

# UC San Diego

## UC San Diego Previously Published Works

### Title

Contaminación de ambientes interiores: Estimulación de los sentidos del olfato e irritación química (Indoor air pollution: Stimulation of the senses of smell and chemical irritation)

### Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/88z3k20k>

### Author

Cometto-Muniz, J. Enrique

### Publication Date

1997

### Data Availability

The data associated with this publication are within the manuscript.

Procesos Sensoriales y Cognitivos, CONICET-Dunken: Buenos Aires, pp. 299-313, 1997

## Contaminación de ambientes interiores: Estimulación de los sentidos del olfato e irritación química

(Indoor air pollution: Stimulation of the senses of smell and chemical irritation)

J. Enrique Cometto-Muñiz<sup>\*,1</sup>

\*John B. Pierce Laboratory y Department of Epidemiology and Public Health of the Yale University School of Medicine

<sup>1</sup>Present affiliation: Department of Surgery (Otolaryngology), University of California, San Diego, 9500 Gilman Drive, Mail Code 0957, La Jolla, CA 92093-0957

## Resumen

En los últimos diez a quince años se ha hecho más común la aparición de quejas por parte de algunos ocupantes de ciertos edificios u oficinas, referidas a la generación de síntomas adversos, presumiblemente producidos por la mala calidad del aire en dichos espacios. Entre los síntomas — todos ellos generales e inespecíficos — se destaca la irritación sensorial de ojos, nariz, y garganta. De hecho, los sentidos de irritación química y del olfato son los primeros indicadores de la calidad del aire que respiramos. En este artículo se hace una revisión de las características de funcionamiento de estos dos sentidos en los seres humanos. El estudio del llamado sentido químico común (SQC) (irritación química sensorial) en la nariz, independientemente del olfato, ha progresado con la utilización de sujetos que carecen del sentido del olfato (anósmicos) y con el estudio de series homólogas de compuestos químicos. El olfato es más sensible y reacciona más rápido que el SQC ante la presencia de sustancias en el aire, pero, a su vez, se adapta más fácilmente y no integra en función del tiempo los efectos sensoriales de estas sustancias en una forma tan completa como el SQC.

## Abstract

The last ten to fifteen years have seen an increase in the number of complaints from occupants of certain buildings regarding the appearance of adverse health effects presumably originated from bad indoor air quality. Among these typically non-specific symptoms, sensory irritation of eyes, nose, and throat are widely cited. In fact, the senses of chemical irritation and smell are early warning indicators of the quality of the air we breathe. The present paper reviews the functional characteristics of these two senses in humans. The study of the so-called common chemical sense (CCS) (chemical sensory irritation) in the nose, independently of olfaction, has advanced through the use of subjects lacking a sense of smell (anosmics), and through the systematic study of homologous series of substances. Olfaction is more sensitive and reacts faster than the CCS to airborne compounds, but, on the other hand, it adapts more readily and does not integrate the sensory effects of chemicals with time as thoroughly as the CCS.

## Introducción

A fines de la década del 70 y comienzos de la del 80, varios países del hemisferio norte comenzaron un plan de ahorro de energía en el proceso de ventilación y acondicionamiento del aire en edificios. Como parte de dicho plan se realizaron investigaciones con el fin de restringir lo más posible el intercambio de aire con el exterior tanto en los edificios para vivienda como para oficinas, pero salvaguardando la salud y el comfort de los ocupantes. De este modo se intentó lograr ambientes confortables, con máxima eficiencia y menor gasto energético en el necesario acondicionamiento del aire interno en invierno y en verano.

Como consecuencia de este aislamiento más estricto de los ambientes interiores, surgió la posibilidad de potenciar problemas en la calidad del aire que antes se disimulaban dada la mayor ventilación natural.

En los últimos diez a quince años se ha tornado más común la aparición de un grupo de síntomas inespecíficos en un porcentaje de las personas que ocupan o trabajan en ciertos edificios u oficinas. Este conjunto de síntomas se ha denominado síndrome de edificios enfermos o SBS (del inglés, "sick building syndrome") (ver Mølhave, 1992).

Entre los síntomas figuran: irritación de ojos, nariz, y garganta, rinitis, debilidad generalizada, pérdida de capacidad mental, dolor de cabeza, y fatiga, entre otros. Hasta el momento no se sabe cual es la causa o causas de la aparición de estas reacciones. Se puede suponer que son el resultado de agentes químicos en el aire — y en algunos casos se encuentra la fuente responsable — pero en la mayoría de los casos no se hallan las sustancias responsables.

