

La contaminación del aire deteriora la función olfativa cotidiana en residentes de la ciudad de México

Marco Guarneros,* Robyn Hudson*

RESUMEN. Poco se sabe acerca del efecto de la contaminación del aire de las grandes ciudades sobre la función olfativa. Usando una metodología psicofísica, se comparó el desempeño olfativo de residentes de la ciudad de México, una región con altos niveles de contaminación del aire, con el desempeño de un grupo control del estado de Tlaxcala, una región geográficamente comparable, pero con más bajos niveles de contaminación. Se comparó la habilidad de treinta adultos jóvenes de cada localización para detectar y describir el olor de leche, de dimetil disulfuro (un producto de la descomposición de la leche), y de dimetil disulfuro agregado a la leche. Los sujetos de la ciudad de México detectaron y describieron los estímulos odorantes a concentraciones significativamente más altas que los sujetos control de Tlaxcala, y detectaron y juzgaron negativamente la leche contaminada con dimetil disulfuro a concentraciones significativamente más altas del contaminante que los sujetos de Tlaxcala. Concluimos que el daño en el sistema olfativo causado por la contaminación del aire tiene relevancia en situaciones cotidianas, como la de evaluar la calidad de los alimentos antes de la ingestión.

Palabras clave: Función olfativa, evaluación de alimento, humanos, contaminación del aire.

ABSTRACT. Little is known about the effect of big city air pollution on olfactory function. Using everyday food-related odorants we compared the olfactory performance of residents of Mexico City, a region with high air pollution, with the performance of a control population from the Mexican state of Tlaxcala, a geographically comparable but less polluted region. Using psychophysical methodology, we compared the ability of thirty young adults from each location to detect and describe the odor of milk, of dimethyl disulfide as a common contaminant of milk, and to detect the presence of this contaminant when added to milk. The subjects from Mexico City detected and described the odorants at significantly higher concentrations than the control subjects from Tlaxcala, and they detected and negatively judged milk containing dimethyl disulfide at significantly higher concentrations of the contaminant than the Tlaxcala subjects. We conclude that the observed impairment of olfactory function caused by air pollution is relevant in every-day situations such as evaluating the quality of food before ingestion.

Key words: Olfactory function, food evaluation, humans, air pollution.

Introducción

* Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México.

Dirección para correspondencia:

Robyn Hudson

Departamento de Biología Celular y Fisiología,
Instituto de Investigaciones Biomédicas,
Universidad Nacional Autónoma de México,
AP 70228, CP 04510 México, D.F.
Teléfono: (+52) 55 5622 3828, Fax: (+52) 55 5550 0044.
E-mail: rhudson@biomedicas.unam.mx

Recibido: 4 de agosto del 2009

Aceptado con modificaciones: 5 de septiembre del 2009

Aunque en muchas ciudades del mundo la contaminación del aire es un problema de salud pública muy importante,^{1,2} se sabe muy poco acerca de sus posibles efectos sobre la función olfativa. En un primer estudio³ reportamos que los residentes de la ciudad de México, una región con niveles notoriamente altos de contaminación del aire,⁴⁻⁶ presentaban una menor sensibilidad olfativa que los residentes del vecino estado de Tlaxcala, región geográficamente similar pero con bajos niveles de contaminación.⁶ Esto fue comprobado incluso con jóvenes saludables.

En una extensión del estudio mencionado, ahora investigamos si ese daño pudiera ser relevante en la vida diaria. Para esto evaluamos el desempeño de personas en una tarea olfativa cotidiana: la habilidad para detectar y responder apropiadamente a tres olores: el de la leche cuando se encuentra en buen estado, el de dimetil disulfuro –un contaminante característico de la descomposición de varios alimentos incluida la leche^{7,8} y el olor de la leche cuando ésta ha sido adulterada con dimetil disulfuro. Seleccionamos leche como estímulo dado que, además de ser ampliamente consumida en todo el mundo, es proclive a un rápido proceso de putrefacción. También es el alimento básico de los infantes, y éstos pueden presentar severos problemas de salud si quienes los cuidan no son capaces de detectar una contaminación, aun ligera, en la leche.^{9,10} Suponíamos que los residentes de la ciudad de México fueran menos eficientes para percibir los olores de leche y de dimetil disulfuro, y, lo más importante, que necesitaran mayores concentraciones del contaminante para detectar y reportar como desagradable la leche adulterada que los residentes de Tlaxcala.

