

**Journal of Geography, Environment and Earth Science
International**

13(1): 1-11, 2017; Article no.JGEESI.37308
ISSN: 2454-7352

**Contaminación de la biosfera con mercurio: otra potencial
consecuencia de la manipulación del clima en curso, mediante
cenizas volantes de carbón aerosolizadas**

J. Marvin Herndon^{1*} y Mark Whiteside²

¹Transdyne Corporation, 11044 Red Rock Drive, San Diego, CA 92131, USA.

²Florida Department of Health in Monroe County, 1100 Simonton Street, Key West, FL 33040, USA.

Contribución de los autores

Este trabajo de colaboración está orientado a proporcionar las implicaciones científicas, médicas, de salud pública y evidencias relacionadas con la actividad de geoingeniería encubierta casi a nivel mundial. El autor JMH llevó a cabo las consideraciones geofísicas. Y el autor MW las consideraciones médicas y de salud pública. Ambos autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Información sobre el Artículo

DOI: 10.9734/JGEESI/2017/37308

Editor(s):

- (1) Mohamed Nageeb Rashed, Professor, Department of Chemistry, Aswan University, Egypt.
(2) Kaveh Ostad-Ali-Askari, Department of Civil Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Iran.
(3) Masum A. Patwary, Geography and Environmental Science, Begum Rokeya University, Bangladesh.

Reviewers:

- (1) Eric S. Hall, USA.
(2) Davidson Odafe Akpootu, Usmanu Danfodiyo University Sokoto, Nigeria.
Complete Peer review History: <http://www.sciencedomain.org/review-history/22144>

Documento breve

**Recibido el 10 de octubre de 2017
Aceptado el 27 de noviembre de 2017
Publicado el 4 de diciembre de 2017**

Traducción: www.guardacielos.org

RESUMEN

Objetivos Desde comienzos del siglo XXI, el clima está siendo objeto de manipulación mediante aerosoles, con una frecuencia y una duración cada vez mayores; y ello sin debate público y sin revelar la composición de la materia en suspensión dispersada en el aire que respiramos. Tampoco se ha hablado de los efectos de esta actividad sobre la biota, incluidos los seres humanos. Las evidencias forenses publicadas en la literatura científica revisada por pares son consistentes con las cenizas volantes de carbón, residuos tóxicos de la combustión de carbón, siendo la principal materia no revelada en las actividades de geoingeniería. El objetivo de este trabajo es revelar evidencias adicionales de que la materia particulada dispersada en la atmósfera con fines de manipulación del clima, son las cenizas volantes de carbón y considerar las consecuencias potenciales concomitantes de contaminar la biosfera con mercurio.

Métodos: Con el fin de investigar las evidencias de la composición del material de geoingeniería, se usó la espectroscopia de masas de plasma inductivo acoplado (ICP-MS)

Resultados: Los análisis del agua de lluvia y de nieve realizados, proporcionan una nueva evidencia adicional de que las cenizas volantes de carbón constituyen el principal componente dispersado en la atmósfera con fines de geoingeniería. En consecuencia, esta actividad de manipulación climática casi cotidiana y casi global, plantea un riesgo previamente no reconocido de contaminación ambiental de mercurio por cenizas volantes de carbón, dispersadas deliberadamente. El mercurio es un componente omnipresente en las cenizas volantes de carbón, (cuadro 1) produciéndose en cantidades variables que oscilan entre los 2 $\mu\text{g} / \text{g}$.

Conclusiones: A pesar del endurecimiento de las regulaciones de emisiones de mercurio, el mercurio medido en agua de lluvia está aumentando. Puesto que se sabe que en la troposfera superior se aprecia la presencia de partículas oxidadas vinculadas al mercurio, es probable que la dispersión encubierta de cenizas volantes de carbón aerosolizadas en esta parte de la atmósfera, sean una fuente importante de contaminación de mercurio. El mercurio afecta a múltiples sistemas en el cuerpo, potencialmente causante de enfermedades neurológicas, cardiovasculares, genitourinarias, reproductivas, inmunológicas e incluso genéticas. Teniendo en cuenta la manipulación del clima mediante aerosoles a base de cenizas volantes de carbón y que ello supone una fuente ambiental potencialmente omnipresente a nivel global de este elemento tóxico, es preciso reconocer esta actividad y tomar las medidas apropiadas para poner a la geoingeniería.

Palabras Clave: aerosoles atmosféricos, manipulación del clima, contaminación por mercurio, geoingeniería, cenizas volantes de carbón, metilmercurio, mercurio ambiental

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del medio ambiente por mercurio (Hg) plantea un problema de salud pública mundial [1]. El mercurio se conoce desde la antigüedad como uno de los elementos / sustancias más tóxicos del planeta [2]. Las actividades humanas casi han triplicado la cantidad de Hg en la atmósfera, con la carga atmosférica aumentando hasta un 1-2% anual [2]. La lluvia y el suelo contaminados por mercurio entran en la cadena alimentaria a través de plantas y animales [3]. El mercurio se bioacumula en la cadena alimentaria y provoca efectos adversos en la salud humana [2]. El mercurio afecta a múltiples sistemas en el cuerpo, siendo causante potencial de enfermedades neurológicas, cardiovasculares, genitourinarias, reproductivas, inmunológicas, e incluso genéticas [3].