Otro problema en el estudio del SBS consiste en la inespecificidad de los síntomas. ¿Se deben sumar los síntomas de dolor de cabeza con los de debilidad generalizada, o se deben tratar por separado? Ambos síntomas pueden surgir por un gran número de causas que nada pueden tener que ver con la exposición al aire de un cierto ambiente.

Entre las quejas asociadas con la posible contaminación de ambientes interiores, una de las más comunes es la de irritación sensorial, particularmente en ojos, nariz y garganta. Estas reacciones sensoriales pueden ser cuantificadas en humanos con métodos psicofísicos (Guirao, 1980). El conocimiento de las características funcionales básicas de la irritación química sensorial y del olfato en humanos es un paso importante en la comprensión de los efectos de la contaminación ambiental (Cometto-Muñiz and Cain, 1992). En este sentido, los resultados obtenidos con

sujetos en el laboratorio son muy útiles. Sin embargo, debemos admitir que sólo métodos objetivos de medición de efectos adversos pueden brindar un mayor grado de certeza en casos concretos, ocurridos fuera del laboratorio, donde la colaboración honesta y libre de prejuicios de los sujetos no está asegurada. Mientras tanto, podemos tratar de reproducir esos efectos sensoriales en el laboratorio y estudiar sus reglas de funcionamiento.

### Los sentidos involucrados

La percepción de agentes químicos en el aire se lleva a cabo por intermedio del sentido del olfato (I par craneano) (García-Medina, 1987) y del llamado sentido químico común (SQC) (Cometto-Muñiz, 1986) — sensibilidad química que poseen todas las mucosas del cuerpo — y que en las mucosas de la cara (ocular, nasal, oral) es mediada por el nervio trigémino (V par craneano).

La estimulación química del SQC en la nariz produce un conjunto de sensaciones que pueden ser agrupadas bajo el término general de "pungentes" (del inglés: "pungent": lo que afecta los órganos del olfato o gusto — o la piel, etc. — con una sensación semejante a la producida por punzadura; penetrante e irritante, The Oxford Universal Dictionary, Oxford, 1955). Por su parte, la palabra "pungencia" ha sido también tomada del inglés ("pungency": propiedad aguijoneante, irritante, cáustica, muchas veces referida a los sentidos químicos, The Oxford Universal Dictionary, Oxford, 1955).

### Diferencias y similitudes entre el olfato y el SQC

#### 1) A nivel supraumbral

Resulta difícil estudiar uno de estos sentidos libre de la estimulación simultánea del otro dado que prácticamente todos los compuestos con olor también son capaces de producir pungencia nasal. Una de las pocas excepciones podría ser dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) — el gas utilizado en las bebidas gaseosas — cuya característica pungencia es prácticamente inodora. Un buen número de investigaciones han utilizado el CO<sub>2</sub> como típica sustancia pungente, estimulante no sólo del SQC nasal (Cometto-Muñiz and Cain, 1982; Cometto-Muñiz and Noriega, 1985; Dunn, Cometto-Muñiz et al., 1982; García-Medina and Cain, 1982) sino también del bucal (Cometto-Muñiz, García-Medina et al., 1987; Cometto-Muñiz and Noriega, 1985; Green, 1992; Yau and McDaniel, 1990; Yau and McDaniel, 1991) y del ocular (Cain, See et al., 1986). De todos modos, los

resultados de varios estudios han señalado que las personas pueden, hasta cierto punto, distinguir entre los atributos de olor y los de pungencia de una misma sustancia (Berglund and Shams Esfandabad, 1992a; Berglund and Shams Esfandabad, 1992b; Cain, 1976; Cometto-Muñiz, García-Medina et al., 1989; Cometto-Muñiz and Hernández, 1990).

Cuando se analizan las funciones de estímulo-respuesta (llamadas psicofísicas) para el olor y para la pungencia de compuestos aislados y en mezclas se comprueba que la intensidad percibida de pungencia se incrementa más abruptamente que la de olor en función del aumento de la concentración (Figura 1).

Figura 1

Las sensaciones olorosas y las pungentes también difieren en la forma en que son moduladas en el tiempo (Cain, 1976; Cometto-Muñiz and Cain, 1984). Para la gran mayoría de sustancias con olor y pungencia, la sensación olfativa aparece siempre primero que la pungente pero, en poco tiempo (segundos a 1-2 minutos), se produce adaptación olfativa (cf. Cometto-Muñiz and Cain, 1995a) y la magnitud percibida de olor resulta sustancialmente menor que la original. La sensación pungente, por el contrario, aparece después que el olor pero se incrementa no sólo en el orden de segundos (Cometto-Muñiz and Cain, 1984) sino también en el orden de 30 o más minutos (Cain, See et al., 1986). Esto es lo que se conoce como integración temporal (Figura 2).