Materiales y métodos

Los procedimientos se ajustaron a los requerimientos de la Declaración de Helsinki para Investigación Médica con Seres Humanos y del Comité de Ética para Investigación con Seres Humanos del Instituto de Investigaciones Biomédicas, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), y todos los sujetos firmaron una carta de consentimiento informado antes del inicio de la prueba.

Sujetos

Se reclutaron sujetos voluntarios, saludables y no fumadores de entre 18 y 30 años de edad (media 22.48, DE 3.13), debido a que normalmente en este rango de edad las capacidades olfativas están en su nivel máximo de sensibilidad.¹¹ Los voluntarios fueron estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México (Ciudad de México) y de la Universidad Autónoma de Tlaxcala (Tlaxcala), a los cuales se les pidió no comer ni ingerir líquidos distintos de agua al menos una hora antes de la prueba. Los suje-

tos que formaron el grupo experimental de la ciudad de México estaban crónicamente expuestos a la alta contaminación del sur de la ciudad,^{4,12} y los del grupo control de Tlaxcala habían vivido por al menos los últimos siete años en el estado de Tlaxcala. Cada grupo estuvo formado por 15 mujeres y 15 hombres, ninguno de los cuales había participado previamente en un experimento olfativo.

Estímulos odorantes

Como estímulos odorantes seleccionamos leche en polvo (Nido®, Nestlé), dimetil disulfuro (Sigma), y la concentración comercialmente recomendada de leche en polvo mezclada con concentraciones ascendentes de dimetil disulfuro.

Para determinar los umbrales olfativos presentamos la leche y el dimetil disulfuro en concentraciones ascendentes establecidas mediante pruebas piloto: la leche en 12 soluciones (150 g/L –la concentración recomendada comercialmente– diluida por un factor de 2), y el dimetil disulfuro en 16 soluciones (0.28 mL/L diluido por un factor de 3).¹³ Para probar la habilidad de los sujetos para detectar el dimetil disulfuro en la leche, presentamos una serie de soluciones de dimetil disulfuro disuelto en la concentración recomendada de leche (150 g/L) en vez de agua. Las soluciones fueron preparadas antes de cada sesión de pruebas, y ninguna fue usada después de 3 h de haber sido preparada. Se presentaron 25 mL de cada estímulo en botellas de polietileno de 250 mL equipadas con una boquilla de plástico.¹⁴

Procedimiento de la prueba

Las pruebas fueron aplicadas por la misma persona entre los meses de noviembre de 2005 y enero de 2006, en una habitación tranquila y bien ventilada en la Universidad Nacional Autónoma de México o en la Universidad Autónoma de Tlaxcala. La temperatura y la humedad del ambiente fueron registradas al inicio de cada sesión utilizando un higrómetro digital (GFTH 95; Greisinger, Alemania, para las posibles influencias de estas variables ver referencia 15).

Primero se les explicó a los sujetos el procedimiento de las pruebas y se les permitió familiarizarse con las botellas. Posteriormente se evaluó la habilidad

de los sujetos para percibir el olor de leche, el de dimetil disulfuro y el de dimetil disulfuro en leche, midiendo umbrales de detección y descripción para los tres estímulos. También registramos la concentración a la cual identificaban el olor a leche (lo nombraban correctamente) y la concentración a la cual rechazaban el olor a dimetil disulfuro y a dimetil disulfuro en leche. Para determinar el umbral de detección realizamos un procedimiento de escalera de triángulo ascendente;¹⁴ primero presentamos a los sujetos tres botellas en orden aleatorio, una de las botellas contenía el estímulo odorante (botella objetivo) y dos botellas contenían sólo agua (botellas distractoras), y les pedimos que las olieran e identificaran la que olía diferente; es decir, que identificaran la botella objetivo. Un error resultaba en la presentación de otro triplete de botellas que incluía la botella objetivo a la siguiente (mayor) concentración, y un acierto resultaba en la repetición del ensayo con la concentración previa (menor). Cuando el sujeto había tenido tres aciertos en una misma concentración, ésta se consideraba como el umbral de detección para ese estímulo odorante en particular. El intervalo de tiempo mínimo entre dos intentos con una misma botella era de 50 s, permitiendo así la recarga de la concentración en el espacio de la cabeza de la botella. En un tercer paso, continuamos presentando las botellas objetivo de manera individual en concentraciones ascendentes, y pidiendo a los sujetos que describieran y, si era posible, nombraran el estímulo odorante. Se registró la concentración a la cual daban la primera descripción para cada uno de los tres estímulos (umbrales de primera calidad), y la concentración a la cual podían nombrar correctamente la leche (umbral de identificación). Además, registramos los juicios hedónicos de los sujetos; es decir, qué tan placentero o desagradable encontraban los estímulos a partir del umbral de detección y para las concentraciones subsecuentes. Para esto se les pidió que evaluaran el olor en una escala del 1 (muy desagradable) al nueve (muy agradable). Mediante los juicios hedónicos, registramos la concentración a la cual el dimetil disulfuro era reportado como desagradable (umbral de rechazo para dimetil disulfuro) y la concentración de dimetil disulfuro en leche a la cual la mezcla era reportada con un juicio hedónico menor del que dieron a la leche sola (umbral de rechazo para dimetil disulfuro en leche).

