

# Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados

*Wild birds as bioindicators of environmental pollution and heavy metals*

*| Impacto da lei de carvão na saúde de mineração americana |*

Estefanía Parra Ochoa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Joven Investigadora Colciencias-CES, Grupo INCA-CES, Línea de investigación de Contaminación Ambiental Asociado a Enfermedades Cerebro-Vasculares en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad CES.  
E-mail: eparra@ces.edu.co

Recibido: Marzo 11 de 2014 Revisado: Marzo 28 de 2014 Aceptado: Mayo 06 de 2014

## **Resumen**

La contaminación ambiental se considera una problemática de salud pública creciente e importante, debido a sus efectos nocivos para los ecosistemas y los organismos que los habitan, tanto humanos, como animales y plantas (1,2,3,4,5,6). La exposición crónica a los componentes de la contaminación atmosférica, entre los que se encuentran los metales pesados, ha sido relacionada con problemas de salud en humanos; entre los que se reportan enfermedades cardíacas, respiratorias, neurológicas, predisposición al cáncer, problemas en el desarrollo embrionario y muerte (7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18). Los metales pesados como el Plomo, Cadmio y Arsénico son tóxicos y no biodegradables (19,20,21), por lo que persisten, se biomagnifican y acumulan en el medio ambiente y los organismos, traspasando los distintos niveles tróficos que componen un ecosistema a través de la cadena alimenticia (1,3,4,15,22,23,24,25,26,27). Los animales silvestres pueden ser de utilidad como bioindicadores de los riesgos ambientales presentes en el ecosistema que comparten con seres humanos (28). La utilidad de estudiar a las aves como bioindicadores de contaminación ambiental ha sido reconocida en múltiples trabajos (1,4,5,6,27,29) de investigación debido a que estos animales ocupan distintos niveles tróficos en los ecosistemas, están ampliamente distribuidos y son sensibles a cambios atmosféricos del ambiente, permitiendo así monitorear la salud ambiental del ecosistema en el que habitan (4,27,29,30,31). Esta problemática reitera la importancia de realizar trabajos de investigación encaminados a cuantificar, mediante indicadores biológicos como las aves, el estado de salud ambiental de los ecosistemas, la presencia de metales pesados y su relación con enfermedad en humanos, para así establecer planes de control y prevención en salud pública.

**Palabras clave:** Aves, contaminación del aire, indicadores de contaminación, indicadores ambientales, metales pesados.

## **Abstract**

Air pollution is considered as an important growing public health issue, due to its harmful effects on ecosystems and its inhabiting organisms, like humans, animals and plants (1,2,3,4,5,6). Chronic exposure to components of air pollution, including heavy metals, has been linked to health problems in humans; reports include heart, respiratory and neurological diseases, cancer predisposition, problems on embryonic development and death (7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18). Heavy metals like lead, cadmium and arsenic are toxic and not biodegradable (19,20,21), therefore they persist, biomagnify and accumulate in the environment and organisms, crossing the different trophic levels that constitute an ecosystem through the food chain (1,3,4,15,22,23,24,25,26,27). Wild animals could be useful as environmental biomarkers of environmental hazards present in the ecosystem shared with humans (28). The usefulness of studying birds as biomarkers of environmental pollution has been recognized in multiple research studies (1,4,5,6,27,29), because these animals occupy different trophic levels in the ecosystems, are widely distributed and are highly sensitive to atmospheric changes in the environment, allowing in this way, to monitor the environmental health of the ecosystem they inhabit (4,27,29,30,31). This issue reaffirms the importance of using biological indicators like birds, in research studies intended to quantify the state of the environmental health of ecosystems, the presence of heavy metals and its relationships to human diseases, in order to establish plans for prevention and control regarding public health.

**Key words:** Birds, air pollution, Pollution Indicators, environmental indicators, metals heavy.

## Resumo

A poluição ambiental é considerada um problema cada vez mais importante de saúde pública, devido aos seus efeitos adversos sobre os ecossistemas e os organismos que os habitam, tanto animais e plantas (1,2,3,4,5,6) e humanos. Componentes crônicos de poluição do ar, incluindo metais pesados são a exposição tem sido associada a problemas de saúde nos seres humanos; incluindo coração, respiratório, doenças neurológicas, a predisposição ao câncer, o desenvolvimento embrionário prejudicada e morte (7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18) são relatados. Os metais pesados, como chumbo, cádmio e arsênio são tóxicos e não-biodegradáveis (19,20,21), para que persistem, acumular e biomagnificarem no meio ambiente e organismos, transferindo os diferentes níveis tróficos que compõem um ecossistema através da cadeia alimentar (1,3,4,15,22,23,24,25,26,27). Os animais selvagens podem ser úteis como biomarcadores de riscos ambientais no ecossistema compartilhado com os seres humanos (28). O utilitário de estudar as aves como bioindicadores de poluição ambiental tem sido reconhecida em muitos estudos (1,4,5,6,27,29) de pesquisa, porque estes animais ocupam diferentes níveis tróficos nos ecossistemas, são amplamente distribuídas e são sensíveis às mudanças atmosféricas no ambiente, permitindo assim monitorar a saúde ambiental do ecossistema em que vivem (4,27,29,30,31). Esta edição reafirma a importância da pesquisa como objetivo quantificar, por meio de indicadores biológicos, tais como pássaros, estado de saúde ambiental dos ecossistemas, a presença de metais pesados e sua relação com doenças humanas, a fim de estabelecer planos de controle e prevenção da saúde pública.

**Palavras chave:** Aves, poluição do ar, indicadores de contaminação, indicadores ambientais, metais pesados.

## Introducción

La contaminación ambiental es una compleja mezcla de gases, material particulado y componentes orgánicos, presente en el aire exterior e interior (8). Los tóxicos ambientales presentes en la contaminación están asociados a enfermedades respiratorias, circulatorias y del sistema nervioso central en humanos (8,10,19,32,33). Entre los componentes de la contaminación ambiental se encuentran los metales pesados; elementos que están presentes en el ambiente a través del ciclo geológico y por varias actividades antropogénicas, como la industrialización, la combustión, procesos de fundición, tráfico vehicular, minería, escurrimientos agrícolas, actividad petrolera, entre otros (2,4,20,23,30,34,35,36).

