



Cenizas volantes de carbón aerosolizadas: factor de riesgo de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y de enfermedades respiratorias

Mark Whiteside¹ y J. Marvin Herndon^{2*}

¹Florida Department of Health in Monroe County, 1100 Simonton Street, Key West, FL 33040, USA.

²Transdyne Corporation, 11044 Red Rock Drive, San Diego, CA 92131, USA.

Contribución de los autores

Este documento se ha elaborado conjuntamente por los autores en el marco de una colaboración continua orientada a poner de relieve las implicaciones científicas, médicas, de salud pública y las evidencias del uso de cenizas volantes de carbón aerosolizadas, en actividades encubiertas de geoingeniería a nivel mundial. El autor MW se encargó de las consideraciones médicas y de salud pública y JMH de las mineralógicas y geofísicas. Ambos autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Información del artículo

DOI: 10.9734/JAMMR/2018/41627

Editor(s):

(1) Syed Faisal Zaidi, Department of Basic Medical Sciences, College of Medicine, King Saud Bin Abdulaziz University-HS, National Guard Health Affairs, King Abdulaziz Medical City, Kingdom of Saudi Arabia.

(2) Masahiro Hasegawa, Department of Orthopaedic Surgery, Mie University Graduate School of Medicine, Japan.

Reviewers:

(1) Mosharaf Hossain Miaz, Northern University, Bangladesh.

(2) Giovanni Ghirga, Italy.

(3) Fernanda Figueirôa Sanchez, Federal University of Amazonas, Brazil.

(4) Takeshi Terashima, Tokyo Dental College Ichikawa General Hospital, Japan.

(5) Alcibey Alvarado, Costa Rica.

Complete Peer review History: <http://www.sciencedomain.org/review-history/24717>

Artículo de revisión

Recibido el 5 de marzo de 2018

Aceptado el 17 mayo de 2018

Publicado el 21 de mayo de 2018

RESUMEN

Traducido por www.guardacielos.org

Objeto: Las cenizas volantes de carbón constituyen un factor relevante de la contaminación ambiental en India y China pero en los países occidentales la normativa exige su captura y almacenamiento. Las personas expuestas crónicamente a las cenizas volantes de carbón podrían aumentar la incidencia de enfermedades respiratorias, incluso la enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Nuestro objetivo es revisar los constituyentes de las cenizas volantes de carbón aerosolizadas y su potencial para causar enfermedades como la obstrucción pulmonar crónica y enfermedades respiratorias.

Métodos: Revisamos publicaciones interdisciplinarias médicas de salud pública y científicas.

Resultados: La ingeniería troposférica se está llevando a cabo desde el inicio del siglo XXI con cada vez más frecuencia y duración, sin debate público alguno y sin información sobre la composición de las partículas dispersadas en el aire que respiramos o sus efectos en la biota, incluido el ser humano. Los datos publicados apuntan a que el principal elemento utilizado son cenizas volantes de carbón,

*Corresponding author: E-mail: mhemdon@san.rr.com;

un residuo de las centrales térmicas de carbón. Revisamos y relacionamos evidencias publicadas en las editoriales científicas médicas sobre los riesgos que plantean para la salud la contaminación atmosférica y especialmente las cenizas volantes de carbón aerosolizadas tanto en las ubicaciones industriales como en la troposfera durante las operaciones de geoingeniería, considerando en particular las consecuencias potenciales de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica o enfermedades respiratorias.

Conclusión: Las cenizas volantes de carbón aerosolizadas constituyen específicamente una forma peligrosa de contaminación deliberada del aire. Las partículas ultrafinas y nanopartículas presentes en las cenizas volantes de carbón pueden penetrar en los pulmones por inhalación y producir muchos efectos tóxicos además de una disminución de las defensas, inflamación tisular, equilibrio celular redox alterado hacia la oxidación y genotoxicidad. El estrés oxidativo y la inflamación crónica pueden predisponer a enfermedades crónicas de pulmón. Si se quiere prevenir una epidemia en aumento de la enfermedad pulmonar obstructiva crónica y otras enfermedades respiratorias, es preciso el reconocimiento y la información pública sobre las consecuencias adversas para la salud de los proyectos de geoingeniería que se está llevando a cabo en nuestros cielos y el cese inmediato de estos programas.

Palabras clave: Aerosoles; cenizas volantes de carbón; manipulación del clima; contaminación del aire; oncología; geoingeniería; nanopartículas.

1. INTRODUCCIÓN

La enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) es en la actualidad la tercera causa de muerte en los Estados Unidos y la quinta en el mundo [1,2]. Tanto la prevalencia como el índice de mortalidad de EPOC continúa en aumento [3] a pesar de un mayor conocimiento sobre estilos de vida saludables, y de las normativas orientadas a reducir los contaminantes tóxicos en el medio ambiente y en el lugar de trabajo. Los programas de salud pública orientados a reducir la exposición personal total al humo del tabaco, al polvo, a los químicos y a la contaminación del aire, son muy importantes [4]. El fin de esta investigación es el de identificar elementos no reconocidos previamente potencialmente causantes de EPOC, al igual que lo han hecho otros previamente.

La geoingeniería viene definida como “la manipulación deliberada del medioambiente planetario”, dicho de otra forma “manipulación planetaria deliberada”[5]. La definición de geoingeniería más signficante se amplía a la manipulación del “tiempo y del clima”. Actualmente la geoingeniería se trata en la literatura científica como una potencial actividad futura que implicaría dispersar sustancias como el ácido sulfúrico, en la alta atmósfera (estratosfera) para reducir la radiación solar entrante [6]. La realidad, sin embargo, es que la geoingeniería se ha estado llevando a cabo desde finales de los noventa con cada vez mayor intensidad y duración, no en la alta atmósfera sino en la baja atmósfera (troposfera), mezclándose con el aire que respiramos [7-9].

Sembrar nubes con yoduro de plata o dióxido de carbono (hielo seco) para aumentar la nucleación de lluvia o nieve se ha utilizado

comercialmente en la mejora de las cuencas hidrográficas [10], en la agricultura [11] y en el esquí recreativo [12], y fue utilizada durante la guerra de Vietnam para ampliar los monzones con el fin de inhibir el movimiento de tropas y municiones [13]. Posteriormente, el desarrollo de la tecnología militar se centró en *suprimir* la nucleación de lluvia o nieve mediante la dispersión de partículas contaminantes allí donde se forman las nubes impidiendo la coalescencia de las gotas de agua y por lo tanto la formación de nubes de lluvia masivas que precipiten a la tierra. Son muchos los millones de personas en el mundo que han presenciado la geoingeniería en curso: por ejemplo, las estelas aéreas de partículas en el cielo. Contrariamente a las estelas de condensación que no son otro que cristales de hielo del escape del motor que desaparecen rápidamente por evaporación, las partículas de geoingeniería dispersadas se expanden formando temporalmente nubes artificiales tipo cirro para convertirse después una neblina blanca que cubre el cielo [9]. Una fumigación intensa puede convertir un cielo limpio sin nube alguna en un cielo nublado, algunas veces con tonos marrones.

Para quien desee chequear esta evidencia, existe una amplia documentación sobre la manipulación del tiempo y los proyectos de geoingeniería tanto en el pasado como en tiempos recientes. Un ejemplo de esta documentación es el “Programa Nacional Recomendado de Modificación del Tiempo” [14], “Modificación del Tiempo: programas, problemas, políticas y potencial” (Senado de los Estados Unidos) [15], “El tiempo como Multiplicador de Fuerza: poseyendo el clima para 2025” (Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos) [16], y el “Resumen Ejecutivo de la Organización Meteorológica Mundial: Declaración sobre la modificación del tiempo [17].” En adición, existen numerosas patentes U.S. [18-20] y publicaciones académicas [13,21-23] sobre la modificación del tiempo.

