguientes especies: amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ).

#### *Análisis de iones inorgánicos presentes en MPS*

El análisis de la composición de iones inorgánicos presentes en el MPS recolectado exige una serie de procedimientos analíticos de preparación de las muestras, los que incluyen al menos las siguientes etapas: extracción, filtración, reducción de volumen, redisolución y purificación. Los procedimientos de identificación y cuantificación de iones: nitrato, sulfato, amonio, cloruro, nitrito se realizará utilizando cromatografía iónica. Se tomará en cuenta en este estudio un acucioso control de calidad analítico para los procedimientos antes mencionados, utilizando materiales de referencia, estándares certificados, solventes y ácidos de calidad ultrapuros para análisis de trazas, así como blancos de prueba y control en cada etapa. Para el análisis de especiación de los aniones y cationes en el eluato de las muestras de material particulado colectadas en filtros se cuenta con metodología implementada y debidamente validada de cromatografía iónica con sistemas de supresión, tanto para aniones como para cationes.

#### **Procedimiento de Extracción de Aniones y Cationes**

Para minimizar la contaminación de los filtros, se debe realizar la extracción en una cámara limpia (aire limpio). Se debe tomar la precaución que todo el material que se usará para la extracción, (frascos para elución, pinzas, etc.) estén completamente limpios (enjuague con agua Milli Q), así también, el operador en lo posible debe usar guantes, los cuales deben limpiarse con agua Milli Q antes de usar. Una vez que se tienen los frascos para elución correctamente rotulados, se procede a sacar los filtros del portafiltro con pinzas y se colocan dentro del frasco preparado, luego se agregan 10 mL de agua Milli Q, se tapan y guardan en el refrigerador. Es muy importante limpiar la pinza después de sacar un filtro, en caso de no contar con más de éstas, ya que, de lo contrario se puede contaminar el siguiente filtro.

---

<sup>4</sup> "Partitioning of the water soluble versus insoluble fraction of trace elements in the city of Santiago, Chile"  
María A. RUBIO, Karen SÁNCHEZ, Pablo RICHTER, Jorge PEY and Ernesto GRAMSCH, *Atmósfera* 31(4), 373-387 (2018)

10TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON AIR QUALITY SCIENCE AND APPLICATION  
Milano, 14-18 March 2016.

a) "Study of chemical transformation in a photochemical chamber of exhaust emissions from small biomass burning stoves" F. Reyes, Y. Vázquez, G. López, N. López, M. A. Rubio, E. Lissi, A. Cádiz, P. Oyola.

b) Transformation ratios of phenols and nitro-pahs generated by stoves wood burning: a photochemical chamber study. Y. Vázquez, F. Reyes, N. Olivera, N. López, P. Oyola, E. Gramsch, M. Rubio, E. Lissi; A. Cádiz; and Pérola de Castro Vasconcellos.

Rubio, M.A., Lissi, E., Olivari, N., Jael L. Reyes, Camilo López-Alarcon, REACTIONS OF P-SUBSTITUTED PHENOLS WITH NITROUS ACID IN AQUEOUS SOLUTION. *International J. of Chem. Kinetics*, vol 46, 3, 143-150, (2014).

Los eluatos de filtros con filtro incluido, se colocan en un Baño Ultrasonido durante 10 minutos con el fin de remover todo el material fijado durante el muestreo; A continuación, el eluato es filtrado (filtros de jeringa Millipore, PVDF de 0,22 µm).

### Análisis de Eluatos:

Determinación de aniones mediante Cromatografía Iónica con Columna ION PAC AS 4; Fase Móvil: buffer Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 1,8mM /NaHCO<sub>3</sub> 1,7mM; Detección de Conductividad con Supresión de Ionización. Curva de calibración: Patrones de rango de concentración de 0,2 a 20 mg/L.

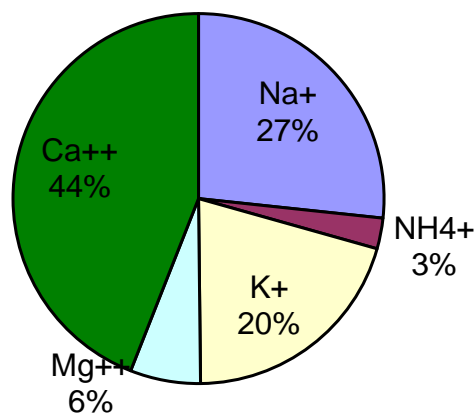
Determinación de cationes mediante Cromatografía Iónica con Columna ION PAC CS 14; Fase móvil: Ácido metanosulfónico 10mM (MSA); Detección de Conductividad con Supresión de Ionización. Curva de calibración: Patrones de rango de concentración de 0,5 a 20 mg/L.