Como resultado del aumento de la urbanización y de la industrialización, grandes cantidades de metales pesados están siendo continuamente introducidos a los ecosistemas, afectando negativamente su estabilidad y causando un impacto a nivel ecológico (1-6,35,37,38). Los iones de metales pesados son altamente estables, por lo que bajas concentraciones pueden biomagnificarse en la red trófica a través de la cadena alimentaria, convirtiéndose en un peligro creciente para el ser humano y la vida silvestre (1,3,4,22,24,27). Los metales pesados pueden persistir en el cuerpo del ser humano por décadas, y su toxicidad puede ocasionar problemas carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos (9,13,15,19).

Esta problemática ha creado la necesidad de desarrollar esquemas de monitoreo dirigidos a medir los niveles de contaminación por metales pesados en diferentes organismos, tanto vegetales como animales, teniendo en cuenta que valorar contaminantes en organismos vivos provee una información precisa

sobre la biodisponibilidad de los contaminantes, su magnificación y bio-transferencia (27).

Al igual que otros organismos, las aves se ven afectadas por los efectos de los metales pesados, ya que éstos pueden suprimir su sistema inmune, incrementar el comportamiento agresivo en paseriformes territoriales, afectar negativamente el sistema endocrino y causar disfunciones reproductivas como, por ejemplo, una menor tasa de crecimiento en polluelos (21,27,39).

Se reportan varios estudios con diferentes especies de aves como indicadores de contaminación ambiental, incluyendo aves rapaces (órdenes Accipitriforme y Falconiforme), aves del género Passer o especies pertenecientes al orden Columbiforme (1,4,5,6,27,29). Algunos de estos estudios reflejan de forma general que el plomo es uno de los metales no esenciales o tóxicos encontrado en mayor concentración en los diferentes tejidos colectados (4,5,27), evidenciando así la importancia de este metal, que hace parte del grupo de metales pesados altamente peligrosos (Pb, Sb, Cd y As) (19), en la contaminación atmosférica y sus alcances de impacto negativo en el ambiente y los organismos.

### **Problemática de la contaminación ambiental**

En la actualidad, la contaminación ambiental del aire, agua y suelo es una preocupación de gran importancia para la salud pública, debido a que millones de personas están siendo expuestas de forma crónica a bajas dosis de químicos nocivos, causales de múltiples riesgos para la salud humana, animal y de los ecosistemas (10,26,40,41,42).

La contaminación del aire es considerada un grave riesgo para la salud humana y ha sido asociada con

genotoxicidad, infecciones respiratorias, enfermedades cardíacas, mayor probabilidad al cáncer de pulmón, retraso en el crecimiento intrauterino y embriotoxicidad (10,14,16,17,33). Se reporta que la contaminación del aire a nivel urbano, generada por vehículos, industrias y producción de energía, ocasiona la muerte de aproximadamente 1.2 millones de personas anualmente (18). Este fenómeno es de suma importancia en los países en desarrollo, ya que están expuestos a altos niveles de contaminación, incluso mayores que en países desarrollados (15,19,43).

La exposición crónica al aire contaminado está asociada con enfermedad cerebrovascular y respiratoria, daño cerebral, neurodegeneración y muerte (7,8). Se considera que la contaminación ambiental es una de las fuentes de mayor prevalencia para la inducción de inflamación y estrés oxidativo, que de forma crónica ocasiona neuroinflamación, especies reactivas de oxígeno y neuropatología que afecta al sistema nervioso central (32). Se reporta que la exposición crónica a la contaminación del aire tiene relación con el desarrollo de neuroinflamación en niños y perros sanos, además de la generación de alteraciones en la estructura del cerebro y retrasos en el desarrollo cognitivo en niños saludables, que no tienen factores de riesgo para desarrollar problemas neurológicos o cognitivos (7,8).

La neuroinflamación es un proceso nocivo que conlleva al daño en la barrera hematoencefálica y altera la homeostasis, siendo un factor clave en la patogénesis de varias enfermedades del sistema nervioso central, incluyendo enfermedades neurodegenerativas como Alzheimer's y Parkinson's (7,32). Se han reportado hallazgos patológicos similares a la enfermedad de Alzheimer en individuos expuestos de forma crónica a ambientes contaminados, como la expresión elevada de Ciclooxygenasa 2 (COX 2) y daño oxidativo del ADN en el sistema nervioso central (8).

La exposición controlada a ozono y material particulado causa daños e inflamación en el tracto respiratorio, así mismo como se incrementan los niveles de mediadores de la inflamación en sangre circulante (8,14). Existen evidencias en ciudad de México, sobre que los niños expuestos a contaminación ambiental presentan inflamación crónica del tracto respiratorio superior e inferior, alteraciones en la circulación de mediadores inflamatorios y daño estructural en la barrera epitelial nasal (7,8).

La contaminación del aire es una mezcla de diferentes compuestos orgánicos e inorgánicos, entre los que se encuentran gases como el Ozono y material particulado (8,10,32,33). El material particulado está

conformado por partículas sólidas suspendidas, que flotan libremente en el aire (19). Los componentes de mayor importancia presentes en el material particulado son lipopolisacáridos bacterianos y los metales pesados (8,32). Los metales pesados se definen como aquellos metales que poseen una gravedad específica mayor a  $5\text{gr/cm}^3$ . Estos metales son contaminantes inorgánicos ubicuos, altamente resistentes y no biodegradables (19,20,21), que una vez liberados al ambiente no se descomponen y por el contrario persisten (35,44). Estos contaminantes son liberados al ambiente por procesos naturales y antropogénicos (4,14,21,25,35,37) y su exposición es altamente reconocida como una amenaza para la salud humana (11,13,20,43,45,46). Los metales pesados han sido relacionados en humanos con problemas de retraso en el desarrollo, cáncer, daño renal, neurotoxicidad y muerte (9,11,12,13,19). Las mayores amenazas para la salud humana por parte de los metales pesados, están asociadas a la exposición a plomo (Pb), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y arsénico (As), siendo el Plomo y el Cadmio los más tóxicos para humanos y animales, los cuales afectan principalmente el sistema nervioso central y los riñones respectivamente (11,20,23,43,45,46,47,48).