Si bien la geoingeniería troposférica inició como una actividad militar estrictamente nacionalista por razones no descubiertas al público, se ha convertido

en una operación persistente y pervasiva en la mayor parte del mundo. Los funcionarios no ofrecen explicaciones creíbles para las fumigaciones aéreas, ni sobre las razones ni sobre los daños potenciales a las personas o al medio ambiente. Por su parte los medios de comunicación dominantes y la comunidad científica guardan silencio.

No solamente no hay una información fiable por parte de los funcionarios sino que se practica la tergiversación deliberada de los hechos [24]. Uno de los engaños más comunes es el de insistir en que las estelas aéreas dispersadas son estelas de "condensación" de los gases de combustión, inofensivos cristales de hielo. Los gases de combustión del avión contienen vapor de agua siempre que la temperatura sea lo suficientemente baja, la humedad lo suficientemente alta y el vapor de agua en la combustión sea abundante. Generalmente, en la mayor parte de los casos, especialmente con los motores modernos de ventilador, si se formasen estelas de condensación de cristales de hielo, se evaporarían en segundos convirtiéndose en agua gaseosa invisible.

Si bien la principal sustancia contaminante usada en la geoingeniería se ha mantenido muy en secreto existen obvias razones para preocuparse incluso sin conocer la composición. Si las partículas deben mantenerse suspendidas en la troposfera durante un tiempo razonable, estas partículas deben ser micrónicas o submicrónicas. Las partículas contaminantes $\leq 2.5 \mu\text{m}$, por ejemplo, $\text{PM}_{2.5}$, son conocidas por afectar de forma negativa a la EPOC y otras afecciones [25]. En años recientes, la frecuencia y duración de la dispersión aérea ha aumentado hasta alcanzar un proporción casi cotidiana y global, lo que nos plantea serias preocupaciones de salud pública.

Una de las funciones esenciales de la salud pública es el diagnóstico apropiado y la investigación de los riesgos para la salud en la comunidad [26]. El principio de precaución en la salud pública afirma que los ciudadanos deben ser protegidos de los previsible riesgos para la salud incluso antes de que se conozca la extensión y el nivel de exposición. La esencia clave del Principio de Precaución supone tener que tomar acciones preventivas ante la duda, atribuyendo la carga de la prueba de seguridad a los proponentes de la actividad y la exploración de alternativas a las acciones dañinas [27]. Sin embargo, esos riesgos para la salud deben primero ser reconocidos y caracterizados antes de alertar al público de que esa actividad no es saludable. La dispersión de partículas en el cielo ha supuesto una preocupación para millones de ciudadanos desde principios del siglo XXI.

En ausencia de información fiable en cuanto a la composición de los aerosoles dispersados y sus efectos

en la salud, la gente tomó muestras de agua de lluvia tras episodios de fumigación, enviándola para su análisis a laboratorios comerciales. En la mayor parte de los casos, solo se solicitó análisis de aluminio; ocasionalmente de bario y rara vez de estroncio. Tan pronto como esa actividad de fumigación aérea se convirtió en una actividad cotidiana en San Diego (USA), uno de nosotros (JMH) inició una serie de investigaciones con el fin de determinar la composición de las partículas aerosolizadas. Considerando que los protocolos estándar de análisis de agua certificados en laboratorio exigen agitar las partículas en el recipiente antes de realizar las mediciones, resulta evidente que el agua de lluvia había lixiviado esos tres elementos a partir de un material lixiviable antes de caer a tierra. Comparando esos tres elementos analizados como ratios con los correspondientes análisis experimentales de lixiviado de agua de una posible sustancia aerosolizada se obtuvo la primera evidencia científica de que las cenizas volantes de la combustión de carbón son el principal contaminante utilizado en la geoingeniería troposférica en curso [7].

Para comprender por analogía el proceso químico involucrado, consideremos el ejemplo hipotético de hojas de té finamente pulverizadas que se dispersan en la troposfera. La humedad atmosférica "infundiona" el té, extrae el tanino y otros productos químicos, que caerían en forma de lluvia, con la huella química del té; la lluvia sería té, aunque té muy débil. Las cenizas volantes de carbón se forman principalmente por condensación en los gases de combustión calientes en la chimenea sobre la caldera de combustión de las centrales térmicas de carbón y consiste en un ensamblaje de desequilibrio de materia típicamente anhídrica [28-30]. El agua es capaz de extraer rápidamente numerosos elementos tóxicos de las cenizas volantes de carbón [31]. Cuando éstas se dispersan en la troposfera, el agua atmosférica extrae numerosos elementos por lixiviación, que se disuelven en agua de lluvia y proporcionan una huella química de las mismas. Cuantos más elementos medidos en el agua de lluvia, más precisa y única se vuelve la huella. Esta huella es muy significativa ya que las arenas y el polvo comunes arrastrados por el viento no son filtrados rápida y fácilmente por el agua de lluvia.

Cada medición realizada está necesariamente relacionada con alguna otra medida. Expresar una medición como porcentaje en peso, por ejemplo, relaciona la medición específica con el peso total de la muestra. En los experimentos de lixiviación con agua en laboratorio, se conoce la cantidad de dilución de agua y el tiempo de exposición para la lixiviación. Pero en el caso de las cenizas volantes de carbón lixiviadas por agua de lluvia, la dilución acuosa relativa y el tiempo de exposición son variables desconocidas.

Si se compararan elementos disueltos en agua de lluvia con elementos lixiviados por agua de cenizas volantes de carbón en el laboratorio, usando un porcentaje en peso o peso por volumen como referencia, se produciría una variabilidad causada por cantidades potencialmente diferentes de tiempo de exposición a lixiviación de agua de lluvia y dilución. Al expresar los mismos datos que las proporciones relativas a un elemento común medido en cada muestra, que se piensa que es un contaminante improbable del agua de lluvia como Ba, las mediciones ofrecen una base común para la comparación. Las comparaciones de ratios también son útiles para muestras sólidas, especialmente en casos donde, debido a la rareza de la muestra y, por lo tanto, al tamaño mínimo de la muestra, no todos los elementos pueden determinarse, o las muestras pueden haber sufrido reacciones como la oxidación, que pueden cambiar su peso relativo. Aunque las relaciones son útiles para hacer comparaciones a fin de identificar sustancias en la materia particulada aerosolizada utilizada en la geoingeniería, las relaciones no son útiles para calcular la dosis de exposición humana.

La comparación de ratios de agua de lluvia post fumigaciones en San Diego (USA) en análisis de 8 elementos aporta evidencias de la utilización de cenizas volantes de carbón demostrando que las partículas aerosolizadas y las cenizas volantes de carbón tienen características similares de lixiviado en agua [8,9].

Idealmente, se deberían recoger muestras del material en el momento que los aviones lo dispersan. Hay laboratorios capacitados para tomar esas muestras, sin embargo, como contratistas / beneficiarios del gobierno, sus científicos no parecen darse cuenta de las fumigaciones aéreas. No obstante, hay formas de obtener muestras del material, ya sea que haya caído directamente a tierra o que haya sido traído por otras circunstancias o materiales.