El mercurio está presente en el medio ambiente en tres formas químicas, clasificadas como mercurio elemental Hg (0), mercurio iónico adsorbido en partículas Hg (II) y mercurio orgánico, especialmente metilmercurio (CH₃Hg). La proporción relativa de estas formas no es necesariamente un reflejo de la distribución de sus proporciones originales porque el mercurio interactúa químicamente en el medio ambiente [4,5]. La atmósfera es la principal vía de transporte de las emisiones de mercurio, lo que da lugar a la redistribución del Hg en los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos. Como el Hg es estable con un tiempo de residencia relativamente largo (de meses a años), puede ser transportado a largas distancias antes de su deposición en húmedo o en seco [6].

El mercurio es liberado al medio ambiente de forma natural por erupciones volcánicas y la quema de biomasa. Una mayor liberación antropogénica de

mercurio en el medio ambiente se produce, por ejemplo, como consecuencia de la combustión de carbón, la producción de metales ferrosos y no ferrosos, la minería y la eliminación de residuos [7,8].

La contaminación por mercurio se observa incluso en lugares muy alejados de la actividad industrial, por ejemplo, en el Tíbet [9, 10] y en el Ártico [11]. Estas observaciones se usan generalmente para inferir el transporte a largas distancias [12]. Otras observaciones, sin embargo, sugieren la posibilidad de una fuente troposférica de mercurio, aún no reconocida. Por ejemplo, basándose en las mediciones de tres sitios en Nevada (EE.UU.), Weiss-Penzias et al., deduce la existencia de una fuente troposférica libre, de mercurio gaseoso reactivo el mercurio gaseoso reactivo [13].

El mercurio gaseoso radiactivo (RGM) no se desplaza directamente de Asia a América del Norte en la troposfera inferior, pero se piensa que contribuye a una gran masa de mezcla de contaminantes ambientales concomitantes del mercurio [14].

Como consecuencia de los serios riesgos neurológicos planteados por el mercurio ambiental, en particular para las mujeres embarazadas y los fetos, las regulaciones de emisión de mercurio se han endurecido mucho. Pero, inexplicablemente, en vez de disminuir la contaminación por mercurio, se ha observado un aumento en la lluvia, principalmente en la parte occidental y central de los Estados Unidos [15]. El propósito de este breve documento es sugerir una fuente antropogénica de mercurio a gran altitud, hasta ahora no reconocida, a saber, la manipulación del clima y del tiempo, mediante la dispersión contaminante de cenizas volantes de carbón en la troposfera.

Existe documentación que indica [16-18], en palabras de las Fuerzas Aéreas de U.S. en el documento "Poseyendo el clima para 2015", que los militares de los Estados Unidos, junto con militares de otras naciones, usan aviones para dispersar partículas en la región atmosférica donde se forman las nubes [19]. Millones de personas han presenciado las fumigaciones aéreas de partículas [20], que se están llevando a cabo pero se les ha hecho creer engañosamente que esas estelas que se producen en el cielo como consecuencia de ello, son vapor de agua o estelas de condensación de los aviones [21, 22], a pesar de que tanto el comportamiento físico observado como las consecuencias para la salud pública son radicalmente diferentes [23]] como se ilustra en algunos ejemplos de la imagen. Figura 1.

Las estelas de partículas dispersadas por aviones suelen formar una neblina blanca en el cielo. La Figura 2 es una secuencia temporizada de fotografías que muestran la evolución de esa dispersión desde el emplazamiento inicial en el aire para convertirse en una neblina blanca en el cielo. La imagen de "t = 0 min." fue tomada en San Diego, California (EE.UU.) a las 14:50 PDT el 13 de julio de 2017 y muestra una estela; 13 minutos más tarde se suma otra.

Parece que la material dispersada cae hacia abajo al mezclarse con el aire y se dispersa. Las imágenes han sido tomadas utilizando la misma magnificación. Este comportamiento no es el característico de las estelas de condensación formadas por los cristales de hielo del agua presente los gases de combustión de los aviones.

En la última década, el número y la frecuencia de estelas de partículas dispersadas han aumentado notablemente, hasta convertirse en un fenómeno casi cotidiano y global [24]. Estas partículas de contaminación dispersadas en la atmósfera reflejan algo de luz solar de nuevo al espacio, pero también absorben energía y la calientan. Además bloquean la eficiente transferencia de la radiación terrestre al espacio, impidiendo también la coalescencia de las gotitas de humedad en la atmósfera y en consecuencia la lluvia [25]. No obstante, las nubes sobrecargadas de humedad terminan descargando el agua de forma torrencial, causando tormentas e inundaciones.



Fig. 1. Estas fotografías de geoingeniería troposférica con partículas muestran la fumigación y subsecuente dispersión para formar un tipo de nube artificial antes de expandirse más para formar una neblina blanca en el cielo. Foto superior: Sacramento (USA) cortesía de Deborah Whitman; foto central: San Diego (USA), cortesía de Syd Stevens; foto inferior izquierda: Chula Vista (USA), foto inferior derecha, Cabo San Lucas (Mexico) cortesía de Ricardo Beas



Fig. 2. Dispersión en el aire de dos estelas de partículas de geoingeniería en el tiempo de referencia $t = 0$ y en $t = 13$ en la atmósfera de San Diego, California (EE.UU.). Las estelas parecen caer hacia abajo y extenderse. Eventualmente, forman una bruma blanca en el cielo. Este comportamiento no es el de las estelas de condensación que resultan de los cristales de hielo del agua presente en los gases de combustión de los aviones. Fotografías de uno de los autores (JMH).