#### **Metales pesados y bioindicadores de contaminación**

Los metales pesados se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente, incluyendo el suelo, el agua, en aire y el alimento, a nivel global (15,22,23,25,37,44,40,48). Las vías de entrada de estos compuestos al organismo se presentan a través de la inhalación de polvo, ingestión directa de suelo y agua, contacto dérmico con aguas o suelos contaminados y consumo de vegetales provenientes de campos contaminados (13,15,19,20,22,26,45,46).

Los metales pesados también han sido relacionados con genotoxicidad en humanos, animales y plantas (30,36,44,49,50). Estos compuestos son considerados importantes en el proceso de formación de los radicales libres, los cuales causan estrés oxidativo e inhiben la reparación de los daños al ADN (9,21,44,50). En un estudio se reporta que perros expuestos a la contaminación ambiental de ciudad de México, presentan inflamación crónica del tracto respiratorio, además de indicadores de daño oxidativo en el ADN (7). La toxicidad por metales pesados puede resultar en daño celular, causando muerte por necrosis o apoptosis, caracterizándose por fragmentación del ADN (49).

La contaminación causada por metales pesados es una preocupación en salud pública a nivel global, regional y local que tiene influencia sobre la funcionalidad

y la integridad de la estructura de los ecosistemas (11,15,21,26,37,38). Estos compuestos se depositan en los suelos y son tomados por las plantas por medio de las raíces, siendo así como entran a la cadena alimenticia a través de los organismos herbívoros (15,22,23,25,26,35,46). Una vez en la cadena alimenticia, los metales tienden a bioacumularse y biomagnificarse a medida que pasan por todos los niveles tróficos; por lo que los organismos que ocupan niveles tróficos más altos sufren de concentraciones aumentadas de estos metales y esto se puede manifestar con problemas físicos y neurológicos en los animales (22,25,26,35,37,48).

Los animales, específicamente los animales silvestres, han sido ampliamente usados como monitores y centinelas de peligros ambientales, ya que humanos y animales comparten el ambiente local, el aire, el agua y hacen parte de la cadena alimenticia, además que los procesos moleculares, celulares y bioquímicos que se generan en respuesta a agentes tóxicos son comunes entre la mayoría de especies de vertebrados (28).

La biomonitorización de contaminantes se ha vuelto una tarea cada vez más importante, ya que el contenido de metales pesados en el medio biológico, ya sea de humanos o animales como; orina, sangre, hueso, etc., indica la carga de un organismo como un todo (26,47). El uso de organismos como indicadores de bioacumulación permite evaluar la calidad del ambiente de acuerdo a la exposición de contaminantes en los hábitats de las especies a estudiar, estimando los niveles de contaminantes, su abundancia y biodisponibilidad en distintos niveles tróficos, además de su efecto final en la cadena alimenticia y el ecosistema; información que se considera importante a la hora de prevenir riesgos para la salud pública (1,4, 21,27,38).

Para que un organismo pueda ser utilizado como bioindicador, debe cumplir ciertas características, como (1):

- Debe ser típico del ecosistema estudiado
- Debe ser ubicuo y abundante
- Su tamaño, biotipo y comportamiento debe facilitar el muestreo
- Debe ser capaz de bioconcentrar sustancias exobioticas a un nivel tal que se pueda realizar un análisis directo sin la necesidad de preconcentrar.
- Debe ser capaz de sobrevivir a altas concentraciones de diferentes sustancias toxicas.

### **Aves como bioindicadores de metales pesados**

El estudio de la concentración de metales pesados en aves ha sido una preocupación desde hace varios años, evidenciándose en la realización de estudios principalmente enfocados en aves rapaces y aves marinas (4,6). El interés en usar aves como monitores de contaminación ambiental por metales pesados ha aumentado, debido a que las aves ocupan un amplio rango en los niveles tróficos y en la cadena alimenticia, además que están ampliamente distribuidas, presentan un periodo de vida largo y son sensibles a cambios atmosféricos del ambiente; características que convierte a las aves en indicadores ideales para valorar la salud ambiental, actuando como bioindicadores de exposición temporales y espaciales (4,27,29-31).

Los metales pesados han sido asociados a problemas de salud en aves, como reducción de peso corporal, tasa de crecimiento y éxito reproductivo (21). La exposición crónica a metales pesados puede producir efectos negativos en el comportamiento de las aves, afectar al sistema inmune y otros sistemas fisiológicos como los sistemas endocrino y reproductivo (21,27,39). Además de su toxicidad y bioacumulación, los metales pesados como el Arsénico, Cadmio y Cobre también han sido relacionados con genotoxicidad en aves (30).

Factores como la edad, el tamaño, los hábitos alimenticios y el hábitat pueden afectar la acumulación de metales pesados en las aves. También es importante entender la relación entre la concentración de metales esenciales (Zinc, Cobre) y no esenciales o tóxicos (Arsénico, Plomo, Cadmio) (19) con la edad del animal, de acuerdo a factores como la nutrición y el estrés (4). Los metales esenciales como el Zn y el Cu tienen función fisiológica, ya que son utilizados por el organismo de las aves para procesos como el desarrollo del huevo y la formación de las plumas; mientras que el Pb y el Cd son metales no esenciales, que están completamente ligados a la contaminación (1,27,51).

Los gorriones, aves pertenecientes al género *Passer*, son aves que por tener una distribución global, una naturaleza sedentaria, no migratoria, alta tasa reproductiva y además por su asociación primaria con ambientes urbanos, han sido estudiadas como especie indicativo de contaminación por metales pesados (1,27,31).