Una línea de evidencias "directas" de que el material contaminante que se están utilizando en la geoingeniería son cenizas volantes de carbón, se obtiene comparando los ratios de elementos medidos en el polvo suspendido recogido en los filtros de aire de alta eficiencia ubicados en el exterior con los correspondientes ratios de elementos medidos en una variedad de muestras de cenizas volantes de carbón europeas y americanas [8,9].

La idea de que las partículas de geoingeniería en aerosol pueden ser "traídas" a tierra por algún otro material tiene sus raíces en la conocida técnica química llamada coprecipitación. La coprecipitación es una técnica de separación química / física bien

establecida, útil para traer una sustancia traza cuya abundancia relativa es demasiado baja para caer por sí sola o para separarse de manera eficiente. Las trazas de plutonio, por ejemplo, pueden separarse del agua de mar por coprecipitación con cantidades mucho mayores de hidróxido ferroso [32]. De forma similar, en las tecnologías de tratamiento de aguas [33] y deshidratación [34], se añaden sustancias para provocar la coagulación y la floculación que permiten la separación por sedimentación / flotación. Recientemente, demostramos que la nieve que cae tras la dispersión aérea de partículas atrapa y baja a tierra las partículas de geoingeniería identificadas como cenizas volantes de carbón que quedan libres al fundirse parcialmente la nieve [35]. La generalización de este concepto es que cualquier material con un ratio relativamente alto de superficie / volumen flotando en el aire donde se dispersan las partículas de geoingeniería puede en principio atrapar y retener las partículas de geoingeniería.

Cuando el carbón es quemado en las centrales térmicas, produce dos tipos de cenizas, las cenizas pesadas que caen por su peso y las cenizas volantes que antes salían de las chimeneas en las naciones occidentales, pero que ahora, debido a su naturaleza tóxica, deben ser atrapadas por precipitadores electrostáticos y secuestradas. Pueden utilizarse clasificadores de ciclones para separar componentes ultrafinos de las cenizas volantes de carbón de tamaño micrónico y submicrónico [36]. Las cenizas volantes de carbón suponen uno de los mayores residuos industriales, y están disponibles en todo el mundo a bajo costo. Las cenizas volantes de carbón varían del color canela al gris oscuro y pueden mezclarse con aditivos adecuados para inhibir la aglomeración causada por las fuerzas de *van der Waals* [37,38].

Cuando se dispersan en la troposfera, las corrientes de convección mezclan las cenizas volantes en aerosol con el aire que respiramos [39]. Las cenizas volantes de carbón contienen muchos elementos tóxicos [29]. Como se analiza más adelante, las cenizas volantes de carbón PM_{2.5}, cuando se inhalan, se depositan en las vías respiratorias profundas y en los alvéolos y quedan atrapadas allí durante largos períodos de tiempo en los que los carcinógenos, incluidos los elementos radiactivos, el cromo hexavalente y otras toxinas lixiviables, pueden representar factores de riesgo para la EPOC y enfermedades respiratorias, incluido el cáncer de pulmón [40]. Aquí informamos y proporcionamos evidencias de la naturaleza específica de la amenaza de la EPOC derivada del uso de cenizas volantes de carbón aerosolizadas en la geoingeniería troposférica.

2. MÉTODOS

Revisamos publicaciones interdisciplinarias médicas de salud pública y científicas.

3. RESULTADOS Y DEBATE

Las cenizas volantes de carbón son un producto de la combustión de carbón compuesto de partículas finas expulsadas por la chimenea con los gases de combustión. En las centrales térmicas modernas, las cenizas volantes se recogen por precipitación electrostática. Bajo el microscopio, las cenizas volantes de carbón aparecen principalmente como pequeñas partículas esféricas [41]. Los principales componentes de estas cenizas son los óxidos de silicio, aluminio, hierro y calcio, con menores cantidades de magnesio, azufre, sodio y potasio [3,29]. Las categorías minerales de las cenizas volantes se pueden dividir en las siguientes: (1) vidrio amorfo; (2) mullita ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) y cuarzo (SiO_2); y, (3) una fracción magnética que contiene principalmente magnetita (Fe_3O_4). La segunda y tercera categoría son fases cristalinas y constituyen el 30% del total [42].

Entre los elementos de traza se encuentran los siguientes: arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, plomo, manganeso, níquel, fósforo, selenio, talio, uranio y zinc [3,29]. Además, moléculas orgánicas policíclicas nocivas, como el benzopireno, también se encuentran en las cenizas volantes de carbón en pequeñas cantidades [43].

3.1 Inhalación de cenizas volantes de carbón: efectos dañinos.

Las cenizas volantes de carbón utilizadas en la geoingeniería constituyen una forma deliberada de contaminación del aire. La exposición a la contaminación del aire ambiente sin duda contribuye a la creciente carga global de la EPOC. Si bien fumar cigarrillos es la principal causa de EPOC, una carga sustancial de la enfermedad se debe a otros factores de riesgo. La exposición ocupacional a polvos inorgánicos aumenta la mortalidad por EPOC incluso entre los no fumadores [44]. Una declaración oficial de política pública de la American Thoracic Society concluye que la prevalencia de la EPOC se asocia con síndromes genéticos específicos y ocupacionales, emisiones de tráfico y otros contaminantes externos [45].

La contaminación atmosférica en todo el mundo está aumentando a un ritmo alarmante, representando una de cada nueve muertes (la cuarta causa de muerte), con el 90% de las muertes en países de bajos ingresos donde este tipo de contaminación se está convirtiendo en una emergencia de salud pública [46]. Incluso en los EE. UU., donde los niveles de contaminación del aire son más bajos que el promedio mundial, la contaminación del aire ambiente representa aproximadamente 200,000 muertes prematuras anuales [47]. La exposición a un aire contaminado a corto plazo conduce a menudo a la exacerbación de la EPOC y a largo plazo contribuye a su desarrollo [48].

La contaminación del aire exterior contribuye a la alta incidencia y prevalencia de la EPOC tanto en los Estados Unidos como en Europa [49]. La exposición acumulativa a largo plazo a partículas finas y a la contaminación relacionada con el óxido de azufre en los EE. UU., se asocia en todo caso con cáncer de pulmón y mortalidad cardiopulmonar [50].

Se pueden extraer algunas inferencias sobre las consecuencias de las cenizas volantes de carbón de las investigaciones de cenizas de petróleo inhaladas. Se ha demostrado que la inhalación de cenizas volantes oleosas residuales aumenta la morbilidad pulmonar y afecta a los mecanismos de defensa pulmonar en trabajadores expuestos. Los estudios en animales muestran que las cenizas volantes de petróleo aumentan la susceptibilidad a la infección y dañan severamente los pulmones después de episodios pulmonares con patógenos bacterianos [51]. Las cenizas volantes de carbón afectan a los mecanismos inmunitarios de la eliminación bacteriana, específicamente la actividad de los macrófagos alveolares. El estrés oxidativo de las células pulmonares es uno de los principales mecanismos de la exacerbación de la enfermedad pulmonar inducida por la contaminación particulada. La activación oxidante por material particulado es específica de las células, con una respuesta oxidante particularmente fuerte de los macrófagos alveolares a las cenizas volantes de petróleo [52]. Las células epiteliales de la tráquea de rata expuestas a la inhalación de cenizas residuales de petróleo mostraron citotoxicidad mediada por especies de oxígeno reactivas con la correspondiente depleción de antioxidantes como el glutatión [53]. La deposición de partículas en el pulmón a partir de la inhalación de cenizas residuales de petróleo puede producir citoquinas proinflamatorias que conducen a una respuesta sistémica que incluye la estimulación de la médula ósea [54].