La dispersión aérea de partículas ha pasado de ser una operación militar en sus inicios a convertirse en una operación encubierta global, de intenciones no especificadas. Existe un esfuerzo concertado para engañar al público en cuanto a la evidencia de la composición de las partículas y los riesgos concomitantes para la salud pública [26]. Y sorprendentemente las evidencias forenses publicadas en la literatura científica, son consistentes con las cenizas volantes de carbón tóxicas, como el principal componente [23, 24 ,27,28].

Las cenizas volantes de carbón se forman en los vapores calientes de combustión de las calderas de las centrales térmicas de carbón, y si no son capturadas por los precipitadores electrostáticos y almacenadas, como lo exigen las normativas occidentales, saldrán despedidas por las chimeneas de las centrales térmicas. Las cenizas volantes de carbón constituyen uno de los mayores flujos de residuos industriales. La producción mundial anual en 2013 se estimó en 6×10^{11} kg [29]. Por lo tanto, este residuo está disponible a bajo costo y en gran cantidad en todo el mundo. Además, las cenizas volantes de carbón requieren poco procesamiento adicional para su uso como aerosol en actividades de manipulación del clima, visto que sus partículas oscilan de $0,01 - 50 \mu\text{m}$ de diámetro. Las cenizas volantes de carbón tienen la propiedad adicional de ser lixiviables por la humedad atmosférica [30]. Los elementos iónicos extraídos hacen que la humedad atmosférica sea más electro-conductiva, lo que beneficia la aplicación de radiaciones electromagnéticas para manipular la formación de nubes con fines de control del clima o del tiempo.

La comparación de los elementos disueltos en el agua de lluvia con los elementos correspondientes

extraídos en el agua, en investigaciones de laboratorio, proporciona una línea de evidencia de que las cenizas volantes de carbón se utilizan como el aerosol primario dispersado en la atmósfera [23,24,27,28].

Las cenizas volantes de carbón constituyen el principal depósito de elementos pesados tóxicos presentes en el carbón. Estos incluyen, pero no se limitan, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, plomo, talio y los radionucleidos uranio, torio y sus productos derivados [30,31]. El mercurio también está presente en las cenizas volantes de carbón en cantidades variables, dependiendo de la composición del carbón y de la dinámica de combustión. La Tabla 1 presenta algunos análisis de cenizas volantes de carbón de la literatura científica. Estos ilustran que el mercurio es un contaminante grave de las cenizas volantes de carbón.

Las centrales térmicas de carbón suelen considerarse la fuente principal de contaminación antropogénica de mercurio en el mundo en desarrollo (especialmente en Asia) [7]. No dudamos que esa sea una fuente seria de contaminación ambiental de mercurio, pero sugerimos aquí otra posibilidad, a saber, la contaminación por mercurio a través de cenizas volátiles de carbón en aerosol dispersadas deliberadamente en el aire, a altitudes donde vuelan los aviones a reacción y donde se forman las nubes.

2. MATERIALES Y METODOS

Se recogieron muestras de agua de lluvia de de nieve, de acuerdo con el protocolo, (Tabla 2)

Table 1. Examples of the range and average values of mercury analyzed in coal fly ash samples. (ns means not specified)

Mercury range (µg/g)	Number of samples	Mercury average (µg/g)	Reference
0.461 – 0.736	4	0.610	[32]
0.009 – 0.933	24	0.355	[33]
0.30 – 1.11	7	0.62	[34]
0.02 – 2	ns	ns	[35]
0.34–0.85	2	0.60	[36]

Table 2. Sample descriptions. All measurements by ICP-MS

Sample Description	Sample Date (s)	Sample Mass	Location
Rainwater	Feb. 23 2015	~0.5 kg	San Diego California (USA)
Rainwater	May 15 2015	~0.5 kg	San Diego California (USA)
Rainwater	Dec. 28 2015	~0.5 kg	San Diego California (USA)
Rainwater	Feb. 18 2017	~0.5 kg	San Diego California (USA)
Rainwater	Aug.16 2015	~0.8 kg	La Coruña Spain
Rainwater	July 2 2017	~0.8 kg	Key West Florida (USA)
Snow melt	Jan. 25 2017	~0.5 kg	South Strafford Vermont (USA)
Snow melt	Mar. 2 2017	~0.5 kg	South Strafford Vermont (USA)
Evaporated snow solids	Dec. 14 2016	~0.5 g	Laona Wisconsin (USA)
Evaporated snow solids	Apr.22017	~0.5g	LaonaWisconsin(USA)

Se recogieron muestras de agua de lluvia y nieve (Tabla 2) de acuerdo con el protocolo [25] en envases revestidos con bolsas nuevas de plástico de polietileno / polipropileno. Se dejaron evaporar hasta la sequedad dos muestras de nieve de 8 kg de Laona, Wisconsin (EE.UU.) antes de enviarlas a un laboratorio comercial certificado para realizar una espectrometría de masas de plasma inducido (ICP-MS). Se enviaron muestras de nieve derretida de South Strafford, Vermont (USA) y muestras de agua de lluvia de San Diego, California (EE.UU.), Key West, Florida (USA) y La Coruña (España) en 250 mL a laboratorios comerciales certificados para ICP - MS de medición según el protocolo de filtración de los laboratorios necesarios para retener partículas > 0,45 µm., de conformidad con el Protocolo de la Agencia de Protección Medioambiental de Estados Unidos.