Análisis de los datos

Las características de los sitios de estudio y de los sujetos están reportadas como medias y desviaciones estándares (DE), y fueron comparadas utilizando pruebas t de Student para muestras independientes. Dado que los puntajes de desempeño no se distribuyeron normalmente en todos los casos (prueba de Kolmogorov Smirnov), éstos fueron analizados usando pruebas estadísticas no paramétricas U de Mann-Whitney para comparar el desempeño entre sujetos de la ciudad de México y de Tlaxcala. También generamos un puntaje de desempeño general para cada sujeto al ordenar los umbrales de detección para los tres estímulos (leche, dimetil disulfuro, dimetil disulfuro en leche) en los dos grupos (valores 1-60 por sustancia), y así calcular el rango promedio de los sujetos.

El análisis se realizó utilizando el programa estadístico SPSS 13.0 y se consideró un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

Resultados

No hubo diferencias significativas en las temperaturas de los cuartos registradas al inicio de cada sesión (CM: 20.93 °C, DE 0.99; Tx: media 20.29 °C, DE 1.86; prueba t-Student: $t_{58} = 1.67, P = 0.101$), aunque la humedad fue significativamente mayor para la ciudad de México (CM: media 45.9%, DE 7.6; Tx: media 40.7%, DE 5.1; $t_{58} = 3.11, P = 0.003$). No hubo diferencias significativas entre los grupos en el momento del día en el cual las sesiones de pruebas comenzaron ($t_{58} = 0.601, P = 0.55$), ni en la duración de las sesiones ($t_{58} = 1.33, P = 0.90$). Dado que no encontramos ninguna diferencia entre los sexos en ninguna medida, los puntajes para hombres y mujeres fueron combinados.

Umbrales de detección de leche y dimetil disulfuro. Los sujetos de la ciudad de México fueron superados por los de Tlaxcala, quienes detectaron ambos estímulos en las pruebas de triángulo de tres botellas a concentraciones significativamente más bajas (*Figura 1a*, U de Mann-Whitney: leche, $U = 172.5_{30,30}, P < 0.001$; dimetil disulfuro, $U = 298_{30,30}, P = 0.024$).

Umbrales de primera calidad de leche y de dimetil disulfuro. Conforme se presentaban concentraciones cada vez

mayores de los estímulos odorantes, mejoraba la capacidad de los sujetos de describir o incluso nombrar correctamente el olor. En general, para describir los olores, los sujetos de la ciudad de México necesitaron de mayores concentraciones de las sustancias que los sujetos de Tlaxcala (*Figura 1b*). Estas diferencias fueron significativas tanto para la leche ($U = 194_{30,30} P < 0.001$) como para el dimetil disulfuro ($U = 277_{30,30} P = 0.01$).