Recientes estudios *in vivo* realizados en animales experimentales documentan los efectos pulmonares y sistémicos de las cenizas volantes de carbón. La exposición a corto plazo a las cenizas volantes de carbón compuestas de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ indujo en ratas inflamación en el tejido pulmonar y la sangre con aumento de neutrófilos (glóbulos blancos reactivos). El examen histológico del tejido pulmonar expuesto reveló engrosamiento septal alveolar focal y aumento de la celularidad en los alvéolos más allá de los bronquiolos terminales [55]. Los ratones expuestos a las cenizas volantes de carbón a través de la vía traqueal mostraron una mayor impedancia mecánica pulmonar, cambios inflamatorios y daño al ADN. Estos efectos se asociaron con la composición de las partículas. Se detectaron componentes de cenizas volantes de carbón que incluyen cromo (Cr), hierro (Fe) y níquel (Ni) en el hígado, bazo y cerebro de ratones expuestos, lo que muestra una transferencia eficiente de estos metales en la sangre a los órganos extrapulmonares [56].

Se sabe que las cenizas volantes de carbón contienen hierro [29], un nutriente importante para las bacterias. El funcionamiento exitoso de los sistemas antibacterianos depende de un nivel extremadamente bajo de hierro

iónico libre en fluidos tisulares normales. La virulencia bacteriana se potencia en gran medida con hierro iónico libre, como el de la transferrina totalmente saturada o la hemoglobina libre [57]. Las cenizas volantes de carbón reducen o retrasan la eliminación bacteriana in vivo e in vitro, disminuye los péptidos antimicrobianos y proporciona una fuente de hierro para el crecimiento bacteriano [58]. Los efectos tóxicos de las cenizas volantes de carbón en los macrófagos alveolares y la capacidad de estas partículas para aumentar la infectividad bacteriana, se asocian con un tamaño pequeño y la presencia de metal en las partículas [59].

El uso de partículas ultrafinas en aerosol para fines de geoingeniería es ventajoso para aumentar el tiempo de permanencia en una troposfera convectiva, pero plantea problemas adicionales de salud pulmonar. En las cenizas volantes de carbón se encuentran partículas ultrafinas (0.1-1 μm) y nanométricas (<100 nm). La caracterización de estas partículas mediante microscopio electrónico de transmisión con filtrado de energía ha mostrado las esférulas incrustadas en una matriz de sílice con metales que incluyen aluminio, hierro y titanio [28]. Un estudio fraccionado de cenizas volantes de carbón reveló que las nanopartículas tienen una mayor capacidad para generar inflamación pulmonar y matar macrófagos en cultivos celulares, en comparación con fracciones finas y gruesas [60]. La clave para comprender la toxicidad de las nanopartículas es que su diminuto tamaño, más pequeño que las células y los orgánulos celulares, les permite penetrar en estas estructuras biológicas, lo que altera su normal funcionamiento. Ejemplos de efectos tóxicos incluyen la inflamación de los tejidos y el equilibrio redox celular alterado hacia la oxidación, que causa un funcionamiento anormal o muerte celular [61]. Las nanopartículas de cenizas volantes de carbón con metales pesados tóxicos adsorbidos en superficie pueden actuar como tóxicos celulares y de ADN, capaces de inducir inflamación, estrés oxidativo, daño en el ADN y muerte celular [62].

3.2 Mecanismo de la toxicidad de partículas

La exposición a partículas y fibras está asociada con muchas enfermedades pulmonares, incluyendo EPOC (bronquitis crónica y enfisema), neumonitis, neumoconiosis, mesotelioma y cáncer de pulmón. Todas las partículas y fibras tienen la capacidad de presentar un estrés oxidativo al pulmón [63]. Entre las características compartidas por todas las partículas introducidas en el pulmón está la creación de una interfaz sólido-líquido en el tracto respiratorio inferior. En este interfaz sólido-líquido se puede observar la producción de radicales libres por fibras y partículas en coordinación con metales de transición con dos estados de valencia estables [63-65]. Por ejemplo, el mismo carácter divalente del hierro que juega un papel biológico importante también puede causar toxicidad al mantener las condiciones oxidativas [66].

La generación radical catalizada por metales asociados con fibras y partículas puede dar como resultado una cascada de señalización celular, activación del factor de transcripción y liberación del mediador [67-69]. Las manifestaciones clínicas de este proceso pueden presentarse como enfermedad inflamatoria, fibrótica y neoplásica.

3.3 Inhalación de partículas y enfermedades pulmonares

La materia particulada (MP) es el término genérico para la mayor parte de la contaminación del aire que consiste en partículas de productos químicos, metales, suelos, polvos, aerosoles y ácidos. El cuarzo o la sílice cristalina, el asbesto y el carbón son los tres principales tipos de partículas vinculados históricamente con la mayoría de las enfermedades ocupacionales y las inducidas por partículas [70]. La inhalación de partículas y fibras duraderas ha sido motivo de preocupación durante más de un siglo debido a innumerables publicaciones que informan sobre enfermedades pulmonares en trabajadores industriales y mineros antes de la aplicación de la normativa de niveles de exposición permisibles en el lugar de trabajo. Ahora se sabe que las partículas ambientales inhaladas están asociadas con efectos adversos para la salud, y sus componentes y efectos biológicos están siendo investigados intensamente [71]. Las fibras vítreas artificiales, un gran subconjunto de fibras minerales sintéticas, son fibras sintéticas de silicato vítreo ampliamente utilizadas en el aislamiento actual y en la industria de la construcción. La capacidad del asbesto para inducir fibrosis pulmonar y pleural es indiscutible, mientras que la evidencia de esto para las fibras vítreas es limitada. Los efectos adversos para la salud de las partículas y las fibras se han centrado en los procesos bioquímicos y las alteraciones de los mecanismos de defensa del huésped [72].

Las partículas ultrafinas y las nanopartículas son lo suficientemente pequeñas como para pasar a través del tejido pulmonar directamente al torrente sanguíneo [71,73]. Más allá de la forma y el tamaño, se debe prestar cada vez más atención a la química de partículas / fibras como un determinante de variables tales como el comportamiento de disolución, el intercambio iónico, las propiedades de sorción y la reactividad superficial [72,74].

Como se señaló anteriormente, la magnetita (Fe_3O_4) es un componente común de las cenizas volantes de carbón. Las investigaciones de microscopio electrónico de transmisión revelaron una abundancia de nanopartículas de magnetita entre las partículas ultrafinas de cenizas volantes de carbón [36]. Hay un número creciente de informes de toxicidad pulmonar por la inhalación de magnetita, incluida la magnetita nanoparticulada. Cuatro fracciones de tamaño diferente de magnetita en células epiteliales alveolares humanas mostraron efectos que incluyen

citotoxicidad, genotoxicidad y aumento de la producción de especies reactivas de oxígeno [75]. En otro estudio, las células epiteliales de los pulmones se trataron con diversas concentraciones de nanopartículas magnéticas. Estos resultados mostraron que las células tratadas con magnetita, versus controles, indujeron estrés oxidativo, agotaron los niveles de antioxidantes y afectaron la vía apoptótica [76]. La pulverización intratraqueal intermitente a largo plazo de nanopartículas de magnetita en ratas reveló cambios inflamatorios crónicos que se produjeron de una manera dependiente de la dosis [77]. La toxicidad por inhalación subcrónica del óxido de hierro en ratas mostró que la toxicidad pulmonar está determinada por la cinética de partículas, típica de las partículas poco solubles [78].