3. RESULTADOS Y DEBATE

Desde al menos el año 2002, muchas personas preocupadas por la situación, realizaron análisis de aguas pluviales posteriores a las fumigaciones aéreas. Normalmente, solo solicitaron análisis de aluminio, a veces bario, y rara vez se solicitó estroncio. Las cenizas volantes de carbón no son un producto natural formado en equilibrio, sino más bien una recopilación de condensados de vapor que resultan de la combustión anhídrida del carbón en los hornos industriales. Estudios realizados muestran que las cenizas volantes de carbón expuestas al agua conducen a una extracción acuosa de porciones de prácticamente todos los elementos

presentes [30, 37]. La comparación de los análisis de agua de lluvia post-fumigación con el análisis del lixiviado de las pruebas de lixiviación de agua de las cenizas volantes de carbón, aporta evidencias de que las partículas dispersadas en la atmósfera por medios aéreos son cenizas volantes de carbón.

La Figura 3 muestra los análisis realizados de agua de lluvia post-fumigación y de nieve, expresados como ratios relativos al bario. Los ratios son útiles en este caso para obviar los efectos de cantidades de dilución diferentes. La Tabla 3 presenta los datos como µg / L e identifica los datos previamente publicados que se muestran para su comparación.

Los autores han presentado evidencia de que las nevadas post-fumigación pueden recoger partículas de aerosol dispersadas de una manera similar a la técnica físico-química llamada co-precipitación [23]. La Figura 4 presenta los datos analíticos de residuos sólidos de nieve post-fumigación evaporados, expresados en ratios. Estos ratios se comparan con el valor promedio de cinco muestras analizadas de fibras encontradas bajo la nieve fundida (Figura 5) que aparentemente captó partículas aéreas. La Tabla 4 presenta los datos como µg / g e identifica los datos previamente publicados que se muestran para su comparación.

Los datos arriba amplían el muestreo geográfico y avalan datos anteriores que señalan que la principal sustancia utilizada para fines de manipulación del clima es cenizas volantes de carbón.

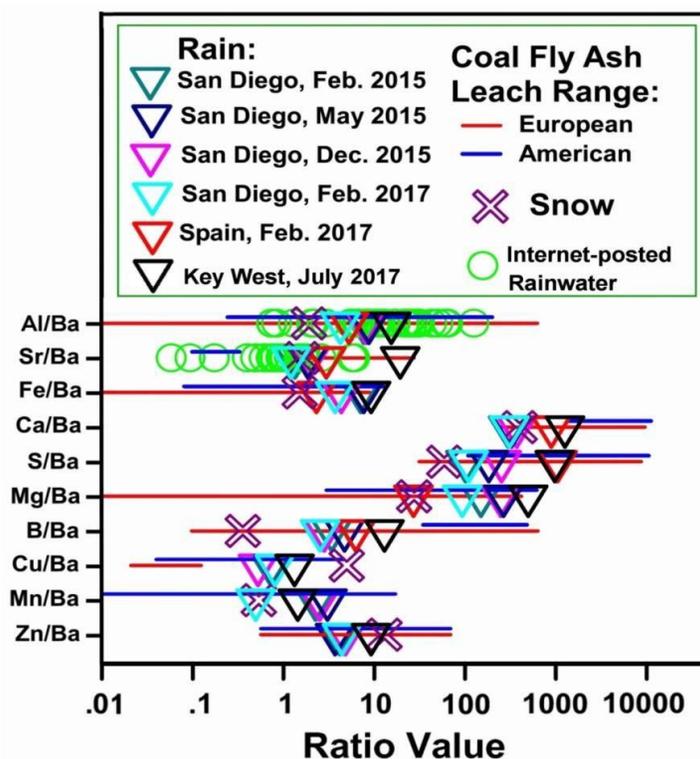


Fig. 3. Ratios de elementos determinados en la nieve y el agua de lluvia tras actividades de geingeniería. Las X magenta son datos de la nieve de Vermont recogidos por Tim Matson; la nieve recogida por Ian Baldwin no se ilustra debido a la excesiva dilución. Los datos de lluvia publicados en internet aluden a varias investigaciones [24]. Las líneas rojas y las líneas azules, respectivamente, son rangos de experimentos de lixiviados de cenizas volantes europeas [30] y americanas [37] CFA.

Tabla 3. Datos analíticos de ICP-MS para las muestras de nieve y agua de lluvia identificadas por fecha e iniciales de la persona que las recogió (Tabla 3). Los datos de febrero de 2015 han sido publicados, en parte, anteriormente [24].