Las concentraciones de las distintas especies iónicas en MPS se calculan como sigue:

$$\text{Concentración ión } (\mu\text{g/gr}) = \text{Veluato (mL)} * \text{Ción en eluato.}(\mu\text{g/mL}) / \text{Masa total (gr)}$$

Las mediciones con filtros se utilizarán para determinar la composición química del MPS además de los elementos existentes. Los compuestos que se encuentren a partir de las mediciones permitirán asociar fuentes. Los resultados serán similares al ejemplo que se muestra en la Figura 7.

**Muestra de polvo, Quilicura**



**Muestra de polvo, Quilicura**

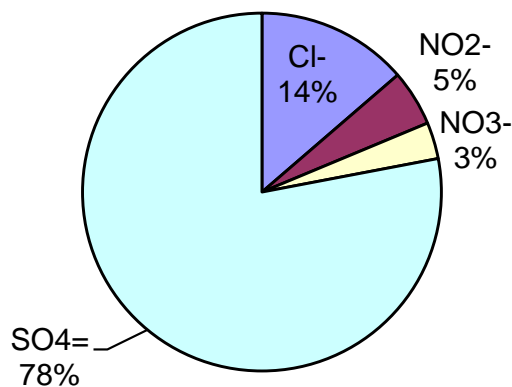


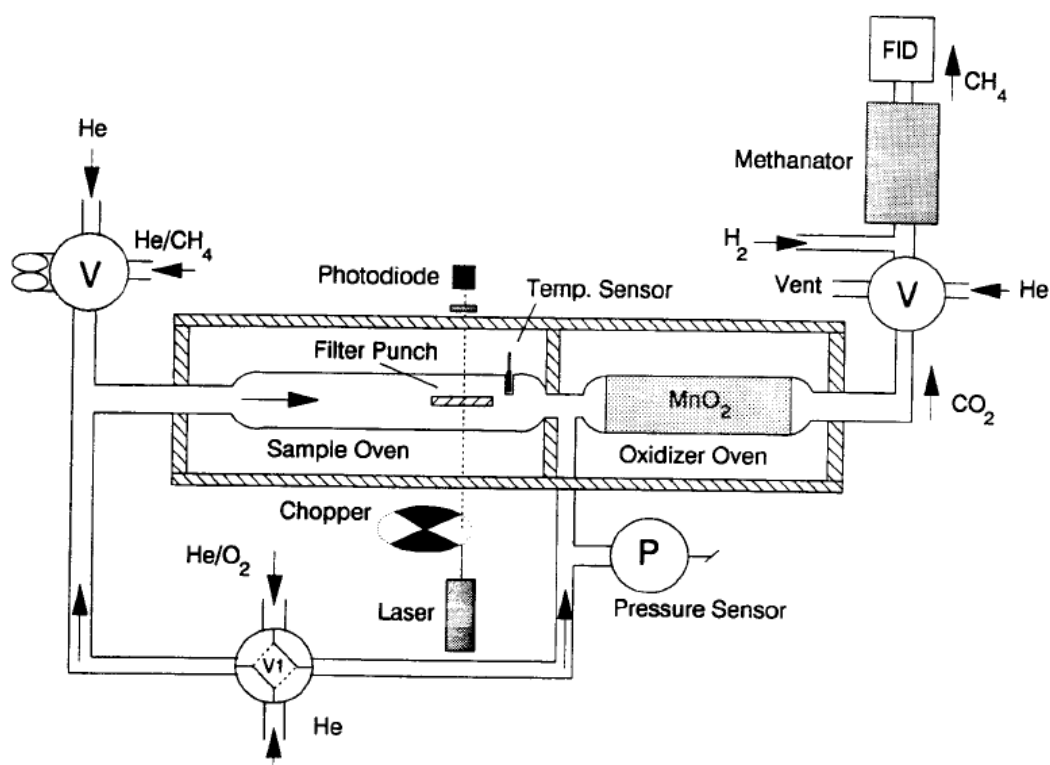
Figura 7. Composición química de una muestra de polvo en Quilicura.