Existen implicaciones adicionales de la toxicidad pulmonar de las cenizas volantes de carbón en aerosol sugeridas por estudios sobre el asbesto, un silicato fibroso. El amianto se usó ampliamente durante más de 100 años y todavía se usa en muchos países a pesar de los informes alarmantes sobre su toxicidad y carcinogenicidad [79]. La presencia de metales de transición como el hierro en fibras de amianto y la capacidad de estas fibras para atraer hierro del entorno circundante pueden ser factores clave para la toxicidad del asbesto y para la formación en el pulmón de cuerpos de amianto (ferruginosos) que caracterizan la enfermedad pulmonar causada por asbestosis. La microscopía de rayos X de escaneo Sincrotrón ha demostrado que las fibras y cuerpos de asbesto de larga vida, provocan una gran movilización de hierro hacia las células circundantes (principalmente macrófagos alveolares) y en los tejidos, en parte como consecuencia de la adsorción continua de hierro a las fibras y / o degradación del cuerpo del amianto y liberación de metal [66]. El hierro (incluida la magnetita) es un componente integral de las fibras de asbesto anfíboles patógenas (crocidolita, amosita) y se presenta como un contaminante mineral del amianto crisotilo (serpentina) [71,80]. Los estudios sugieren que el crisotilo no es tóxico simplemente en su papel de transportador de hierro hacia la célula, sino que la actividad redox del hierro se potencia cuando se organiza en la superficie de la fibra en sitios cristalográficos específicos que tienen estados de coordinación capaces de promover la generación de radicales libres [81].

El tracto respiratorio es el sistema más comúnmente afectado tras la exposición a las PM; y las partículas aumentan el riesgo de infecciones respiratorias humanas. Uno de los mecanismos importantes para la infección relacionada con partículas es la acumulación de hierro (Fe) por grupos funcionales superficiales de PM, ya que la disponibilidad de este metal aumenta la susceptibilidad del huésped a organismos patógenos [82]. El material particulado en la contaminación del aire altera la inmunidad innata del epitelio respiratorio anti-micobacteriano, lo

que posiblemente da como resultado tasas más altas de tuberculosis activa [83]. La exposición in vivo a corto plazo a cenizas volantes de petróleo residual afecta la respuesta inmune a micobacterias no tuberculosas (o ambientales) (NTM) [84]. Cuando las cenizas volantes de carbón llegan a las vías respiratorias, absorben rápidamente proteínas y péptidos antimicrobianos, disminuyendo así la cantidad funcional de péptidos antimicrobianos requerida para eliminar a las bacterias patógenas invasoras [85].

La evaluación del riesgo para la salud humana sobre la exposición a toxinas ambientales incluye estos pasos [86]: 1) identificación del peligro, 2) evaluación de la dosis-respuesta, 3) evaluación de la exposición, y 4) caracterización del riesgo. Este estudio identifica las cenizas volantes de carbón, un riesgo ambiental conocido, como un material secreto y no divulgado previamente, utilizado en operaciones de geoingeniería troposférica con aerosoles. Este estudio actualmente se ve limitado por la imposibilidad de cuantificar la exposición humana a esta forma particular de contaminación del aire o para separarla de otras formas de contaminación del aire causadas por la actividad humana. El nivel de exposición de una persona a la contaminación atmosférica depende de una variedad de factores que incluyen la condición física, la edad, la susceptibilidad individual, la concentración y la duración de la exposición, así como muchas interacciones complejas entre los factores del huésped y el medio ambiente a lo largo del tiempo. Las nuevas técnicas de biocontrol deberían permitir mediciones más precisas de la exposición a contaminantes atmosféricos específicos [87]. Sin embargo, la información útil sobre dosis / efecto, la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo se puede extrapolar a partir de los datos publicados relativos a los componentes tóxicos conocidos de las cenizas volantes de carbón.

Pronosticar desastres de salud pública, por lo general, implica tomar medidas antes de una prueba sólida de daño, particularmente en el caso de un daño prolongado y potencialmente irreversible, y especialmente en el caso donde los costos de la atención médica pueden llegar a ser excesivos para la sociedad en su conjunto. El enfoque reconocido de dicha predicción, ahora llamado principio de precaución, asigna la carga de la prueba al autor de cualquier actividad ambientalmente cuestionable para demostrar que de hecho es inofensiva [27]. Algunas de las principales crisis de salud en el pasado podrían haber sido menos graves si el principio de precaución hubiera existido y se hubiera aplicado. Los ejemplos incluyen intoxicaciones por benceno, radio y PCB, cáncer de amianto y enfermedad de las vacas locas, etc. [27]. La Tabla 1 presenta una breve descripción de la instrucción.

Cuadro 1. Breve resumen instructivo

Factores de riesgo EPOC:	Exposición ocupacional a polvo inorgánico, humo de cigarros, contaminantes del aire, incluso material particulado, y cenizas volantes de carbón.
Exposición a las cenizas volantes de carbón aerosolizadas	Trabajadores con cenizas volantes de carbón, personas que viven en las inmediaciones de los depósitos de cenizas volantes y los gases de las chimeneas de las centrales, poblaciones expuestas a la dispersión aérea de las cenizas volantes de carbón en actividades de geoingeniería.
EPOC Componentes dañinos de las cenizas volantes de carbón	Elementos radiactivos, metales pesados, elementos tóxicos y carcinogénicos, nano partículas y compuestos del hierro.
Ejemplos de interacciones de cenizas volantes de carbón que afectan a la EPOC:	Inflamación pulmonar, equilibrio redox celular alterado, agotamiento de antioxidantes, tóxicos celulares causantes de disfuncionamiento o muerte celular, disfunción de macrófagos alveolares, activación de la médula ósea, daño al DNA, cytotoxicidad, genotoxicidad, aumento de la susceptibilidad a la infección incluída la inmunidad antimicobacteria, translocación de metales desde los pulmones a otros órganos.
Acción Indicada:	Estándares de emisión estrictos, especialmente en naciones en desarrollo Activar el Principio de Precaución y poner fin a la geoingeniería de aerosoles.

Los perpetradores de las partículas aerosolizadas, cuyas evidencias son consistentes principalmente con cenizas volantes de carbón [35,88], no solo han fallado en mostrar que esta actividad es inofensiva, sino que ha engañado al público sobre sus peligros [89]. Por lo tanto, corresponde a la comunidad sanitaria debatir el potencial del daño prolongado e irreversible como consecuencia de esta actividad.

Es muy probable que los perpetradores de las fumigaciones aéreas de cenizas volantes de carbón sean conscientes de los riesgos para la salud pública ya que prácticamente todas las naciones occidentales requieren que estas cenizas se capturen y secuestren prohibiendo que salgan de las chimeneas de las centrales térmicas, debido a su naturaleza tóxica. Los estudios sobre las consecuencias para la salud pública de las cenizas volantes de carbón, se centran principalmente en la exposición de los trabajadores y su liberación accidental de estanques de contención y la contaminación del agua subterránea [90]. Como se señaló anteriormente, la gran cantidad de estudios de contaminación del aire nos ofrecen ya una medida de lo que puede suponer para la salud pública la dispersión de cenizas volantes de carbón aerosolizadas. Los estudios de contaminación del aire han demostrado que las partículas con el mismo rango de diámetro que las cenizas volantes de carbón en aerosol, $\leq 2.5 \mu\text{m}$, se asocian con mayores ingresos hospitalarios [91], morbilidad y mortalidad prematura [92-94], riesgo de enfermedad cardiovascular [95], inflamación pulmonar y diabetes [96], bajo peso al nacer [97] y reducción de la fertilidad masculina [98]. Además, las cenizas volantes de carbón contienen numerosos carcinógenos, incluidos, por ejemplo, elementos radiactivos, arsénico y cromo VI [99].