	Lluvia Febrero. 2015	Lluvia Mayo 2015	Lluvia Diciembr 2015	Lluvia Febrero 2017	Lluvia Agos. 2016	Lluvia Julio 2017	Nieve Marzo 2017	Nieve Enero 2017
	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L	µg/L
Al	41	26.3	88.9	13.7	16	68.5	13.9	
Ba	5.3	3.2	10.1	3.2	3	4.4	7.2	0.8
B	18.2	9.1	48.2	8.2	19	57.6	2.6	
Ca	1600	1200	3300	1000	2701	5600	2900	200
Cu	3.9	1.7	8	2.6		5.9	36.3	0.6
Fe	38	14	78	12	7	41	11	
Mg	800	800	2700	300	82	2200	200	
Mn	12.1	8.1	31.2	1.6		6.4	3.9	1.5
Sr	7.2	6.3	19	3.9	9	85.8	11.6	0.6
S	540	815	1860	355	3160	4330	430	90
Zn	22.4	15.6	37.8	14.3		41	94.3	9.0

Las cenizas volantes de carbón contienen partículas ultrafinas y nanopartículas en mayor proporción que otros materiales derivados de la combustión [38]. Las partículas submicrónicas de las cenizas volantes de carbón se ven enriquecidas con elementos volátiles, como el mercurio, en comparación con partículas más grandes. Además, las superficies de las partículas más grandes, en relación con sus núcleos, se enriquecen con elementos volátiles [39]. Esto hace que el mercurio esté más fácilmente disponible para su reacción con sustancias a las que está expuesto.

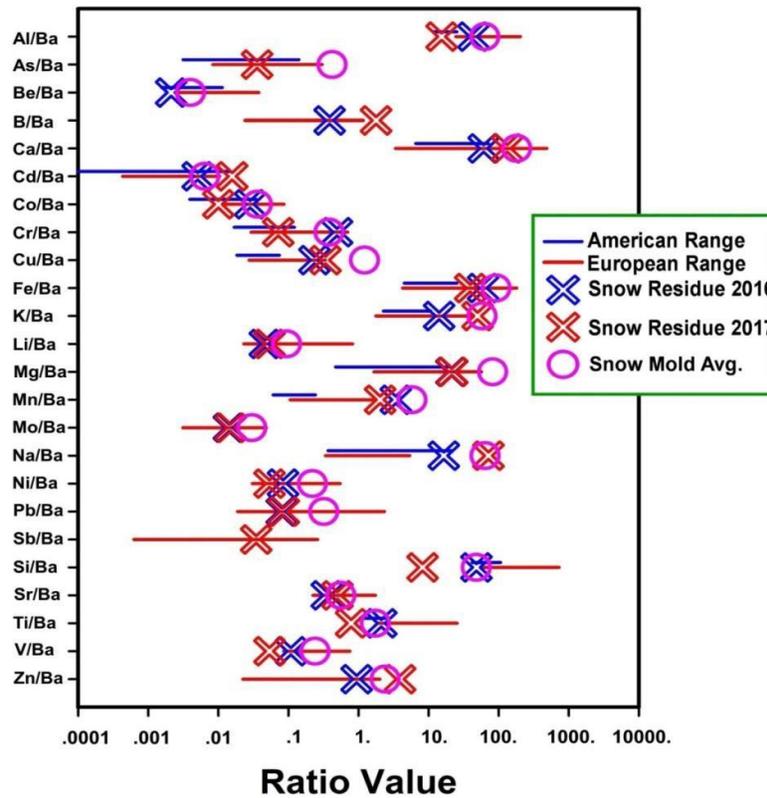


Figura 4. Datos analíticos para residuos de nieve post-fumigación evaporados, expresados como ratios, ilustrados con X. Los datos con X azules se publicaron previamente [23] en 2016. Las X rojas corresponden a datos de 2017. Los círculos rosados son promedios de cinco series de análisis de fibras, que se cree que son moho de nieve, encontrados bajo la nieve fundida. Las líneas rojas y azules son, respectivamente, la gama de ratios de los elementos medidos de 23 muestras de cenizas volantes de carbón europeas, recogidas en Italia, Grecia, Italia, España y Países Bajos [30], y 12 muestras de cenizas volantes de carbón americanas, recogidas en Colorado Cuenca de Illinois y Dakota del Norte [37].



Figura 5. Fibras observadas en la hierba el 19 de marzo de 2015 tras la fusión de la nieve, utilizadas en esta investigación (Foto y muestra cortesía de colección de Robert West).

Tabla 4. Datos analíticos de la ICP-MS para los residuos de nieve post-fumigación evaporados y valores medios determinados de las fibras observadas bajo nieve fundida, que se cree son moho de nieve. Los datos de residuos de nieve para 2016 han sido publicados previamente [23].