Umbrales de identificación y de rechazo. Veintidós sujetos de la ciudad de México (73%) y 20 sujetos de Tlaxcala (67%) nombraron correctamente la leche. A pesar de que los sujetos de la ciudad de México presentaban una tendencia a identificar correctamente la leche a más altas concentraciones que los sujetos de

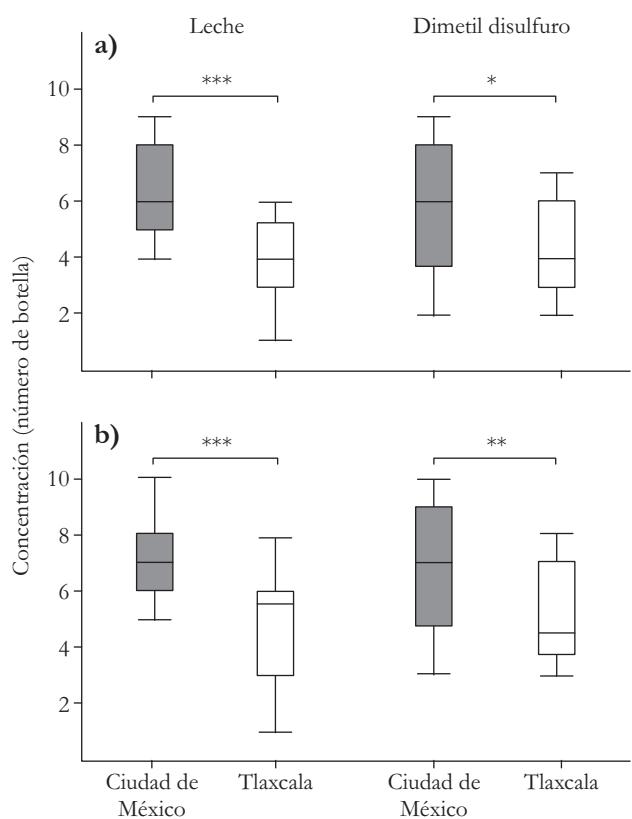


Figura 1. Respuesta de los sujetos de la ciudad de México y de Tlaxcala al olor de leche y de dimetil disulfuro, a) umbrales de detección, b) umbrales en los cuales pudieron describir los olores. «Concentración» se refiere al número de botellas en el orden ascendente en el cual fueron presentadas. Diagramas de cajas: líneas horizontales dividiendo las cajas = medianas, límites de las cajas = rangos intercuartiles, barras verticales = percentiles 10 y 90. * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$, pruebas U de Mann-Whitney.

Tlaxcala, la diferencia no fue significativa ($U = 116.5_{22,20} P = 0.07$). De modo similar, aunque los sujetos de la ciudad de México tendían a evaluar el dimetil disulfuro negativamente a concentraciones más altas que los de Tlaxcala, esta diferencia tampoco fue significativa ($U = 353_{30,30} P = 0.15$).

Umbrales para percibir dimetil disulfuro en leche. En la prueba principal – la habilidad de los sujetos para detectar la presencia del contaminante dimetil disulfuro en leche – los sujetos de la ciudad de México fueron superados por los de Tlaxcala en las tres medidas (*Figura 2*): en la concentración a la cual pudieron distinguir el dimetil disulfuro en leche de dos botellas distractoras que contenían sólo leche ($U = 199_{30,30} P < 0.001$), en la concentración de dimetil disulfuro a la cual reportaron un cambio en la calidad de la leche ($U = 199.5_{30,30} P < 0.001$), y en la concentración de dimetil disulfuro en leche a la cual evaluaron el olor más negativamente de como evaluaron la leche ($U = 179_{30,30} P < 0.001$).

Desempeño general. Finalmente, ordenando el promedio de los valores de los tres umbrales de detección de cada uno de los sujetos de ambos grupos, se observa que el mejor desempeño de los sujetos de Tlaxcala es altamente significativo ($U = 161.0_{30,30} P < 0.001$). Mientras que 14 sujetos de la ciudad de México (47%) tuvieron puntajes por debajo del su-

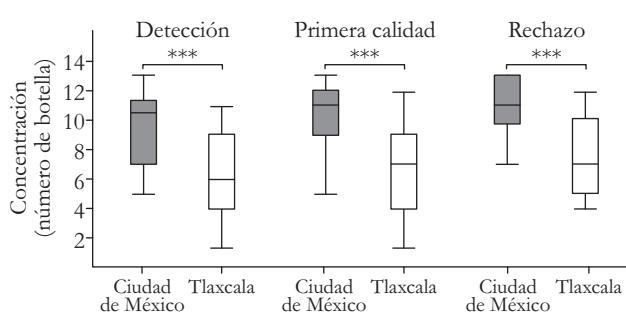


Figura 2. Respuesta de los sujetos de la ciudad de México y de Tlaxcala al olor de una concentración estándar de leche cuando era mezclada con concentraciones ascendentes de dimetil disulfuro. **Detección:** umbrales en los cuales los sujetos podían discriminar el olor de la leche contaminada del olor de la leche sola. **Primera calidad:** umbrales en los cuales los sujetos podían describir el olor de la leche contaminada de manera distinta de como describieron la leche sola. **Rechazo:** umbrales en los cuales los sujetos podían evaluar hedónicamente el olor de leche conteniendo dimetil disulfuro de manera más negativa de como evaluaron la leche sola. Los datos están presentados como en la *Figura 1*.