En un estudio de bioacumulación de metales pesados realizado en el gorrión común italiano (*Passer domesticus italiae*), en el sur de Italia, se valoraron las concentraciones de metales pesados en hígado y riñón de las aves. Se realizaron dos muestreos, uno de ellos

se realizó en una zona urbana altamente industrializada y el otro muestreo se realizó en una zona rural. La técnica utilizada para analizar las concentraciones de metales pesados fue la polarografía de redisolución anódica y los elementos analizados fueron: Zinc (Zn), Cobre (Cu), Plomo (Pb) y Cadmio (Cd). Los datos fueron recolectados teniendo en cuenta dos grupos de animales, el grupo urbano y el grupo rural. Los resultados en ambos grupos mostraron siempre que las concentraciones de Zinc y Cobre fueron más altas que las de Plomo y Cadmio, evidenciándose entonces el aspecto fisiológico de los dos primeros como elementos esenciales en los organismos (1).

Se encontró además que la concentración de metales fue mayor en los hígados del grupo urbano en comparación con los resultados encontrados en el grupo rural. La única excepción fue el Cobre que se encontró siempre en mayores concentraciones en los especímenes del grupo rural. También se encontró que en los especímenes del grupo urbano, el Cd, Pb y el Cu se encontraron en el riñón en concentraciones significativamente mayores en comparación con el hígado. Lo mismo se evidenció en el grupo rural para el Cd y el Pb (1).

En un estudio realizado en gorriones (*Passer domesticus*), en Cisjordania, se colectaron especímenes de diferentes edades de regiones urbanas y rurales y se obtuvieron los siguientes tejidos: plumas, músculo, hígado, pulmón, corazón, cerebro, estómago con contenido y hueso (fémur y tibia-fíbula). Se midió la concentración de Cu, Cd, Pb y Zn a través de espectrofotometría de emisión atómica. Los resultados evidenciaron que el Zinc fue el metal que se encontró en más altas concentraciones en todos los tejidos analizados y el Cadmio fue el que manifestó concentraciones más bajas (27). En general las concentraciones de Zinc y Cobre fueron siempre más altas en comparación con las concentraciones de Plomo y Cadmio, siendo así consistente con el estudio realizado por Gragnaniello en Italia (1). Los diferentes tejidos mostraron una capacidad variable para acumular metales, siguiendo este orden de mayor a menor: 1) hígado, 2) Estómago, 3) Hueso, 4) Pulmón, 5) Plumaz, 6) Músculo, 7) Contenido del huevo, 8) Cerebro, 9) Corazón, 10) Cáscara del huevo (27).

Se reporta que la exposición de metales pesados en aves ocurre por tres vías: Alimentaria (ingestión de comida, agua y geofagia), Inhalatoria y por los metales maternos depositados en los huevos (21,27,51). Esto explica que el estómago ocupe el segundo lugar ya que fue evaluado con contenido (27), siendo consistente con otro estudio realizado en Corea, donde se encontró que la ingestión puede ser una vía incluso

más importante que la inhalación para la exposición de Pb y Cd en palomas (*Columbia livia*). Este último estudio concluyó además que existe una relación significativa entre la concentración de atmosférica de metales, la densidad del tráfico vehicular, los alimentos y el hábitat (5).

La alta concentración de metales encontrados en los pulmones, que ocupan el cuarto lugar, refleja la contaminación ambiental en las zonas urbanas. Las plumas están casi en el mismo nivel de acumulación de metales que los pulmones (quinto lugar), por lo tanto, la presencia de metales en las plumas refleja la contaminación ambiental durante el corto tiempo de crecimiento de la pluma (27).

Se reporta que los animales eliminan los contaminantes a través de secuestro en el pelo y las plumas, y que el proceso de muda es el principal medio de excreción de metales pesados (47). Las plumas han sido usadas como monitores de exposición a metales pesados, ya que las aves excretan estos minerales en las plumas en crecimiento por medio del aporte sanguíneo que reciben durante la muda; por lo tanto se considera que este tejido puede ser usado como un indicador de contaminación ambiental no invasivo y no letal, cuya colecta y preservación es fácil, además de que refleja la exposición a largo plazo de los contaminantes a nivel local, teniendo así un gran potencial en los estudios de valoración de salud ecosistémica (4,21,27,29,35). Sin embargo se debe tener en cuenta que se ha demostrado que la acumulación de metales en las plumas es altamente variable entre especies de aves, por lo que siempre se debe realizar un estudio pareado, usando una especie, con un grupo de control, para poder entender la tasa de acumulación de metales de forma ideal (35).

En los hígados de las aves de regiones urbanas se encontraron concentraciones significativamente más altas de Cu, Pb y Zn en comparación con aquellos de regiones rurales. Las concentraciones de Cadmio, tanto de especímenes de regiones rurales como de regiones urbanas, no mostraron diferencias significativas (27).

Los resultados de este estudio también mostraron que los tejidos de los adultos contienen niveles mayores de Cu, Pb y Zn en comparación con los demás estados etarios. Se encontró que la acumulación de estos tres metales comienza tempranamente después de la eclosión y alcanza sus niveles máximos en la adultez, mientras que los niveles de Cadmio no mostraron un patrón de acumulación significativo (27). Se reporta que los metales pesados en crías de aves reflejan los niveles de contaminación locales, ya que los polluelos son alimentados por sus padres enteramente con

recursos colectados en su colonia de reproducción (27,29).

El plomo fue el metal que mostró mayor acumulación en los tejidos, lo cual refleja la polución urbana con este metal debido probablemente al uso de gasolina con plomo en los territorios palestinos; además de que es un metal no esencial que tiende a bioacumularse en los tejidos vivos (27). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los hallazgos en tejido hepático de machos y hembras estudiadas, sin embargo se debe tener en cuenta que las hembras tienen la habilidad de depositar metales en los huevos (51). Se reporta que las hembras de paloma (*Columbia livia*) presentan niveles mayores de plomo que los machos en un estudio en Londres (27).