Element		Snow residue	Snow residue	Snow mold
		2016 µg/g	2017 µg/g	Avg. µg/g
Aluminio	Al	3700	4300	3170
Arsénico	As		10	21
Bario	Ba	85	280	50
Berilio	Be	0.18		0.2
Boro	B	33	500	
Cadmio	Cd	0.43	4.4	0.32
Calcio	Ca	5200	37000	9040
Cromo	Cr	42	20	19
Cobalto	Co	2.4	2.8	1.8
Cobre	Cu	20	95	61
Hierro	Fe	5100	11000	4600
Plomo	Pb	6.8	24	16
Litio	Li	3.9	15	4.7
Magnesio	Mg	1800	6100	4100
Manganeso	Mn	290	570	290
Molibdeno	Mo	1.2	4.2	1.5
Níquel	Ni	7.1	15	11
Potasio	K	1200	14000	2900
Sílice	Si	4100	2300	2400
Sodio	Na	1400	20000	3200
Estroncio	Sr	30	140	28
Estaño	Sn			43
Titanio	Ti	180	220	87
Vanadio	V	9.2	15	12
Zinc	Zn	80	1100	120

Se han realizado esfuerzos considerables para tratar de comprender la naturaleza compleja y la gama de reacciones químicas que implican el mercurio atmosférico [4, 5, 7]. No obstante, esa complejidad se ve muy reducida si consideramos la propuesta hecha aquí, que una fuente significativa de contaminación ambiental de mercurio se deriva de las cenizas de carbón deliberadamente dispersadas en la atmósfera donde vuelan los aviones de reacción y se forman las nubes. No es nuestra intención proponer reacciones químicas adicionales, sino más bien hacer algunas generalizaciones sobre el tema.

- El contenido de mercurio de las cenizas volantes dispersadas por los aviones contaminará el medio ambiente: una porción puede ser liberada a la atmósfera donde podría permanecer suspendidas durante algún tiempo, mientras que en su conjunto, las partículas de enlace del mercurio se depositarán en la tierra más rápidamente.
- Algunas de esas cenizas pueden quedar expuestas al entorno de combustión de los aviones que volverían a vaporizar el mercurio y a exponerlo potencialmente a la posibilidad de

reacciones con componentes de esos gases de combustión

- Los componentes de la cenizas volantes de carbón aerosolizadas, por ejemplo la magnetita, podrían servir para catalizar reacciones en la interfaz sólido-húmeda.
- Las reacciones con ozono y la luz ultravioleta pueden ser especialmente importantes.

En los Estados Unidos, la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) [40], clasifica el mercurio (Hg) como el tercer elemento más tóxico de la tierra después del arsénico y del plomo. El mercurio continúa siendo dispersado en la atmósfera, liberado en nuestras aguas y en la tierra, siendo consecuentemente consumido en nuestros alimentos y agua [41]. El mercurio ambiental se puede encontrar en su forma elemental, como mercurio inorgánico, o como mercurio orgánico. La forma más común de mercurio orgánico es metilmercurio (CH₃Hg), la fuente primaria de mercurio orgánico en los ecosistemas. El CH₃Hg se acumula en la cadena alimentaria y se bio-acumula especialmente en los peces, constituyendo la principal fuente de envenenamiento por mercurio en los seres humanos [2].

Todos los seres humanos están expuestos a algún nivel de mercurio. Los factores que determinan los efectos del mercurio en la salud incluyen la dosis y el tipo de mercurio, la vía de exposición (inhalación, ingestión o contacto con la piel) y la edad y etapa de desarrollo del huésped, siendo el feto y los bebés los grupos de mayor riesgo [42]. El Hg elemental y el CH₃Hg son tóxicos para el sistema nervioso central (SNC) y los sistemas nerviosos periféricos, causando temblores, efectos cognitivos, neuropatías y problemas neuromusculares. La inhalación de vapor de mercurio puede producir efectos nocivos para el sistema nervioso, los pulmones, el sistema inmunológico y los riñones, y puede resultar fatal. Las sales inorgánicas de mercurio son corrosivas para la piel, los ojos y el tracto gastrointestinal y pueden provocar insuficiencia renal si se ingieren [43].

A nivel celular, el mercurio se asocia con cambios en la permeabilidad de la membrana, cambios en la estructura molecular debido a su afinidad por los grupos sulfhidrilo y tiol, y daño al ADN. El mercurio induce estrés oxidativo (especialmente en el SNC), disfunción mitocondrial, alteraciones en la homeostasis del calcio y aumento de la peroxidación lipídica [44]. El mercurio tiene efectos adversos sobre nuestros glóbulos blancos protectores. En el SNC, el mercurio daña la barrera hematoencefálica y facilita la entrada en el cerebro de otros metales tóxicos. Mercurio se concentra en las glándulas pituitaria y tiroideas, interrumpiendo su función [2]. Se sabe que el mercurio atraviesa la placenta, inhibiendo así el desarrollo del cerebro fetal y produciendo una amplia variedad de defectos de nacimiento [45].

La inhalación es la vía principal de exposición al mercurio elemental, el 80% de este vapor de mercurio es absorbido por el pulmón, difundido en la sangre y distribuido por todo el cuerpo [43]. El mercurio elemental atraviesa fácilmente la barrera hematoencefálica, la barrera sanguínea-placenta e incluso las bicapas lipídicas de las membranas celulares e intracelulares organelas [43].

El Hg elemental se oxida en los tejidos corporales y se acumula en su forma divalente inorgánica. Los órganos primarios de deposición del mercurio, tras su inhalación, son el cerebro y el riñón; con la exposición crónica, la mayor carga de Hg se sitúa en el riñón [43]. El mercurio elemental se une fuertemente al selenio después de la oxidación, lo que conlleva a su deposición en el cerebro a largo plazo [46].