En la mayoría de los países desarrollados el personal sanitario se ha acostumbrado a confiar en las notificaciones gubernamentales de crisis sanitarias inminentes. Sin embargo, en el caso de la geoingeniería troposférica con cenizas volantes de carbón, existe una reversión ética, ya que en vez de alertar al personal médico sobre el peligro potencial se les están escondiendo los hechos. En esta situación el personal sanitario deberá encontrar la forma de compartir observaciones y datos, como emergencias

respiratorias que podrían estar relacionadas con las cenizas volantes de carbón aerosolizadas, y a correlacionar tales emergencias con datos de calidad del aire. Los entes sanitarios deberían considerar formas de cotejar, analizar y hacer pública dicha información. No es razonable esperar franqueza y veracidad de las fuentes oficiales directa o indirectamente responsables de las operaciones encubiertas y sobre sus consecuencias, ya que el mantra de la "seguridad nacional" supone una carta de triunfo infalible sobre todas las demás.

Aquí hemos investigado algunos de los riesgos potenciales para la salud pública de las cenizas volantes de carbón aerosolizadas, en el contexto industrial, así como su uso en la geoingeniería troposférica encubierta, centrándonos en los riesgos especiales para las enfermedades respiratorias. Ciertamente, hay muchas otras preocupaciones médicas serias, incluido el riesgo de cáncer de pulmón [40] y enfermedades neurodegenerativas [41]. El arsénico lixiviado de las cenizas volantes de carbón puede atravesar la placenta. Hay posibles consecuencias sobre las cuales solo se puede especular, por ejemplo, dispersar cenizas volantes de carbón casi a diario y a nivel prácticamente global, año tras año, en la región atmosférica donde se forman las nubes, indudablemente alterarán el complejo y delicado equilibrio entre las biotas de la tierra y sus entornos físicos. Claramente, el único nivel seguro y saludable para las operaciones de geoingeniería troposféricas, como el de las detonaciones nucleares aéreas, es que no tengan lugar.

4. CONCLUSIÓN

La mezcla tóxica de sustancias en las cenizas volantes de carbón envenena el aire que respiramos y contamina totalmente la lluvia que cae a tierra. Si bien las actividades de geoingeniería plantean graves riesgos para la biota de la Tierra y para la salud humana en general, el impacto en las enfermedades respiratorias es aún mayor debido a los procesos patológicos descritos en este trabajo. Se han sumado esfuerzos a nivel mundial para ocultar al público el alcance y el peligro de los proyectos de modificación del tiempo y del clima, pero los efectos de la geoingeniería se han convertido en una "realidad innegable" para quienes están en sintonía con el entorno natural. Teniendo en cuenta las toxicidades bien establecidas y múltiples de las cenizas volantes de carbón, existe una necesidad urgente de promulgar el Principio de Precaución y exigir el cese inmediato de la geoingeniería de aerosoles troposférica y estratosférica. El público debe ser consciente del gran peligro potencial para nuestra salud y el medio ambiente que plantean los proyectos de geoingeniería encubierta.

CONSENTIMIENTO

No aplicable

APROBACIÓN ÉTICA

No aplicable

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

REFERENCIAS

1. Lozano R, Naghavi M, Foreman K, Lim S, et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2012;380:2095-128.
2. Vos T, Flaxman AD, Naqhv M, et al. e. Years lived with disability (YLD) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990-2010: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet*. 2010;380:2163-96.
3. Ma J, Ward E, Siegel R, Jamal A. Temporal trends in mortality in the United States, 1969-2013. *JAMA*. 2015;314(16): 1731-9.
4. MMWR Weekly 2008 November 14; 2008
5. Shepherd J, Caldeira K, Cox P, Haigh J, Keith D, Launder B, et al. *Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty* 2009. Royal Society: London.
6. McNutt M. Ignorance is not an option. *Science*. 2015;347(6228):1293.
7. Herndon JM. Aluminum poisoning of humanity and Earth's biota by clandestine geoengineering activity: Implications for India. *Curr Sci*. 2015;108(12):2173-7.
8. Herndon JM. Obtaining evidence of coal fly ash content in weather modification (geoengineering) through analyses of post-aerosol spraying rainwater and solid substances. *Ind J Sci Res and Tech*. 2016;4(1):30-6.
9. Herndon JM. Adverse agricultural consequences of weather modification. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*. 2016;38(3):213-21.
10. Ben-Zvi A. Enhancement of runoff from a small watershed by cloud seeding. *J Hydrology*. 1988;101(1-4):291-303.
11. Bruintjes RT. A review of cloud seeding experiments to enhance precipitation and some new prospects. *Bull Am Meteorol Soc*. 1999;80(5):805-20.
12. Scott D, McBoyle G. Climate change adaptation in the ski industry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 2006;12(8):1411.
13. Fleming JR. *Fixing the Sky: The Checkered History of Weather and Climate Control*. New York: Columbia University Press; 2010.
14. Newell HE. A recommended national program in weather modification – a report to the interdepartmental committee for atmospheric sciences (ICAS) No. 10a. Washington, DC; 1996.
15. U. S. Senate: Programs, problems, policy, and potential. Washington, DC; 1978.
16. House TJ, Near JB, Shields WB, Celentano RJ, Husband DM, Mercer AE, et al. *Weather as a Force Multiplier: Owning the Weather in 2025*. US Air Force; 1996.
17. Executive summary statement – Update on the meeting of the expert team on weather modification research. Abu Dhabi; 2010.
18. Diehl SR. Charged seed cloud as a method for increasing particle collisions and for scavenging airborne biological agents and other contaminants Diehl, SR. Feb 12; 2013.