Otro estudio realizado en *Buteo buteo* reportó diferencia significativa en la acumulación de metales entre machos y hembras, donde el Cadmio se encontró en mayor concentración en todos los tejidos analizados de los machos, con excepción del músculo (4). Sin embargo no se encontraron diferencias significativas para las concentraciones de metales esenciales entre machos y hembras de *Buteo buteo*, al igual que entre los individuos juveniles y los adultos, ya que estos metales juegan un rol biológico en el metabolismo sistémico, formación y crecimiento de las plumas y el desarrollo de los huevos en las aves (4,51).

Taggart *et al* 2006, reporta en su estudio en aves acuáticas, que si se encontraron diferencias significativas entre machos y hembras, donde las hembras presentaron niveles más altos de As, Zn y Pb en el tejido hepático en comparación con los machos. Se observó además que el sexo es un factor secundario en relación al As y Zn hepático, pero parece ser uno de los factores más importantes en relación con el Pb en el hígado (52).

En otro estudio realizado en Beijín, China se analizaron las concentraciones de Arsénico, mercurio, cadmio, plomo, níquel, cobalto y manganeso en tejidos del gorrión molinero (*Passer montanus*) (6). Los tejidos analizados fueron los músculos, el hígado y el plumaje ventral. Los resultados evidenciaron una diferencia en la concentración de metales entre polluelos y aves adultas, siendo siempre más altas en el hígado y las plumas ventrales de los adultos, lo cual concuerda con Swaileh & Sansur: 2006 (27). La concentración de metales en los músculos fue mayor en los adultos a excepción del níquel, cuya reducción podría ser debida al proceso de muda en adultos. El estudio no encontró diferencias significativas en la concentración de metales pesados entre machos y hembras de gorrión molinero (6).

En el estudio también se analizó la diferencia de concentración de metales en las plumas ventrales de los gorriones y de la abubilla (*Upupa epops*) como especie migratoria. Las aves fueron muestreadas durante la época reproductiva, en la cual las dos especies tienen una dieta muy similar, basada en insectos. Los resultados evidenciaron una diferencia significativa entre las dos especies, siendo las concentraciones de metales en las plumas ventrales de los gorriones significativamente más alta que la encontrada en las abubillas (34). En otro estudio realizado en España, se observaron diferencias significativas entre las diferentes especies de aves acuáticas estudiadas para la concentración de metales (As, Cu, Zn) en hígado y hueso, con excepción de Plomo en hueso y Selenio en hígado (52).

Las aves del orden Columbiforme han sido también estudiadas como bioindicadores de contaminación atmosférica, un ejemplo de estas es la paloma (*Columbia livia*), especie ideal para este tipo de estudios, debido a sus características biológicas y ecológicas, como una movilidad limitada a lo largo del año, una alta tasa metabólica, una tasa de inhalación más alta que la del ser humano y la ingestión de pequeñas piedrillas y alimento expuesto a deposición de partículas (5,39).

La paloma fue utilizada en un estudio para la evaluación de contaminación por plomo y cadmio realizado en Corea, en el cual se muestrearon 60 palomas provenientes de seis locaciones diferentes, incluyendo un área rural, una urbana y cuatro industrializadas. Los resultados mostraron que las mayores concentraciones de plomo fueron encontradas en el hueso, seguido por el riñón, hígado y pulmón. Se evidenciaron diferencias significativas en los niveles de Plomo encontrados en el riñón y pulmón entre las palomas de la zona rural y las palomas provenientes de las otras cinco locaciones. También los niveles de Cadmio fueron menores en el riñón, hígado y pulmón de las palomas de la zona rural en comparación con las demás (5).

Debido a las altas concentraciones de plomo encontradas en los huesos, se debe tener en cuenta que estas concentraciones se afectan por vía inhalatoria y por la ingestión, pero cualquiera que sea el origen del plomo, este estudio evidencia que los ambientes urbanos están tan contaminados como las áreas industrializadas (5).

Se ha demostrado que los gases producidos por el tráfico vehicular podrían ser una de las mayores fuentes de plomo, factor relacionado al uso de combustible con plomo (5), lo cual concuerda con el estudio de Swaileh *et al*, 2006 (27). En áreas urbanas los gases vehiculares

son una de las mayores fuentes de contaminación a la atmósfera, afectando también al suelo, al agua y a las fuentes de alimento. Se deduce entonces que las altas concentraciones de Plomo encontradas en las palomas son el resultado de la inhalación de aire, la absorción a través de la ingesta y el contacto con el suelo contaminado (5). Este fenómeno se relaciona además con los hábitos alimenticios de estas aves, como el consumo de partículas cerca a las carreteras que muy probablemente contienen plomo (5).

La concentración de metales pesados en hígado, riñón y músculo podría considerarse un indicativo de exposición crónica a los metales, relacionada con la dieta y la contaminación del hábitat, debido a que el hígado y el riñón son órganos de detoxificación del organismo y el músculo actúa como lugar de depósito y acumulación (4). Las altas concentraciones de Cu, Zn y Cd presentes en órganos como el hígado y el riñón se deben a la unión con metalotioneínas, proteínas de bajo peso molecular, ricas en sulfhídricos que transportan los metales por vía sanguínea. Mientras que las concentraciones de Plomo fueron mayores en heces debido a su alta tasa de excreción (29).

Una vez los metales ingresan al ave, estos se pueden almacenar en tejidos como los riñones o el hígado, también pueden ser eliminados mediante excreción (29). La excreción se puede dar por diferentes mecanismos, como el secuestro de metales en las plumas (47), la excreción a través del tracto digestivo en las heces, o la excreción por la glándula de sal (21,29).

Las hembras también pueden excretar los metales en los huevos y las cáscaras de éstos (21,29,51). Los metales pueden, además, ser depositados en el hueso y cartílago de forma permanente o por un largo periodo de tiempo; estos tejidos altamente mineralizados, pueden acumular de forma variable los metales esenciales (Fe, Zn, Cu, Mn) y los no esenciales (Pb, Cd, Hg), particularmente el plomo manifiesta una alta afinidad a los huesos en aves (3). Los huesos y cartílagos entonces, actúan como lugar de deposición y liberación lenta de los metales, en contraste con otros tejidos como el hígado y el riñón, que son importantes en procesos de detoxificación y pueden concentrar altas cantidades de metales pesados durante relativamente un periodo de tiempo más corto (3).