4. CONCLUSIONES

No hay beneficio fisiológico del Hg, y no existe un nivel seguro de exposición a este elemento. El

mercurio es un elemento persistente, bioacumulativo y globalmente ciclable, que afecta gravemente al medio ambiente y a la salud humana. Aunque la atmósfera es la principal vía de transporte de mercurio, el Hg es distinto de otros contaminantes del aire porque sus efectos en la salud sólo están parcialmente relacionados con las concentraciones atmosféricas de Hg (0) y Hg (II). Los efectos y la toxicidad del Hg derivan frecuentemente de la conversión neta de Hg (II) a CH₃Hg, un proceso que ocurre cuando la lluvia trae Hg a los suelos y aguas de la superficie de la tierra. Considerando que la troposfera superior se enriquece partículas oxidadas que reaccionan con el mercurio [47], es probable que las cenizas volantes de carbón dispersadas en la atmósfera, sean una fuente importante de esta contaminación por mercurio. Esta fuente encubierta, no divulgada y casi global de Hg atmosférico, probablemente sustituya los efectos de cualquier reducción de las emisiones o las medidas de control de la contaminación actualmente promulgadas por la comunidad de naciones en la Tierra. Una gobernanza mucho más prudente sería dejar de dispersar cenizas volantes de carbón en el aire que respiramos. Nadie tiene derecho, ni siquiera los militares, a envenenar la atmósfera y dañar la salud de los seres humanos y otras criaturas.

RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen a *Environmental Voices* la cobertura de los gastos de laboratorio y de publicación.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

REFERENCIAS

1. Streets DG, Lu Z, Levin L, Ter Schure AF, Sunderland EM. Historical releases of mercury to air, land, and water from coal combustion. *Science of the Total Environment*. 2018;615:131-140.
2. Rice KM, Walker Jr. EM, Wu M, Gillette C, Blough ER. Environmental mercury and its toxic effects. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2014;47:74.
3. Kim KH, Kabir E, Jahan SA. A review on the distribution of hg in the environment and its human health impacts. *Journal of Hazardous Materials*. 2016;306:376-385.
4. Horowitz HM, Jacob DJ, Zhang Y, Dibble TS, Slemr F, Amos HM, Schmidt JA, Corbitt ES, Marais EA, Sunderland EM. A new mechanism for atmospheric mercury

- redox chemistry: Implications for the global mercury budget. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2017;17:6353-6371.
5. Lin CJ, Pehkonen SO. The chemistry of atmospheric mercury: A review. *Atmospheric Environment*. 1999;33:2067-2079.
 6. Pirrone N, Cinnirella S, Feng X, Finkelman R, Friedli H, Leaner J, Mason R, Mukherjee A, Stracher G, Streets D. Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2010;10:5951-5964.
 7. Driscoll CT, Mason RP, Chan HM, Jacob DJ, Pirrone N. Mercury as a global pollutant: Sources, pathways, and effects. *Environmental Science & Technology*. 2013;47:4967-4983.
 8. Maria A, Jose M, Jose S, Juan V, Walter Z. National inventory of mercury release into different environmental sectors estimated by united nations environment programme (Unep) toolkit in Costa Rica. *Open Journal of Air Pollution*. 2017;6:76.
 9. Huang J, Kang S, Wang S, Wang L, Zhang Q, Guo J, Wang K, Zhang G, Tripathee L. Wet deposition of mercury at lhasa, the capital city of tibet. *Science of the Total Environment*. 2013;447:123-132.
 10. Zhang Q, Pan K, Kang S, Zhu A, Wang WX. Mercury in wild fish from high-altitude aquatic ecosystems in the tibetan plateau. *Environmental Science & Technology* 2014;48:5220-5228.
 11. Obrist D, Agnan Y, Jiskra M, Olson CL, Colegrove DP, Hueber J, Moore CW, Sonke JE, Helmig D. Tundra uptake of atmospheric elemental mercury drives arctic mercury pollution. *Nature*. 2017;547: 201-204.
 12. Durnford D, Dastoor A, Figueras-Nieto D, Ryjkov A. Long range transport of mercury to the arctic and across canada. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2010; 10:6063-6086.
 13. Weiss-Penzias P, Gustin MS, Lyman SN. Observations of speciated atmospheric mercury at three sites in nevada: Evidence for a free tropospheric source of reactive gaseous mercury. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2009;114.
 14. Strode SA, Jaeglé L, Jaffe DA, Swartzendruber PC, Selin NE, Holmes C, Yantosca RM. Trans-pacific transport of mercury. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2008;113.
 15. Weiss-Penzias PS, Gay DA, Brigham ME, Parsons MT, Gustin MS, Ter Schure A. Trends in mercury wet deposition and mercury air concentrations across the us and Canada. *Science of the Total Environment*. 2016;568:546-556.
 16. House TJ, Near JB, Shields WB, Celentano RJ, Husband DM, Mercer AE, Pugh JE. Weather as a force multiplier: Owning the weather in 2025. US Air Force; 1996.
 17. Newell HE. A recommended national program in weather modification – a report to the interdepartmental committee for atmospheric sciences (Icas) no. 10a; Washington, DC; 1996.
 18. Senate US. Weather modification: Programs, problems, policy, and potential; Washington, DC; 1978.
 19. Thomas W. Chemtrails confirmed. Bridger House Publishers: Carson City, Nevada (USA); 2004.
 20. Available:<http://www.nuclearplanet.com/websites.pdf> (Accessed October 9, 2017)
 21. 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;11:084011.
 22. Available:<http://www.nuclearplanet.com/USAF.pdf> (Accessed October 9, 2017)
 23. 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. Intl*. 2017;9:1-8.
 24. Herndon JM. Aluminum poisoning of humanity and earth's biota by clandestine geoengineering activity: Implications for india. *Curr. Sci*. 2015;108:2173-2177.
 25. Herndon JM. Evidence of variable earth-heat production, global non-anthropogenic climate change, and geoengineered global warming and polar melting. *J. Geog. Environ. Earth Sci. Intl*. 2017;10:16.
 26. Available:<http://www.nuclearplanet.com/explainretractions.pdf> (Accessed October 9, 2017)
 27. 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;4:30-36.

