

# ***Partículas Atmosféricas en Actividades Mineras: Pieza Ambiental Comúnmente Subestimada***

*Omar Félix Villar, Doctorado en Ing. Ambiental e Ingeniero Profesional registrado en Arizona.*

Los programas de monitoreo ambiental establecidos en las operaciones mineras se enfocan principalmente en la caracterización de agua superficial, agua subterránea, geoquímica de residuos mineros y monitoreo de flora y fauna, sin embargo, el monitoreo de partículas atmosféricas no se realiza de manera representativa ni detallada durante la vida de las operaciones. El desarrollo de programas de monitoreo representativos es un punto clave para cuantificar el potencial impacto de las operaciones mineras al medio ambiente y a la salud de la población expuesta. Las partículas atmosféricas se encuentran dentro del grupo técnico denominado

aerosoles. Los cuales se definen como cualquier partícula sólida o líquida suspendida en el aire; representa un grupo extenso que va desde nubes hasta bacterias y virus, pasando por partículas sólidas. Estas partículas sólidas son las que se detallan en este artículo y comúnmente se denominan como "polvo". Los términos partículas atmosféricas, partículas sólidas y polvos son utilizados como sinónimos dentro del ámbito de la minería.

Las partículas atmosféricas se producen en diversas etapas del proceso minero: voladuras, acarreo, trituración, molienda y procesos de fundición. Generalmente la producción de polvos en estas etapas

del proceso se encuentra mitigada por supresores químicos y agua, con el propósito de evitar pérdidas del material que se traducen en costos. Existe otra parte del proceso comúnmente ignorada y que representa una de las principales fuentes de partículas atmosféricas: las presas de jales. Las presas de jales consisten en material fino que al momento de consolidarse y secarse tiene el potencial de re-suspender partículas, las cuales son transportadas rápidamente por el viento a distancias considerables. La Figura 1 presenta algunas de las actividades mineras generadoras de partículas atmosféricas.



Figura 1: Partículas atmosféricas generadas en: a) trituración y molienda; b) procesos de fundición; c) escoria de fundición; d) presas de jales. Fuente: Csavina et al, 2012

El impacto en la salud de la población expuesta y el medio ambiente depende de dos puntos clave: tamaño de partícula y composición química.

El tamaño de partícula depende del proceso en el cual se genera, las partículas denominadas finas (Accumulation range y Aitken range) son producidas por procesos con altas temperaturas que involucran la condensación de vapores, por ejemplo, procesos de fundición. Por otra parte, las partículas gruesas (Dust range) se producen por procesos mecánicos tales como trituración, molienda y re-suspensión de polvos de presas de jales. La Figura 2 presenta los principales procesos de generación de partículas en función de su tamaño.

El papel del tamaño de partícula en la afectación de la población expuesta es clave ya que determina la región del sistema respiratorio en la que se depositará. Las partículas más grandes, por lo general, quedan retenidas en el tracto respiratorio superior. Por otra parte, las partículas finas pueden depositarse en el tracto respiratorio inferior teniendo el potencial de generar mayores complicaciones en la salud. La Figura 3 presenta un esquema básico en el cual se muestra la deposición de partículas según su tamaño en diversas zonas del sistema respiratorio.

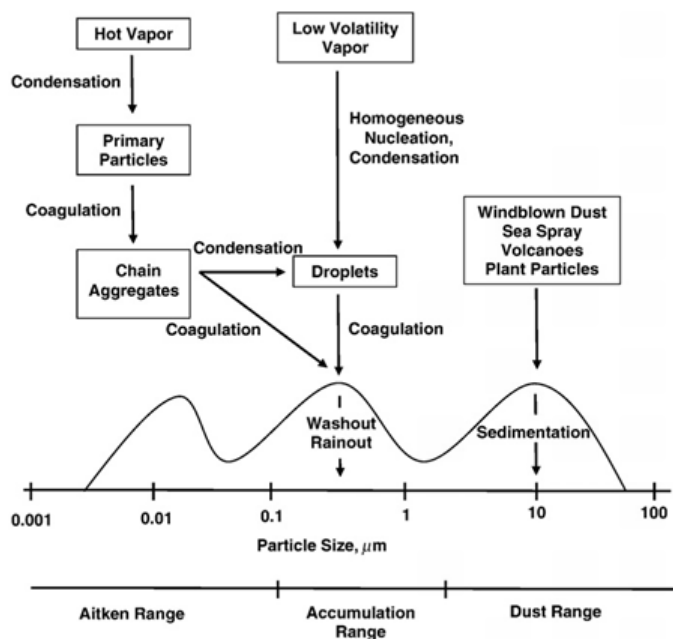


Figura 2: Clasificación de partículas en base a su tamaño y origen (Seinfeld and Pandis, 2006)