19. Davidson P, Hunt HEM, Burgoyne CJ. Atmospheric delivery system US 9363954 B2. U S Patent June 14, 2016; US9363954 B2.
20. Jenkins RT. Production or distribution of radiative forcing agents US 8944363 B2. U S Patent US8944363 B2. Feb. 3; 2015.
21. Axisa D, DeFelice TP. Modern and prospective technologies for weather modification activities: A look at integrating unmanned aircraft systems. *Atmospheric Research*. 2016;178–179:114-24.
22. Doshi N, Agashe S. Feasibility study of artificial rainfall system using ion seeding with high voltage source. *Journal of Electrostatics*. 2015;74:115-27.
23. Fleming JR. The pathological history of weather and climate modification: Three cycles of promise and hype. *Hist Stud Phys Biol Sci*. 2006;37(1):3-25.
24. Shearer C, West M, Caldeira K, Davis SJ. Quantifying expert consensus against the existence of a secret large-scale atmospheric spraying program. *Environ Res Lett*. 2016;11(8):p. 084011.
25. Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC, Walton HA. Epidemiological time series studies of PM_{2.5} and daily mortality and hospital admissions: A systematic review and meta-analysis. *Thorax*. 2014;0(1-6). DOI: 10.1136/thoraxjnl-2013-204492
26. Harrell JA, Baker EL. The essential services of public health. *Leadership Public Health*. 1994;3(3):27-30.
27. Kriebel D, Tickner J, Epstein P, Lemons J, Levins R, Loechler EL, et al. The precautionary principle in environmental science *Environ Health Perspec*. 2001;109(9):871-6.
28. Chen Y, Shah N, Huggins FE, et al. Characterization of ultrafine coal fly ash particles by energy-filtered TEM. *J Microscopy*. 2005;217(3):225-34.
29. Moreno N, Querol X, Andrés JM, Stanton K, Towler M, Nugteren H, et al. Physico-chemical characteristics of European pulverized coal combustion fly ashes. *Fuel*. 2005;84:1351-63.
30. Suloway JJ, Roy WR, Skelly TR, Dickerson DR, Schuller RM, Griffin RA. Chemical and toxicological properties of coal fly ash. Illinois: Illinois Department of Energy and Natural Resources; 1983.
31. Izquierdo M, Querol X. Leaching behaviour of elements from coal combustion fly ash: An overview. *International Journal of Coal Geology*. 2012;94:54-66.
32. Wong KM. Radiochemical determination of plutonium in sea water, sediments and marine organisms. *Analy Chim Acta*. 1971;56(3):355-64.
33. Matilainen A, Vepsäläinen M, Sillanpää M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2010;159(2):189-97.
34. Uduman N, Qi Y, Danquah MK, Forde GM, Hoadley A. Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*. 2010;2(1):012701.
35. Herndon JM, Whiteside M. Further evidence of coal fly ash utilization in tropospheric geoengineering: Implications on human and environmental health. *J Geog Environ Earth Sci Intn*. 2017;9(1):1-8.
36. Chen Y, Shah N, Huggins FE, Huffman GP. Transmission electron microscopy investigation of ultrafine coal fly ash particles. *Environ Science and Technolgy*. 2005;39(4):1144-51.
37. English JM, Toon OB, Mills MJ, Yu F. Microphysical simulations of new particle formation in the upper troposphere and lower stratosphere. *Atmos Chem Phys*. 2011;11:9303-22.
38. Sheng J. Modeling Stratospheric Aerosols Using a Coupled Aerosol-Chemistry-Climate Model. Zurich: Swiss Federal Institute of Technology 2014.
39. Sherwood SC, Roca R, Weckwerth TM, Andronova NG. Tropospheric water vapor, convection, and climate. *Rev Geophys*. 2010;48:RG2001.
40. Whiteside M, Herndon JM. Coal fly ash aerosol: Risk factor for lung cancer. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 2018;25(4):1-10.
41. Whiteside M, Herndon JM. Aerosolized coal fly ash: Risk factor for neurodegenerative disease. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 2018;25(10):1-11.
42. Liem HM, Sandstrom T, Wallin A, al. e. Studies on the leachate and weathering processes of coal ashes. *Water Sci Tech*. 1985;15:163.
43. Roy WR, Thiery R, Suloway JJ. Coal fly ash: a review of the literature and proposed classification system with emphasis on environmental impacts. *Environ Geology Notes #96*. 1981.

44. Bergdahl IA, Toren K, Eriksson K, Hedlund U, Nilsson T, Flodin R, et al. Increased mortality in COPD among construction workers exposed to inorganic dust. *European Resp J*. 2004;23:402-6.
45. Eisner MD, Anthonisen N, Coultas D, al. e. An official American Thoracic Society public policy statement: Novel risk factors and the global burden of chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Resp Crit Care Med*. 2010;182:693-718.
46. Ambient air pollution – a global assessment of exposure and burden of disease. Geneva: World Health Organization (WHO) 2016.
47. Caiazzo F, Ashok A, Waitz IA, H.L. S, Yim SHL, R.H. S, et al. Air pollution and early deaths in the United States. Part I: Quantifying the impact of major sectors in 2005. *Atmos Environ*. 2013;79:198-208.
48. Anderson ZJ, Hvidberg M, Jensen SS, al. e. Chronic obstructive pulmonary disease and long-term exposure to traffic-related air pollution. A cohort study. *Am J Resp Crit Care Med*. 2011;183(4):455-61.
49. Song Q, Christiani DC, Wang X, Ren J. The global contribution of outdoor pollution to the incidence, prevalence, mortality, and hospital admission for chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health* 2014;11(11):11822-32.
50. Pope A, Burnett R, Thun M, Thurston G. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*. 2002;287(9):1132-41.
51. Antonini JM, Roberts JR, Jernigan MR, al. e. Residual oil fly ash increases the susceptibility to infection and severely damages the lungs after pulmonary challenge with a bacterial pathogen. *Toxicol Sci*. 2002;70(1):110-9.
52. Becker S, Soukup J, Gallagher J. Differential particulate air pollution induced oxidant stress in human granulocytes, monocytes and alveolar macrophages. *Toxicology in vitro*. 2002;16(3):209-18.
53. Dye JA, Adler KB, Richards JH, Dreher KL. Epithelial injury induced by exposure to residual oil fly-ash particles: role of reactive oxygen species? *American journal of respiratory cell and molecular biology*. 1997;17(5):625-33.
54. van EEDEN SF, Tan WC, Suwa T, Mukae H, Terashima T, Fujii T, et al. Cytokines involved in the systemic inflammatory response induced by exposure to particulate matter air pollutants (PM10). *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2001;164(5):826-30.
55. Smith KR, Veranath JM, Kodavanti UP, Aust AE, Pinkerton KE. Acute pulmonary and systemic effects of inhaled coal fly ash in rats: Comparison to ambient environmental particles. *Toxicological Sciences*. 2006;93(2):390-9.
56. León-Mejía G, Machado MN, Okuro RT, Silva LF, Telles C, Dias J, et al. Intratracheal instillation of coal and coal fly ash particles in mice induces DNA damage and translocation of metals to extrapulmonary tissues. *Science of the Total Environment*. 2018;625:589-99.
57. Bullen JJ, Rogers HJ, Spalding PB, Ward CG. Iron and infection: the heart of the matter. *FEMS Immunol Med Microbiol* 1. 2005;43(3):325-30.
58. Borchherding JA, Chen H, Caraballo JC. Coal fly ash impairs airway antimicrobial peptides and increases bacterial growth. *PLoS One*. 2013;8(2).
59. Hatch GE, Boykin E, Graham JA, Lewtas J, Pott F et al. Inhalable particles and pulmonary host defense: In vivo and in vitro effects of ambient air and combustion particles *Environ Res*. 1985;6(1):67-80.
60. Gilmour MI, O'Connor S, Dick CAJ, Miller CA, Linak WP. Differential pulmonary inflammation and in vitro cytotoxicity of size-fractionated fly ash particles from pulverized coal combustion. *J Air Waste Mangt Assoc*. 2004;54:286-95.
61. Buzea C, Pacheco I, Robbie K. Nanomaterials and nanoparticles: sources and toxicity. *Biointerphases* 2 MR. 2007;17.
62. Sambandam B, Devasena T, Islan VIH, Prakhya BM. Characterization of coal fly ash nanoparticles and their induced in vitro cellular toxicity and oxidative DNA damage in different cell lines. *Indian J Experiment Biol*. 2015;53:585-93.
63. Ghio AJ, Churg A, Roggli V. Ferruginous bodies: implications in the mechanism of fiber and particle toxicity. *Toxicologic Pathology*. 2004;32:643-9.
64. Lund LG, Aust AE. Iron-catalyzed reactions may be responsible for the biochemical and biological effects of asbestos. *Biofactors*. 1991;3:83-9.
65. Dai J, Churg A. Iron loading makes a nonfibrogenic model air pollutant particle fibrogenic in rat tracheal explants. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2002;26:68593.