Los niveles de metales pesados en la sangre, reflejan la exposición a corto plazo (35), es decir, entrada de estos en la ingesta inmediata (menos de una semana) y la movilización de metales desde los tejidos internos así como su excreción a través del tracto digestivo y el secuestro en las plumas, huevos y tejidos internos (29).

Es importante tener en cuenta que puede existir una interacción entre metales pesados esenciales y tóxicos, la cual ocurre cuando el metabolismo del metal tóxico es similar al del metal esencial (39,44). Un ejemplo de esto se observó en Corea en un estudio con palomas silvestres, que tenía como objetivo investigar los efectos reproductivos debido a la acumulación de metales pesados en dos colonias de aves. El estudio observó una correlación positiva importante entre Pb y Zn en hueso y entre Cd y Zn en riñón de palomas adultas de la colonia perteneciente al área con mayor contaminación. Se reporta además que el Zn tiene acción antagonista contra la toxicidad por Pb, reduciendo su acumulación en los tejidos y que las concentraciones de Cd se asocian generalmente a niveles de Zn y a la inducción de metalotioneínas en varias especies de aves, lo cual puede tener una acción protectora en contra de la absorción de Cd en aves silvestres (39). También se reporta que la absorción de metales no esenciales como el Pb, inhibe la absorción de metales esenciales como el Zn y el Cu (35).

Un estudio realizado en Suecia, en el que se evaluaron distintas especies de aves (*Falco peregrinus*, *Accipiter nisus*, *Lagopus lagopus*, *Passer domesticus*) como bioindicadores de metales pesados, mediante ablación por láser ICP-MS (Espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente) de las plumas, evidenció que la contaminación por plomo es externa e interna, es decir, se da por unión externa de partículas del metal a las plumas o por deposición interna del metal en la estructura de la pluma en crecimiento desde el torrente sanguíneo. Mientras que la contaminación por zinc es interna y la contaminación por cadmio y cobre es predominantemente interna (29). Como diferencias entre especies, se encontró que las partículas externas de plomo, fueron más frecuentes en las plumas del *Accipiter nisus* y del *Passer domesticus*, ambas especies adaptadas a hábitats urbanos o semiurbanos, en comparación con los valores encontrados para el *Falco peregrinus* silvestre y *Lagopus lagopus*, cuyos hábitats son rurales (29). La especie con mayor intensidad para el plomo fue el gorrión común (*Passer domesticus*), lo cual refleja la alta exposición para esta ave debido al polvo de las calles (29).

Los estudios mencionados reiteran la idea de la utilidad de las aves como bioindicadores de contaminación atmosférica, específicamente por metales pesados, temática de importancia a desarrollar en la investigación en salud pública y de ecosistemas (1,21,38). Teniendo en cuenta la amenaza que significa la contaminación del aire en áreas urbanas para la salud humana, se vuelve imperativo el desarrollo de trabajos de investigación en este ámbito y estudios de toxicología, con el objetivo de obtener un panorama de la situación ambiental y sus

efectos reales en organismos vivos como base para estudios e implementación de prácticas preventivas y de control de la problemática a nivel poblacional (1,4,19,27).

### Conclusiones

De acuerdo a la información planteada anteriormente, se deducen las siguientes conclusiones:

- Utilizar aves como monitores biológicos de contaminación es un método efectivo para evaluar la salud a gran escala del ecosistema en cuestión<sup>35</sup>. Se debe considerar además que las aves rapaces y piscívoras, por estar en la cima de la cadena alimenticia, pueden acumular altos niveles de metales pesados como resultado de la biomagnificación, lo que se traduce en una mayor utilidad para estudiar estas especies como bioindicadores de contaminación ambiental por metales pesados (29).
- Para el desarrollo de estudios de investigación cuyo objetivo sea evaluar aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental, se debe tener en cuenta que pueden existir diferencias significativas en la concentración de metales pesados entre sexo, grupos etarios y especies de aves (4).
- Al realizar mediciones de metales pesados en tejidos de aves usadas como bioindicadores de contaminación ambiental, se debe comprender que los diferentes metales pueden comportarse de diversas formas según su naturaleza. Por ejemplo las concentraciones de metales esenciales, como Zinc, Cobre y Manganeso en los tejidos pueden ser atribuida más a depósitos endógenos que a contaminación ambiental, ya que estos metales son requeridos para el crecimiento y metabolismo normal de los tejidos (4).
- La medición de metales en las plumas de las aves es un método de evaluación de contaminación ambiental importante, ya que además de ser confiable, no invasivo y no letal, refleja la exposición a largo plazo de los contaminantes y es un tejido de fácil colecta y almacenaje; por lo que debe ser considerado para futuros estudios a gran escala en este grupo de animales (6,29,47).
- El Plomo es uno de los metales no esenciales encontrado en niveles más altos con mayor frecuencia en los tejidos de las aves, lo cual refleja la importancia de este metal en la contaminación del ambiente urbano (4,5,27).

- Debido al carácter mutagénico de los contaminantes, el daño genético en animales como las aves puede ser utilizado como un bioindicador eficiente de la acción de contaminantes ambientales (16).
- Son necesarias investigaciones más profundas para optimar la comprensión de la relación existente entre la contaminación atmosférica, la presencia de metales pesados, sus fuentes y las enfermedades específicas correlacionadas, para así establecer un plan efectivo de control y prevención en el ámbito de salud pública (19).