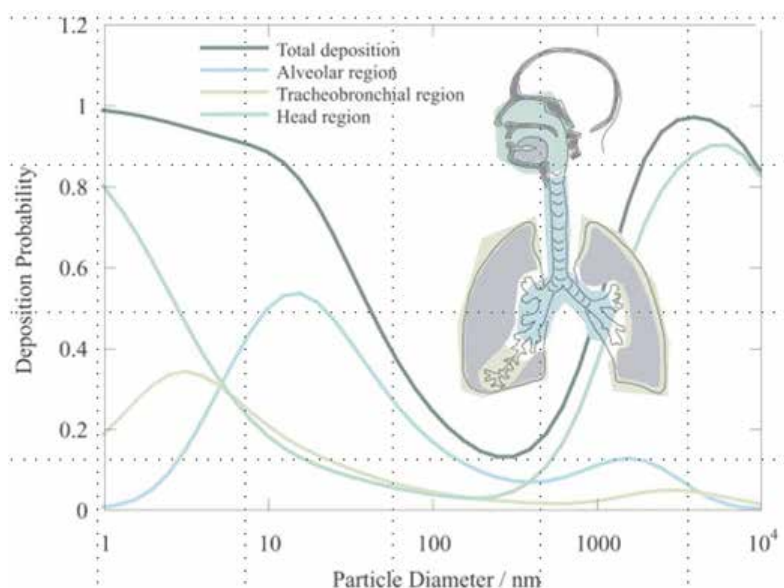


Figura 3: Deposición de Partículas Atmosféricas según su tamaño (Maynard, 2006)

En términos prácticos y en conformidad con las Normas Oficiales Mexicanas y otras guías internacionales, las partículas se clasifican en tres grupos principales: PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>. El término PST hace referencia a las Partículas Suspendidas Totales, PM<sub>10</sub> se refiere a las partículas con radios aerodinámicos menores de 10 micrómetros y PM<sub>2.5</sub> aplica para partículas menores de 2.5 micrómetros. Las Normas Oficiales Mexicanas anteriormente establecían límites máximos permisibles para los tres parámetros, actualmente solamente se consideran las PM<sub>10</sub> y las PM<sub>2.5</sub>, con límites máximos permisibles de 75 µg/m<sup>3</sup> y 45 µg/m<sup>3</sup> respectivamente,

como límite de 24 horas. Los límites establecidos son comparables con los establecidos en Estados

Unidos (National Ambient Air Quality Standards-NAAQS). El otro aspecto indispensable a evaluar para determinar el riesgo en la salud de la población expuesta es la composición química de los polvos. Algunas operaciones mineras presentan presas de jales con altos contenidos de plomo, arsénico, cadmio, entre otros metales y metaloides nocivos a la salud. Existen un sinnúmero de investigaciones que exponen los efectos negativos de estos elementos químicos en el organismo. La distribución de elementos en función del tamaño de partícula muestra generalmente una mayor concentración en las partículas finas. La Figura 4, muestra la tendencia general observada en varios estudios realizados por el autor de este artículo.

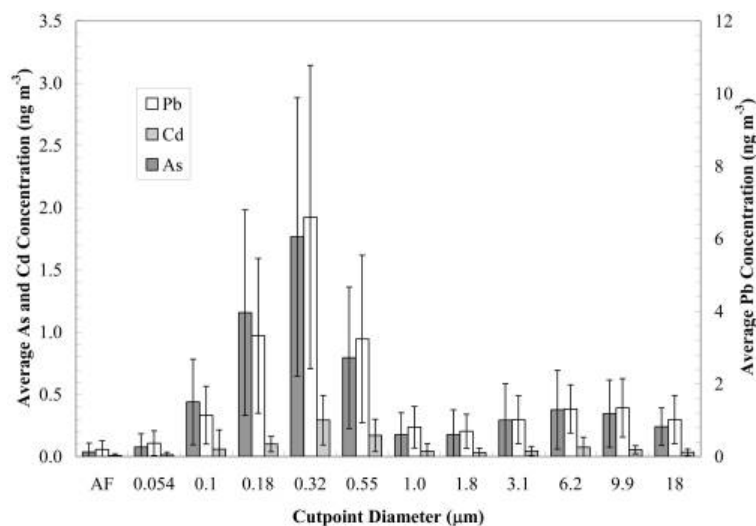


Figura 4: Distribución de Pb, Cd y As en función del tamaño de partículas (Csavina et al., 2012)



La relación tamaño de partícula-composición química muestra que las partículas finas presentan un mayor riesgo a la salud tanto por su deposición en el sistema respiratorio como por su alto contenido de metales y metaloides. El único elemento regulado en las Normas Oficiales Mexicanas es el plomo, con un límite máximo permisible de  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como promedio trimestral. Este límite es diez veces mayor a establecido en los NAAQS ( $0.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración establecida en ambas regulaciones se refiere a plomo atmosférico, es decir, plomo en PST.