Figura 2

El olfato y el SQC contrastan en la forma en que procesan la estimulación con mezclas de estímulos (Cometto-Muñiz and Hernández, 1990). La intensidad de olor de una mezcla de dos (o más) odorivectores resulta, por lo general, menor que la suma de las intensidades de olor de sus componentes por separado, a la misma concentración (fenómeno llamado hipoadición de olores). Por el contrario, la intensidad de pungencia de una mezcla de dos irritantes resulta, por lo general, igual (adición simple de pungencia) o, en ciertas circunstancias, aún mayor (hiperadición) que la suma de las intensidades de pungencia de sus componentes por separado, a la misma concentración (Figure 3).

Figura 3

## 2) A nivel umbral

La medición de umbrales de olor para cierta sustancia o grupo de sustancias no es una tarea sencilla. Esto no sólo se debe a la dificultad para generar, controlar, cuantificar, y presentar con precisión un estímulo químico gaseoso, sino también a que la percepción clara y segura de un olor es algunas veces difícil para el propio sujeto (comparada con otras sensaciones, por ejemplo percepción de una luz o de un sonido), más aún a los bajos niveles de estimulación cerca del umbral. Los porcentajes de falsas alarmas (es decir, casos en que el sujeto afirma oler algo cuando se le presenta aire puro) son altos para el sentido del olfato, pudiendo llegar al 15%, aún cuando el sujeto recibe información sobre la exactitud de su juicio inmediato anterior ("feedback") (Engen, 1982). No sorprende entonces que las recopilaciones de umbrales de olor para una gran variedad de sustancias (Devos, Patte et al., 1990; Fazzalari, 1978) tenga una utilidad práctica cercana a nula ya que para una misma sustancia se pueden hallar valores de umbral de olor que varían en hasta seis órdenes de magnitud (ver Stevens, Cain et al., 1988; Stevens and Dadarwala, 1993).

Dado que, como se mencionó, la amplia mayoría de las sustancias estimula no sólo el olfato sino también el SQC resulta todavía más difícil medir en sujetos con olfato normal (i.e., normósmicos) un umbral de pungencia nasal que no esté influido por la presencia de olor. Como regla general, el olor de una sustancia comienza a percibirse a concentraciones menores (a veces mucho menores) que aquellas en que comienza a percibirse pungencia. En estas condiciones, los umbrales de pungencia nasal deben ser medidos con un fondo ("background") considerable de olor, lo que aumenta aún más la variabilidad de los resultados.

Con el propósito de evitar este problema, nuestra estrategia consiste en medir umbrales de percepción nasal para compuestos químicos en sujetos que, de acuerdo al resultado de pruebas olfatorias estandarizadas (Cain, 1989), carecen de un sentido del olfato funcional (i.e., anósmicos). Los anósmicos sólo pueden detectar a través de la nariz la presencia de una sustancia en el aire cuando ésta estimula el SQC ya que carecen del sentido del olfato. De esta manera, los umbrales nasales obtenidos con anósmicos reflejan umbrales "puros" de pungencia sin ninguna interferencia olfatoria. Por otra parte — dado que no se ha hallado todavía ninguna sustancia para la que los anósmicos tengan un umbral menor o, siquiera, igual que los normósmicos — es razonable asumir que cuando un normósmico recién comienza a detectar la presencia de algún compuesto en el aire (umbral nasal), la estimulación es sólo olfatoria y no trigeminal (pungente). Así, la medición de umbrales de percepción nasal refleja umbrales de olor cuando se realiza en normósmicos, y umbrales de pura pungencia cuando se realiza en anósmicos.

Esta selección de dos grupos de sujetos con el fin de obtener una separación funcional entre umbrales de olor y de pungencia ha sido complementada con una selección de las sustancias a estudiar. Con el fin de relacionar la respuesta sensorial con la estructura y propiedades fisicoquímicas de los estímulos, hemos elegido para estudiar series homólogas de compuestos. Estas han incluido: n-alcoholes (Cometto-Muñiz and Cain, 1990), ésteres (acetatos) (Cometto-Muñiz and Cain, 1991), cetonas (Cometto-Muñiz and Cain, 1993), y alquilbenzenos (Cometto-Muñiz and Cain, 1994b). Otros compuestos misceláneos de interés incluyeron: alcohol  $\beta$ -fenil etílico, piridina, y mentol (Cometto-Muñiz and Cain, 1990); alcoholes y acetatos secundarios y terciarios (Cometto-Muñiz and Cain, 1993); 1-octeno, 1-octino, y clorobenceno (Cometto-Muñiz and Cain, 1994b).