### Referencias

1. Gragnaniello S, Fulgione D, Milone M, Soppelsa O, Cacace P, Ferrara L. Sparrows as Possible Heavy-Metal Biomonitoring of Polluted Environments. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2001; 66: 719-726.
2. Hossein SA, Hashemi SA, Torabian SY. Studying the Reaction of Long Oak Apple Trees to the Absorption of Lead in the Industrial Park of Rasht. *J Agric Biol Sci*. 2013; 8 (2): 97-100
3. Kalisinska E, Salicki W, Kavetska KM, Ligocki M. Trace metal concentrations are higher in cartilage than in bones of scaup and pochard wintering in Poland. *Sci Total Environ*. 2007; 388: 90-103
4. Naccari C, Cristani M, Cimino F, Arcoraci T, Trombetta D. Common buzzards (*Buteo buteo*) bio-indicators of heavy metals pollution in Sicily (Italy). *Environ Int*. 2009; 35: 595-598
5. Nam DH, Lee DP. Monitoring for Pb and Cd pollution using feral pigeons in rural, urban, and industrial environments of Korea. *Sci Total Environ*. 2006; 375: 288-295
6. Pan C, Zheng G, Zhang Y. Concentrations of Metals in Liver, Muscle and Feathers of Tree Sparrow: Age, Inter-Clutch Variability, Gender, and Species Differences. *Bull Environ Contam Toxicol*. 2008; 81: 558-560
7. Calderón L, Mora A, Ontiveros E, Gómez G, Barragán G, Broadway J, et al. Air pollution, cognitive deficits and brain abnormalities: A pilot study with children and dogs. *Brain Cogn*. 2008; 68: 117-127



8. Calderón L, Reed W, Maronpot RR, Henríquez C, Delgado R, Calderón A, et al. Brain Inflammation and Alzheimer's-Like Pathology in Individuals Exposed to Severe Air Pollution. *Toxicol Pathol.* 2004; 32 (6): 650-658
9. Devi SS, Biswas AR, Biswas RA, Vinayagamoorthy N, Krishnamurthi K, Shinde VM, et al. Heavy Metal Status and Oxidative Stress in Diesel Engine Tuning Workers of Central Indian Population. *J Occup Environ Med.* 2007; 46 (11): 1228-1234
10. Gábelová A, Valovicová Z, Horváthová E, Slaménová D, Binková B, Srám RJ, et al. Genotoxicity of environmental air pollution in three European cities: Prague, Kosice and Sofia. *Mutat Res.* 2004; 563: 49-59
11. Giuffré L, Romaniuk RI, Marbán L, Ríos RP, García TP. Public health and heavy metals in urban and periurban horticulture. *Emir J Food Agric.* 2012; 24 (2): 148-154
12. Hassen AH, Sridhar S. Toxicity due to exposure of Cobalt and its inorganic salts on human and animal. *World J Pharm Res.* 2012; 2 (1):16-32
13. Lv J, Zhang W, Xu R. Investigation of Radon and Heavy Metals in Xuanwei and Fuyuan, High Lung Cancer Incidence Areas in China. *J Environ Health.* 2013; 76 (4): 32-38
14. Oh SM, Kim HR, Park YJ, Lee SY, Chung KH. Organic extracts of urban air pollution particulate matter (PM2.5)-induced genotoxicity and oxidative stress in human lung bronchial epithelial cells (BEAS-2B cells). *Mutat Res.* 2011; 723: 142-151
15. Qu CS, Ma ZW, Yang J, Liu Y, Bi J, Huang L. Human Exposure Pathways of Heavy Metals in a Lead-Zinc Mining Area, Jiangsu Province, China. *PLoS ONE.* 2012; 7 (11): e46793
16. Whittier JB, McBee K. Use of flow cytometry to detect genetic damage in Mallards dosed with mutagens. *Environ Toxicol Chem.* 1999; 18 (7): 1557- 1563
17. World Health Organization. Media Centre. Air quality and health [Sede Web]; Septiembre, 2011 [Acceso 23 de Septiembre de 2013]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/en/index.html>
18. World Health Organization. The Health and Environment Linkages Initiative (HELI). The Urban Environment [Sede Web]; 2013 [Acceso 23 de septiembre de 2013]. Disponible en: <http://www.who.int/heli/risks/urban/urbanenv/en/index.html>
19. Zaady E, Brenig L, Carati D, Meurrens A, Lénelle Y, Vanderstraeten P, et al. Heavy Metals Identified in Airborne Particles During Weekend Periods in Brussels Urban Environment. *Forum geographic.* 2010; 9 (9): 87-92
20. Arogunjo AM. Heavy Metal Composition of Some Solid Minerals in Nigeria and Their Health Implications to the Environment. *Pax J Biol Sci.* 2007; 10 (24): 4438-4443
21. Malik RN, Zeb N. Assessment of environmental contamination using feathers of *Bubulcus ibis* L., as a biomonitor of heavy metal pollution, Pakistan. *Ecotoxicology.* 2009; 18: 522- 536
22. Akubugwo EI, Osuocha KU, Nwaogu LA, Chinyere GC. Studies on bioaccumulation of heavy metals and selected minerals from mining effluent contaminates soil treated with fertilizers into Cucurbita pepo vegetable. *Adv Appl Sci Res.* 2013; 4 (4): 190-195
23. Hashemi SA. Investigation of heavy metal pollution of trees in a contaminated industrial area in the north of Iran. *Toxicol Ind Health.* 2012; 29 (10): 931-934
24. Kapungwe EM. Heavy Metal Contaminated Water, Soils and Crops in Peri Urban Wastewater Irrigation Farming in Mufulira and Kafue in Zambia. *J Geogr Geol.* 2013; 5 (2): 55-72
25. Molina VB. Non carcinogenic health risks of heavy metals in mudfish from Laguna Lake. *Sci Diliman.* 2012; 24 (1): 23-32
26. Nica DV, Bura M, Gergen I, Harmanescu M, Bordean DM. Bioaccumulative and conchological assessment of heavy metal transfer in a soil-plant-snail food chain. *Chem Cent J.* 2012; 6: 55
27. Swaileh KM, Sansur R. Monitoring urban heavy metal pollution using the House Sparrow (*Passer domesticus*). *J Environ Monit.* 2006; 8: 209-213