28. Herndon JM. Adverse agricultural consequences of weather modification. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science*. 2016;38:213-221.
29. Montes-Hernandez G, Perez-Lopez R, Renard F, Nieto J, Charlet L. Mineral sequestration of CO₂ by aqueous carbonation of coal combustion fly-ash. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161: 1347-1354.
30. Moreno N, Querol X, Andrés JM, Stanton K, Towler M, Nugteren H, Janssen-Jurkovicová M, Jones R. Physico-chemical characteristics of European pulverized coal combustion fly ashes. *Fuel*. 2005;84:1351-1363.
31. Fisher GL. Biomedically relevant chemical and physical properties of coal combustion products. *Environ. Health Persp.* 1983;47: 189-199.
32. Hassett DJ, Pflughoeft-Hassett DF, Laudal DL, Pavlish JH. In Mercury release from coal combustion by-products to the environment, Mercury in the Environment Specialty Conference, Minneapolis, MN; 1999.
33. Sakulpitakphon T, Hower JC, Trimble AS, Schram WH, Thomas GA. Mercury capture by fly ash: Study of the combustion of a high-mercury coal at a utility boiler. *Energy & Fuels*. 2000;14:727-733.
34. Li S, Cheng CM, Chen B, Cao Y, Vervynck J, Adebambo A, Pan WP. Investigation of the relationship between particulate-bound mercury and properties of fly ash in a full-scale 100 mwe pulverized coal combustion boiler. *Energy & Fuels*. 2007;21:3292-3299.
35. López-Antón MA, Díaz-Somoano M, Ochoa-González R, Martínez-Tarazona MR. Analytical methods for mercury analysis in coal and coal combustion by-products. *International Journal of Coal Geology*. 2012;94:44-53.
36. Lopez-Anton MA, Yuan Y, Perry R, Maroto-Valer MM. Analysis of mercury species present during coal combustion by thermal desorption. *Fuel*. 2010;89:629-634.
37. Suloway JJ, Roy WR, Skelly TR, Dickerson DR, Schuller RM, Griffin RA. Chemical and toxicological properties of coal fly ash; Illinois Department of Energy and Natural Resources: Illinois; 1983.
38. Sambandam B, Palanisami E, Abbugounder R, Prakhya B, Thiagarajan D. Characterizations of coal fly ash nanoparticles and induced in vitro toxicity in cell lines. *Journal of Nanoparticle Research*. 2014;16:2217.
39. Lee CM, Davis KA, Heap MP, Eddings E, Sarofim A. Modeling the vaporization of ash constituents in a coal-fired boiler. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2000;28:2375-2382.
40. U.S. Government agency for toxic substances and disease registry; 2017.
41. Weiss-Penzias PS, Gay DA, Brigham ME, Parsons MT, Gustin MS, Ter Schure A. Trends in mercury wet deposition and mercury air concentrations across the U.S. and Canada. *Science of the Total Environment*; 2016. In press.
42. World Health Organization. Mercury and health. Fact Sheet Updated; March 2017.
43. Park JD, Zheng W. Human exposure and health effects of inorganic and elemental mercury. *Journal of Preventive Medicine and Public Health*. 2012;45:344.
44. Peraza MA, Ayala-Fierro F, Barber DS, Casarez E, Rael LT. Effects of micronutrients on metal toxicity. *Environmental Health Perspectives*. 1998; 106:203.
45. Yoshida M. Placental to fetal transfer of mercury and fetotoxicity. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*. 2002; 196:79-88.
46. Friberg L, Mottet NK. Accumulation of methylmercury and inorganic mercury in the brain. *Biological Trace Element Research*. 1989;21:201-206.
47. Lyman SN, Jaffe DA. Formation and fate of oxidized mercury in the upper troposphere and lower stratosphere. *Nature Geoscience*. 2012;5:114.

© 2017 Herndon and Whiteside; Este es un artículo Open Access, distribuido según los términos de Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), que permite su uso, distribución y reproducción no restringida, en cualquier medio, siempre que se cite debidamente.

Historial de la Revisión por pares:
<http://sciencedomain.org/review-history/22144>