66. Pascolo L, Gianoncelli A, Schneider G, Salomé M, Schneider M, Calligaro C, et al. The interaction of asbestos and iron in lung tissue revealed by synchrotron-based scanning X-ray microscopy. *Sci Rep.* 2013;3:1123.
67. Brown DM, Donaldson K, Borm PJ, Schins RP, Dehnhardt M, Gilmour P, et al. Calcium and ROS-mediated activation of transcription factors and TNF- α cytokine gene expression in macrophages exposed to ultrafine particles. *Am J Physiol.* 2004;286:L344-L53.
68. Cummins AB, Palmer C, Mossman BT, Taatjes DJ. Persistent localization of activated extracellular signal-regulated kinases is epithelial cell-specific in an inhalation model of asbestosis. *Am J Pathol.* 2003;162:713-20.
69. Ramos-Nino ME, Haegens A, Shukla A, Mossman B. Role of mitogen-activated protein kinases in cell injury and proliferation by environmental particulates. *Mol Cell Biochem.* 2002;234-235:111-8.
70. Upadhyay S, Ganguly K, Stoeger T. Inhaled ambient particulate matter and lung health burden. *E M J Respir* 2014;2:88-95.
71. Mossman BT, Borm PJ, Castranova V, Costa DL, Donaldson K, Kleeberger SR. Mechanisms of action of inhaled fibers, particles and nanoparticles in lung and cardiovascular diseases. *Particle and Fiber Toxicology.* 2007;4:4.
72. Osinubi O, Gochfeld M, Kipen H. Health effects of asbestos and nonasbestos fibers. *Envir Health Persp.* 2000; 108(4):665-74.
73. A. USEP. Integrated science assessment for particulate matter (final report) U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC: 2009 Contract No.: EPA/600/R-08/139F.
74. Guthrie GD. Mineral properties and their contribution to particle toxicity. *Environ Health Perspect.* 1997;105(supplement 5):1003-11.
75. Könczöl M, Ebeling S, Goldenberg E, Treude F, Gminski R, Gieré R, et al. Cytotoxicity and genotoxicity of size-fractionated iron oxide (magnetite) in A549 human lung epithelial cells: role of ROS, JNK, and NF- κ B. *Chem Res Toxicol.* 2011;24(9):1460-75.
76. Ramesh V, Ravichandran P, Copeland CL, Gopikrishnan R, Biradar S, Goornavar V, et al. Magnetite induces oxidative stress and apoptosis in lung epithelial cells. *Mol Cell Biochem* 2012;363(1-2):225-34.
77. Toda Y, Yano N, Takashashi H, al. e. Long-term pulmonary responses to quadweekly intermittent intratracheal spray instillations of magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles for 52 weeks in Fisher 344 rats. *J Toxicol Pathol.* 2013;26(4):393-403.
78. Pauluhn J. Subchronic inhalation toxicity of iron oxide (magnetite, Fe₃O₄) in rats: pulmonary toxicity is determined by the particle kinetics typical of poorly soluble particles. *J Appl Toxicol.* 2012;32(7):488-504.
79. Brims FJ. Asbestos – a legacy and persistent problem. *J R Nav Serv.* 2009;95:4-11.
80. Virta R. Asbestos: Geology, Mineralogy, Mining, and Uses. U.S. Department of the Interior – U.S. Geological Survey Open-File Report 02-149.
81. Gazzano E, Turci F, Fioretti E, Putzu MG, Aldieri E, Silvagno F, et al. Iron-loaded synthetic chrysotile: A new model solid for studying the role of iron in asbestos toxicity. *Chem Res Toxicol.* 2007;20:380-7.
82. Ghio A. Particle exposures and infections. *Infection.* 2014;42(3):459-67.
83. Rivas-Santiago CE, Sarkar S, Cantarella P, Osornio-Vargas Á, Quintana-Belmares R, Meng Q, et al. Air pollution particulate matter alters antimycobacterial respiratory epithelium innate immunity. *Infection and Immunity.* 2015;83(6):2507-17.
84. Delfosse VC, Tasat DR, Gioffré AK. In vivo short-term exposure to residual oil fly ash impairs pulmonary innate immune response against environmental mycobacterium infection. *Environmental Toxicology.* 2015;30(5):589-96.
85. Buonfiglio LGV, Mudunkotuwa IA, Alaiwa MHA, Calderón OGV, Borcherdig JA, Gerke AK, et al. Effects of coal fly ash particulate matter on the antimicrobial activity of airway surface liquid. *Environmental Health Perspectives.* 2017; 125(7).
86. Risk assessment for toxic air pollutants – a citizen's guide. Washington, DC: Environmental Protection Agency (EPA), 2016.
87. Steinle S, Reis S, Sabel CE. Quantifying human exposure to air pollution – moving from static monitoring to spatio-temporally resolved personal exposure assessment. *Sci Total Environ.* 2013;443:184-93.

88. Herndon JM, Whiteside M. Contamination of the biosphere with mercury: Another potential consequence of on-going climate manipulation using aerosolized coal fly ash. *J Geog Environ Earth Sci Intn.* 2017;13(1):1-11.
89. Available:<http://www.nuclearplanet.com/USAFpdf> (Accessed April 22, 2018)
90. Ruhl L, Vengosh A, Dwyer GS, Hsu-Kim H, Deonarine A, Bergin M, et al. Survey of the potential environmental and health impacts in the immediate aftermath of the coal ash spill in Kingston, Tennessee. *Environ Sci Technol.* 2009;43:6326-33.
91. Bell ML, Ebisu K, Leaderer BP, Gent JF, Lee HJ, Koutrakis P, et al. Associations of PM2.5 constituents and sources with hospital admissions: Analysis of four counties in Connecticut and Massachusetts (USA). *Environ Health Perspect.* 2014;122(2):138-44.
92. Dai L, Zanobetti A, Koutrakis P, Schwartz JD. Associations of fine particulate matter species with mortality in the United States: A multicity time-series analysis. *Environ Health Perspect.* 2014;122(8):837-42.
93. Dockery DW, Pope CA, Xu XP, Spengler JD, Ware JH, et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *N Eng J Med.* 1993;329:1753-9.
94. Pope CA, Ezzati M, Dockery DW. Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. *N Eng J Med.* 2009;360:376-86.
95. Haberzetti P, Lee J, Duggineni D, McCracken J, Bolanowski D, O'Toole TE, et al. Exposure to ambient air fine particulate matter prevents VEGF-induced mobilization of endothelial progenitor cells from bone marrow. *Environ Health Perspect.* 2012;120(6):848-56.
96. Potera C. Toxicity beyond the lung: Connecting PM2.5, inflammation, and diabetes. *Environ Health Perspect.* 2014;122(1):A29.
97. Ebisu K, Bell ML. Airborne PM2.5 chemical components and low birth weight in the northeastern and mid-atlantic regions of the United States. *Environ Health Perspect.* 2012;120(12):1746-52. Pires A, de Melo EN, Mauad T, Saldiva PHN, Bueno HMdS. Pre- and postnatal exposure to ambient levels of urban particulate matter (PM2.5) affects mice spermatogenesis. *Inhalation Toxicology: International Forum for Respiratory Research.* 2011;23(4). DOI: 103109/089583782011563508
98. Meij R. Health aspects of coal fly ash. International Ash Utilization Symposium; Center for Applied Energy Research; University of Kentucky; 2001.

© 2018 Whiteside y Herndon; Este es un artículo Open Access distribuido bajo los términos de Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), que permite el uso no restrictivo, la distribución y la reproducción en cualquier medio siempre que el trabajo original se cita debidamente.

El historial de la revisión del artículo puede encontrarse aquí :<http://www.sciencedomain.org/review-history/24717>