28. Fox GA. Wildlife as Sentinels of Human Health Effects in the Great Lakes-St. Lawrence Basin. *Environ Health Perspec.* 2001; 109 (6): 853-861
29. Ek KH, Morrison GM, Lindberg P, Rauch S. Comparative Tissue Distribution of Metals in Birds in Sweden Using ICP-MS and Laser Ablation ICP-MS. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2004; 47: 259-269
30. Baos R, Jovani R, Pastor N, Tella JL, Jiménez B, Gómez G, et al. Evaluation of genotoxic effects of heavy metals and Arsenic in wild nestling White storks (*Ciconia ciconia*) and Black kites (*Milvus migrans*) from southwestern Spain after a mining accident. *Environ Toxicol Chem.* 2006; 25 (10): 2794-2803
31. Brown RE, Brain JD, Wang N. Reviews. The Avian Respiratory System: A Unique Model for Studies of Respiratory Toxicosis and for Monitoring Air Quality. *Environ Health Perspect.* 1997; 105 (2): 188- 200
32. Block ML, Calderón L. Air Pollution: Mechanisms of Neuroinflammation & CNS Disease. *Trends Neurosci.* 2009; 32 (9): 506-516
33. DeMarini DM. Genotoxicity biomarkers associated with exposure to traffic and near-road atmospheres: a review. *Mutagenesis.* 2013; 28 (5): 485-505
34. Anticona C, Coe AB, Bergdahl A, San Sebastian M. Easier said than done: challenges of applying the Ecohealth approach to the study on heavy metals exposure among indigenous communities of the Peruvian Amazon. *BMC public health.* 2013; 13: 437
35. Hofer C, Gallagher FJ, Holzapfel C. Metal accumulation and performance of nestlings of passerine bird species at an urban brownfield site. *Environ pollut.* 2010; 158: 1207-1213
36. Velma V, Tchounwou PB. Oxidative Stress and DNA Damage Induced by Chromium in Liver and Kidney of Goldfish, *Carassius auratus*. *Biomark Insights.* 2013; 8: 43-51
37. Al-Shami SA, Md Rawi CS, Ahmad AH, Mohd Nor SA. Genotoxicity of heavy metals to the larvae of *Chironomus kiiensis* Tokunaga after short-term exposure. *Toxicol Ind Health.* 2012; 28 (8):734-739
38. Kuang YW, Zhou GY, Wen DZ, Liu SZ. Heavy Metals in Bark of *Pinus massoniana* (Lamb.) as an Indicator of Atmospheric Deposition Near a Smeltery at Qujiang, China. *Env Sci Pollut Res.* 2007; 14 (4): 270- 275
39. Nam D.-H, Lee D.-P. Reproductive effects of heavy metal accumulation on breeding feral pigeons (*Columba livia*). *Sci Total Environ.* 2006; 366: 682-687
40. Hassen AH, Sridhar S. Health Hazards Due to Heavy Metal Poisoning and other Factors in Sea Foods. *Int J Pharm Sci Rev Res.* 2013; 18 (2): 33-37
41. Leme DM, Grummt T, Heinze R, Sehr A, Renz S, Reinel S, et al. An overview of biodiesel soil pollution: Data based on cytotoxicity and genotoxicity assessments. *J Hazard Mater.* 2012; 199-200: 343-349
42. Skarphedinsdottir H, Hallgrímsson GT, Hansson T, Hägerroth PA, Liewenborg B, Tjärnlund U, et al. Genotoxicity in herring gulls (*Larus argentatus*) in Sweden and Iceland. *Mutat Res.* 2010; 702: 24-31
43. Järup L. Hazards of heavy metal contamination. *Br Med Bull.* 2003; 68: 167-182
44. Cvjetko P, Tolic S, Sikic S, Balen B, Tkalec M, Vidakovic Z, et al. Effect of Copper on the toxicity and genotoxicity of Cadmium in Duckweed (*Lemna minor* L.). *Arh Hig Rada Toksikol.* 2010; 61: 287- 296
45. Huang Z, Pan XD, Wu PG, Han JL, Chen Q. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Rice to the Population in Zhejiang, China. *PLoS ONE.* 2013; 8 (9): e75007
46. Rathanavel C, Thillai P. Quantification of heavy metals and minerals in selected Indian medicinal plants using atomic absorption spectrophotometer. *Int J Pharm Bio Sci.* 2013; 4 (3): 897-908
47. Rashed MN, Soltan ME. Animal Hair as Biological Indicator for Heavy Metal Pollution in Urban and Rural Areas. *Environ Monit Asses.* 2005; 110: 41-53
48. Tona GO, Adetunji VO, Ameen SA, Ibikunle AO. Evaluation of Lead and Cadmium Heavy Metal Residues in Milk and Milk products Sold in Ogbomoso, Southwestern Nigeria. *Pak J Nutr.* 2013; 12 (2): 168-171

49. Omar WA, Zaghloul KH, Abdel-Khalek AA, Abo-Hegab S. Genotoxic effects of metal pollution in two fish species, *Oreochromis niloticus* and *Mugil cephalus*, from highly degraded aquatic habitats. *Mutat Res.* 2012; 746: 7-14
50. Scheirs J, De Coen A, Covaci A, Beernaert J, Kayawe VM, Caturla M, et al. Genotoxicity in wood mice (*Apodemus sylvaticus*) along a pollution gradient: Exposure- Age-, and Gender-related effects. *Environ Toxicol Chem.* 2006; 25 (8): 2154-2162
51. Dauwe T, Janssens E, Bervoets L, Blust R, Eens M. Heavy Metal Concentrations in Female Laying Great Tits (*Parus major*) and Their Clutches. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2005; 49: 249-256
52. Taggart MA, Figuerola J, Green AJ, Mateo R, Deacon C, Osborn D, Meharg AA. After the Aznalcóllar mine spill: Arsenic, zinc, selenium, lead and copper levels in the livers and bones of five waterfowl species. *Environ Res.* 2006; 100: 349- 361

**Forma de citar:**

Parra E. Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *Rev CES Salud Pública* 2014; 5(1): 59-69