### 3.3.3 Descripción de la técnica Termo-óptica para determinar EC/OC

El análisis termo-óptico de las muestras es un método altamente especializado para determinar la presencia de carbono orgánico y/o carbono elemental en filtros de cuarzo. El análisis termo-óptico de las muestras para obtener la fracción de carbono elemental se hará en el laboratorio Chester LabNet, en calle Park 217, 12242 SW Garden Pl, Tigard, OR 97223, Estado Unidos. El laboratorio es capaz de analizar muestras tanto con el método NIOSH 5040 como el método IMPROVE-A. El equipo que se va a utilizar para la obtención de la fracción de carbono orgánico y elemental es el Analizador semi-continuo de EC-OC Modelo-4, fabricado por la empresa Sunset Laboratory Inc., 10180 SW Nimbus Avenue, Suite J/5, Tigard, OR 97223, Estados Unidos.

CHESTER LabNet es un laboratorio acreditado por el “Programa Nacional de Acreditación de Laboratorios Ambientales de Estados Unidos”, NELAP. Chester LabNet que se especializa en análisis de muestras inorgánicas de calidad del aire. Chester LabNet tiene mucha experiencia con los métodos usados en calidad del aire y sus variaciones.

La técnica Termo-Optica utilizada para separar las componentes orgánicas y elemental del carbono presente en el material particulado se muestra mediante un diagrama en la Figura 8.



**Figura 8.** Diagrama esquemático del monitor de carbono orgánico y elemental

Debido a las altas temperaturas que se utilizan durante el análisis, la recolección de muestra se realiza en filtros de cuarzo. Una porción rectangular de  $1,54 \text{ cm}^2$  se extrae del filtro para análisis. Un detector de ionización de llama (*flame ionization detector*, FID) se utiliza para la determinación de las fracciones de carbono por medio de la cuantificación del  $\text{CH}_4$  que se forma de la muestra. La calibración del instrumento se realiza por medio de la inyección de una cantidad conocida de metano en el horno de muestreo. El diodo láser de semiconductor (660 nm) que se muestra en la Figura 8 y que incide sobre la muestra, se utiliza para corregir la señal de carbono generado pirolíticamente durante el proceso de análisis.

### El proceso de obtención de las fracciones de carbono se describe a continuación.

Un trozo rectangular con muestra de material particulado se corta del filtro y se introduce en un horno de muestreo (ver figura 1). Luego, el horno se calienta de acuerdo a un esquema pre-establecido. Simultáneamente, el filtro se irradia con un diodo láser de 660 nm y se mide la transmisión óptica. Un ejemplo de los resultados de las mediciones que se realizan durante el proceso de calentamiento, se muestra en el termograma de la figura 10.

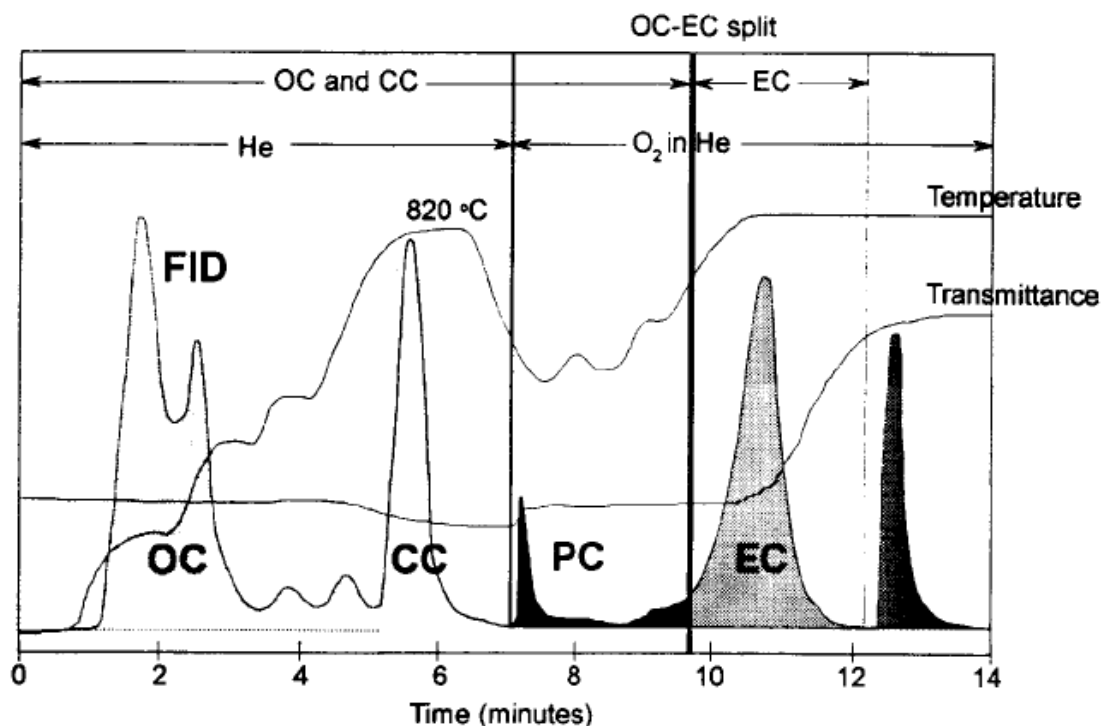
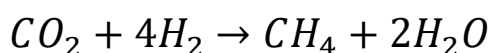