jeto de Tlaxcala con más bajo promedio, tres sujetos de Tlaxcala (10%) tuvieron puntajes por encima del sujeto con más alto promedio de la ciudad de México.

Discusión

Consistente con hallazgos previos,³ el presente estudio muestra que los residentes de la ciudad de México, expuestos crónicamente a los altos niveles de contaminación del aire, tienen disminuida la función olfativa en comparación con los residentes de Tlaxcala, una región geográficamente similar pero con bajos niveles de contaminación.⁶ Así, los sujetos de Tlaxcala pudieron detectar los olores de leche y de dimetil disulfuro a concentraciones significativamente más bajas que los sujetos de la ciudad de México. También pudieron describir ambos olores a menores concentraciones. Las diferencias en la identificación y en el rechazo de estas sustancias no fueron significativas, posiblemente por la mayor intervención de funciones cognitivas que, al menos parcialmente, compensan el daño que la contaminación produce en la cavidad nasal (véase referencia 3 para la mayor discusión de este fenómeno).

Los resultados más relevantes son los que se refieren al desempeño olfativo en la vida cotidiana: los sujetos de la ciudad de México presentaron una mayor dificultad que los de Tlaxcala para detectar la diferencia entre la leche contaminada con dimetil disulfuro y la leche sin contaminante, y necesitaron mayores concentraciones de dimetil disulfuro para evaluar negativamente la leche contaminada, esto es, para rechazarla.

Aunque este estudio no provee evidencia directa de que el menor desempeño de los sujetos de la ciudad de México se deba al daño que causa la contaminación en el epitelio olfativo, es ésta la explicación

más razonable; nuestros hallazgos son consistentes con los reportes de daño extensivo en el sistema respiratorio y olfativo en habitantes de la ciudad de México comparados con quienes viven en ciudades mexicanas menos contaminadas.¹⁷⁻²⁰ Otros factores que pueden influir en el olfato fueron controlados en el diseño experimental de modo que ambos grupos fueran comparables: clima, altitud, época del año, edad, género, aspectos culturales (todos los sujetos fueron estudiantes universitarios), nivel socioeconómico, y posibles efectos del experimentador al haber aplicado la misma persona todas las pruebas. Si bien la humedad registrada en el cuarto de pruebas fue mayor para la ciudad de México que para Tlaxcala, esto en todo caso debió haber favorecido el desempeño de los sujetos de la ciudad de México.¹⁵

Aunque ninguno de los sujetos fue anósmico, el hecho de que en todos los casos los sujetos de la ciudad de México se desempeñaran menos eficientemente que sus contrapartes de Tlaxcala, y que el 47% tuvieran un menor desempeño general que el sujeto con más bajo desempeño de Tlaxcala, debería ser motivo de preocupación.

Así, los resultados del presente estudio proveen una mayor advertencia de los peligros de la contaminación de las grandes ciudades, al aportar evidencia del daño en la función olfativa y de la relevancia que este daño podría tener en la vida diaria.

Agradecimientos

Agradecemos a Carolina Rojas, Laura García y Cecilia Cuatianquiz por su excelente asistencia técnica y a José Esquivelzeta por su ayuda en la elaboración de las figuras.

Financiamiento de CONACYT Becario N. 28879. Postgrado en Ciencias Biológicas, UNAM.