La distribución y el transporte de las partículas atmosféricas depende de numerosos factores, entre los que destacan el tamaño de partícula, densidad, composición química y condiciones atmosféricas. Dentro de las condiciones atmosféricas más relevantes se encuentran velocidad de viento, humedad relativa y precipitación. Las partículas más pequeñas (y por ende con mayores concentraciones de contaminantes) tienen la capacidad de viajar distancias más largas en comparación con partículas más grandes y pesadas. En lugares con humedad relativa elevada el transporte de contaminantes es menor que en lugares secos y con elevadas velocidades de viento. La Figura 5 presenta un caso estudio elaborado

por el autor, en el cual se observa la influencia de las condiciones meteorológicas en la concentración de contaminantes.

mayoría de los proyectos realizan solamente un "muestreo perimetral anual de partículas", el cual se debe realizar por un laboratorio certificado ante la Entidad

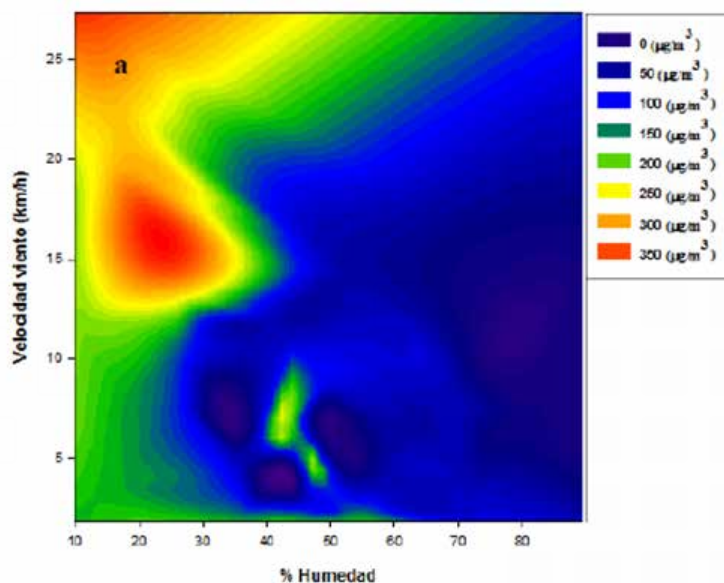


Figura 5: Influencia de la humedad y velocidad del viento en la concentración de PST (Felix et al, 2009)

Además de la velocidad del viento es importante contar con su dirección. Existen paquetes computacionales que permiten producir rosas de viento, las cuales son de vital importancia para determinar los efectos de los polvos en la población expuesta.

Una vez expuestos los conceptos básicos a considerarse para evaluar el riesgo de las partículas atmosféricas, se procede al desarrollo de un programa analítico representativo. En la experiencia del autor, la

Mexicana de Acreditación (EMA). Los requerimientos para este análisis son mínimos y a pesar de que se presenta una rosa de vientos, condiciones atmosféricas y más detalles en el reporte, es prácticamente imposible que sea representativo de las condiciones del sitio ya que únicamente se realiza una vez al año. Cambios en velocidades de viento, humedad relativa y demás factores ambientales influirán en los resultados que se presenten en ese día de muestreo específico. En caso de que el muestreo se



realice un día en el cual la velocidad del viento es baja y la humedad relativa elevada, las concentraciones de polvo serán menores a las que generalmente se presentan en el sitio.

Por esta razón, es de suma importancia desarrollar internamente un programa de muestreo de polvos atmosféricos que permita evaluar el riesgo de nuestras operaciones al medio ambiente y la población en general. Existen múltiples equipos, marcas y modelos que nos permiten recolectar datos de manera eficiente.

Algunos equipos, comúnmente denominados como ópticos, permiten cuantificar la concentración de PST, PM10 y PM2.5 de manera simultánea y en tiempo real, además los datos se pueden transmitir de manera inalámbrica por diferentes sistemas de telemetría. La principal desventaja de estos equipos es que no recolectan

muestras para análisis químicos.

Existen otros equipos, muestreadores de alto y bajo volumen, que permiten determinar la concentración de partículas y además recolectan muestra para realizar los análisis químicos. Estos equipos son los recomendados por las normativas mexicanas, las cuales establecen los procedimientos de calibración, operación y cuantificación entre otros aspectos técnicos. La desventaja de este tipo de equipos es la cantidad de trabajo que se debe realizar para cada muestreo (pre-pesado del filtro y pesado del filtro posterior al evento), además de que solamente permiten cuantificar un tamaño de partícula a la vez. La selección del equipo de muestreo adecuado para cada operación dependerá de las finalidades del programa analítico. Es indispensable contar con

estaciones meteorológicas que nos permitan relacionar las concentraciones obtenidas con las condiciones meteorológicas para así poder determinar la distribución espacial de las partículas. Existen múltiples programas computacionales que permiten llevar a cabo el modelado del transporte de partículas atmosféricas. En base a los resultados del modelo, validados con información recolectada en campo, se debe generar un programa de mitigación de polvos.

Los efectos de las partículas atmosféricas generadas por las operaciones mineras son en general subestimados en comparación con otros aspectos ambientales. Es necesario desarrollar programas de monitoreo internos que permitan cuantificar los riesgos a los cuales se expone a las poblaciones aledañas y asimismo determinar estrategias de mitigación. 🌐