Figura 9. Termograma con los resultados de las mediciones realizadas durante el proceso de calentamiento.

En una primera etapa, la temperatura se hace variar desde temperatura ambiente hasta 820 °C durante un tiempo de 7 min, de acuerdo a lo indicado en la figura 10 en una atmosfera de He puro. Las mediciones de transmisión óptica del filtro también se muestran en la figura 10 (curva indicada con “transmittance”). Durante esta etapa, el carbono orgánico y el carbonato que puedan existir en la muestra se volatilizan y pasan a un segundo horno a 900 °C que contiene una cama de MnO<sub>2</sub> granular. En este segundo horno, el carbono puro (C) se oxida catalíticamente y se convierte en CO<sub>2</sub>. Posteriormente, se reduce catalíticamente a CH<sub>4</sub> en un horno llamado “metanador”, formado por ladrillos refractarios que contienen Ni en el cual se produce una reacción del tipo:



El metano (CH<sub>4</sub>), se transfiere a una cámara que contiene un detector de ionización de llama (FID). El detector de ionización de llama es un detector utilizado en cromatografía de gases. Es uno de los detectores más usados y versátiles. Básicamente es un quemador de hidrógeno/oxígeno, donde se mezcla el efluente de la columna (gas portador y analito) con hidrógeno. Inmediatamente, este gas mezclado se enciende mediante una chispa eléctrica, produciéndose una llama de alta temperatura. El



metano ( $\text{CH}_4$ ) al someterse a altas temperaturas se ioniza y se producen iones y electrones, que son conductores eléctricos. Este hecho se aprovecha estableciendo una diferencia de potencial de unos centenares de voltios entre la parte inferior del quemador y un electrodo colector situado por encima de la llama. La corriente generada es baja (del orden de los  $\mu\text{A}$ ), por lo tanto debe ser amplificada mediante un amplificador de alta impedancia.

El proceso de ionización que se da en la llama es complejo, pero se puede aproximar el número de iones producidos al número de átomos de carbono transformados en la llama. Esto produce que sea un detector sensible a la masa (al número de átomos de carbono que salen de la columna) más que a la concentración, por lo tanto no le afectan demasiado los cambios en el flujo de salida.

En una segunda etapa del análisis, se hace una corrección por la pirólisis producida y se realiza la medición de carbono elemental. La temperatura del horno se reduce y se introduce una mezcla de 10% de oxígeno y 90% de helio. Luego la temperatura se incrementa a  $860\text{ }^\circ\text{C}$  tal como se ve en la figura 2, entre los 7 y 10 min. Cuando ingresa oxígeno en la cámara, el carbono pirolizado se oxida y se separa de la muestra, produciéndose un aumento en la transmisión óptica del láser (indicado por PC en la figura). La cantidad de carbono orgánico pirolizado se obtiene a partir de calcular la cantidad de carbono que se necesita para que la intensidad del láser vuelva a su nivel original. Este punto es considerado como la separación entre carbono orgánico y elemental. Lo que se desprende del filtro antes de este punto se considera orgánico (incluyendo carbonato) y lo que se desprende posteriormente se considera elemental. Si se desea, la presencia de carbonato puede obtenerse a partir del análisis de una segunda porción cortada del filtro después de una exposición a vapor de HCl. En el segundo análisis (similar al primero), la ausencia del último pico indica la presencia de carbonato en la muestra original.