Bibliografía

1. Molina MJ, Molina LT. Megacities and atmospheric pollution. *J Air Waste Manag Assoc* 2004; 54(10): 644-680.
2. Molina LT, Kolb CE, de Foy B, Lamb BK, Brune WH, Jiménez JL, Ramos-Villegas R, Sarmiento J, Páramo-Figueras VH, Cárdenas B, Gutiérrez-Abedoy-V, Molina MJ. Air quality in North America's most populous city – overview of the MCMA-2003 campaign. *Atmos Chem Phys* 2007; 7: 2447-2473.
3. Hudson R, Arriola A, Martínez-Gómez M, Distel H. Effect of air pollution on olfactory function in residents of Mexico City. *Chem Senses* 2006; 31(1): 79-85.
4. Molina LT, Molina MJ et al. Air quality in the Mexico megacity. An integrated assessment. Dordrecht:Kluwer Academic Publishers, 2002.
5. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología. Segundo almanaque de datos y

- tendencias de la calidad del aire en seis ciudades mexicanas. SEMARNAT, 2006.
6. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales – Instituto Nacional de Ecología. Inventario Nacional de Emisiones de México 1999. SyG, 2006: 344-354.
 7. Jacobsson A, Nielsen T, Sjoholm I. Influence of temperature, modified atmosphere, packaging, and heat treatment on aroma compounds in broccoli. *J Agr Food Chem* 2004; 52(6): 1606-1614.
 8. van Aardt M, Duncan SE, Marcy JE, Long TE, O'Keefe SF, Nielsen-Sims SR. Aroma analysis of light-exposed milk stored with and without natural and synthetic antioxidants. *J Dairy Sci* 2005; 88(3): 881-890.
 9. Morais TB, Morais MB, Sigulem DM. Bacterial contamination of the lacteal contents of feeding bottles in metropolitan São Paulo, Brazil. *Bull World Health Organ* 1998; 76(2): 173-181.
 10. Ahiadeke C. Breast-feeding, diarrhoea and sanitation as components of infant and child health: a study of large scale survey data from Ghana and Nigeria. *J Biol Sci* 2000; 32(1): 47-61.
 11. Doty RL, Shaman P, Applebaum SL, Giberson R, Siksorski L, Rosenberg L. Smell identification ability: Changes with age. *Science* 1984; 226(4681): 1441-1443.
 12. Villareal-Calderón A, Acuña H, Villareal-Calderón J, Garciú M, Henríquez-Roldán C, Calderón-Garcidueñas L, Valencia-Salazar G. Assessment of physical education time and after-school outdoor time in elementary and middle school students in south Mexico City: The dilemma between physical fitness and the adverse health effects of outdoor pollutant exposure. *Arch Environ Health* 2002; 57(5): 450-460.
 13. Greenman J, Duffield J, Spencer P, Rosenberg M, Corry D, Saad S, Lenton P, Majerus G, Nachnani S, El-Maaytah M. Study on the organoleptic intensity scale for measuring oral malodor. *J Dent Res* 2004; 83(1): 81-85.
 14. Laska M, Hudson R. A comparison of the detection thresholds of odour mixtures and their components. *Chem Senses* 1991; 16(6): 651-662.
 15. Kuehn M, Welsch H, Zahnert T, Hummel T. Changes of pressure and humidity affect olfactory function. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2008; 265(3): 299-302.
 16. Morris JD. Observations: SAM: The self-assessment manikin. *J Advert Res* 1995; 35: 63-68.
 17. Calderón-Garcidueñas L, Osorno-Velázquez A, Bravo-Álvarez H, Delgado-Chávez R, Barrios-Márquez R. Histopathologic changes of the nasal mucosa in southwest metropolitan Mexico City inhabitants. *Am J Pathol* 1992; 140(1): 225-232.
 18. Calderón-Garcidueñas L, Rodríguez-Alcaraz A, Villarreal-Calderón A, Light O, Janszen D, Morgan KT. Nasal epithelium as a sentinel for airbone environmental pollution. *Toxicol Sci* 1998; 46(2): 352-364.
 19. Calderón-Garcidueñas L, Valencia-Salazar G, Rodríguez-Alcaraz A, Gambling MT, García R, Osnaya N, Villareal-Calderón A, Devlin R, Carson J. Ultrastructural nasal pathology in children chronically and sequentially exposed to air pollutants. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2001; 24(2): 132-138.
 20. Valverde M, López M del C, López I, Sánchez I, Fortoul TI, Ostrosky-Wegman P, Rojas E. DNA damage in leukocytes and buccal and nasal epithelial cells of individuals exposed to air pollution in Mexico City. *Environ Mol Mutagen* 1997; 30(2): 147-152.