## **4 Procedimiento de trabajo analítico de la muestra de MPS.**

De acuerdo a lo indicado anteriormente, para incorporar los análisis químicos antes detallados en la evaluación de la eficiencia de la malla en conformidad a lo indicado en la RCA, a continuación se expone una síntesis de las actividades que se realizarán:

- i. Determinación de la masa del MPS, como se realiza actualmente.
- ii. Separación de las muestras de MPS en dos fracciones, una se depositará en un filtro de teflón y la otra fracción en un filtro de cuarzo.
- iii. Las muestras depositadas en los filtros de teflón se utilizarán para hacer análisis FRX de elementos y luego se les hará un análisis mediante la técnica ICP-MS para obtener los compuestos químicos.
- iv. Las muestras depositadas en filtros de cuarzo se utilizarán para hacer un análisis de carbono elemental y orgánico (EC/OC).

### **4.1 Manejo de las muestras de MPS.**

Luego para determinar la composición completa del MPS en cada sitio, se utilizará la siguiente metodología:

1. Se toma una parte del material en un sitio y se deposita en un filtro de cuarzo. Este filtro se envía al laboratorio Chester LabNet para realizar un análisis termo-óptico de carbono elemental y orgánico. Este análisis nos permite determinar de manera cuantitativa la cantidad de carbono elemental (que corresponde al “carbono elem.” que se muestra en la Figura 5a) y orgánico en una cantidad de muestra, es decir masa de carbono elemental por gramo de muestra.
2. Se toma una parte del material y se deposita en un filtro de teflón previamente pesado. Luego se pesa el filtro con la muestra y la diferencia se utiliza para determinar la masa de muestra en el filtro. Luego el filtro se envía al laboratorio Chester LabNet para análisis por fluorescencia de rayos X. Este análisis permite determinar cuantitativamente los elementos químicos presentes en la muestra (Na, Mg, Al, etc.), es decir masa del elemento por gramo de muestra total.
3. El filtro de teflón se retorna al Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad de Santiago para análisis por espectrometría de masas con inducción de plasma (ICP-MS), en que se obtienen las fracciones de: cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y los cationes las siguientes especies: amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potasio ( $\text{K}^+$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ) y Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ). Estas fracciones solo se determinan para los compuestos solubles en agua.
4. Para determinar los compuestos en la muestra no solubles en agua, se utilizarán las masas determinadas con el método de fluorescencia de rayos X y se aplicará la técnica de estequiometría de masas para determinar las masas de los compuestos principales, es decir para  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ .
5. Para determinar la fracción de carbón en una muestra de MPS, se utilizará la masa de carbono elemental medida con el método termo-óptico y supondrá que los demás compuestos tienen la distribución que se muestra en la Figura 5a y que es conocida. De este modo se puede determinar la masa de carbón en la muestra. La diferencia corresponde a otros compuestos que no provienen del carbón, sino de fuentes externas.
6. Este método permite determinar la fracción “negra” del MPS, que se muestra en la Figura 5a como “carbono elemental”, en cada sitio de monitoreo. La masa de la fracción de carbón se utilizará para realizar el cálculo del cumplimiento de la RCA mediante la ecuación (2).
7. Para completitud del método, se determinará en la medida de lo posible, también la fracción correspondiente a otras fuentes (vehículos, suelo, motores diésel, etc.). Esto se realiza mediante la agrupación de elementos y compuestos químicos utilizando configuraciones estándar para fuentes<sup>5</sup> que son entregadas por la EPA. Por ejemplo, la fuente “suelo” tiene Carbono Orgánico, Al, K, Ca, Fe, Si. La fuente vehículos a motor tiene  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NH}_4^+$ , S, OC, carbono elemental, etc. Mediante la comparación de los compuestos presentes en las 4 estaciones, los perfiles mencionados y otros que puedan ser identificados, se estimarán las fuentes y el porcentaje de contribución al material recolectado en cada estación.

## 5 Resultados esperados

De acuerdo a lo descrito previamente, se espera obtener información suficiente para robustecer la metodología de evaluación de la eficiencia de la malla en conformidad a lo indicado en la RCA, considerando para el cálculo, de forma complementaria, solo fracción atribuible al polvo fugitivo del

---

<sup>5</sup> EPA SPECIATE. <https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-0>

carbón en el MPS, reduciendo la interferencia que produce la contribución de otras fuentes, tales como sales marinas y polvo resuspendido de los caminos del sector entre otras.

Atentamente,



Dr. Ernesto Gramsch  
Profesor Titular  
Departamento de Física, Facultad de Ciencia  
Universidad de Santiago de Chile  
Santiago, Chile