Los resultados muestran que tanto el umbral de olor como el de pungencia disminuye a medida que progresa la serie homóloga (Figura 4). Dicha disminución, sin embargo, no es igual para los dos sentidos. El umbral de olor tiende a disminuir más empinadamente que el de pungencia, por lo menos para los tres o cuatro primeros miembros de cada serie. Excepto los alcoholes, las otras tres series muestran que el umbral de olor alcanza un "plateau". El umbral de pungencia, por su parte, en vez de alcanzar un plateau, comienza a desaparecer. Esto significa que, a partir de un cierto miembro de cada serie homóloga (i.e., 1-octanol para los alcoholes; acetato de octilo para los acetatos; 2-nonanona para las cetonas y propilbenzeno para los alquilbenzenos) los anósmicos tienen dificultad para percibir pungencia nasal, aún frente al compuesto puro (i.e., sin diluir). Es por ello que, en la Figura 4, no aparecen los valores de umbral de pungencia para algunos compuestos (éstos involucran siempre, sin excepción, los miembros de más alto peso molecular).

Figura 4

#### Sensibilidad relativa del SQC en las mucosas nasal y ocular

Un aspecto que tiene interés tanto práctico como teórico es la comparación de la sensibilidad química común en dos mucosas como la nasal y la ocular que están irrigadas por ramas diferentes del mismo nervio trigémino, pero cuyas células epiteliales son distintas, así como la capa de mucus y secreciones que las cubre.

En una investigación reciente hemos comparado los umbrales de irritación ocular con los de pungencia nasal para algunas de las sustancias mencionadas, empleando técnicas similares de presentación del estímulo y



de cálculo del umbral (Cometto-Muñiz and Cain, 1995b). Los resultados muestran una marcada similitud en los valores de estos dos umbrales sensoriales, indicando que, en una primera aproximación, se puede estimar la potencia de un compuesto para producir pungencia nasal basándose en su potencia como irritante ocular (Figura 5).

Figura 5

### Consecuencias prácticas en ambientes interiores contaminados

En la práctica, las personas están expuestas por lo general a mezclas complejas de docenas (y aún centenas) de sustancias químicas emitidas por materiales como pinturas, alfombras, muebles, cortinas, etc. Cuando una sola sustancia (por ejemplo, formaldehído) es responsable de la aparición de irritación sensorial en algunas de las personas que ocupan el ambiente, el problema es fácil de solucionar. Desafortunadamente, en la mayoría de los casos no es así, y las docenas de compuestos orgánicos volátiles (VOCs, del inglés: "volatile organic compounds") presentes se encuentra en niveles bien por debajo aún del umbral de olor.

Esto hace imprescindible el estudio sistemático de umbrales de olor, pungencia nasal, e irritación ocular para mezclas de sustancias químicas. Una investigación reciente del umbral de olor para una mezcla de tres componentes halló un resultado de aditividad completa. Esto significa que, cuando la mezcla alcanzó el umbral de olor, la concentración de cada componente (medida por cromatografía gaseosa) era apenas un tercio de la concentración umbral de olor de esos mismos componente por separado (Patterson, Stevens et al., 1993).

Investigaciones en desarrollo en nuestro laboratorio sobre umbrales de olor, pungencia nasal, e irritación ocular para mezclas de 3, 6, y 9 componentes indican que el grado de aditividad sensorial entre los componentes de dichas mezclas se hace mayor a medida que la mezcla se hace más compleja, particularmente para irritación ocular (Cometto-Muñiz and Cain, 1997).

De confirmarse estos resultados no sorprende que en ambientes interiores, donde docenas de VOCs están presentes, se pueda precipitar irritación sensorial aún cuando cada uno de estos compuestos, individualmente, se encuentre muy por debajo de su umbral de pungencia y aún por debajo de su umbral de olor (Cometto-Muñiz and Cain, 1994a).

Finalmente, cabe señalar que las concentraciones umbrales de olor, pungencia nasal, e irritación ocular obtenidas en la mayoría de estas

investigaciones se han observado empleando el muy utilizado método de botellas plásticas comprimibles. El método es simple, efectivo, y reproducible, pero no necesariamente representa, en valores absolutos, los resultados que se puedan obtener en condiciones más realistas de exposición de sujetos, como, por ejemplo, cámaras ambientales (del tamaño de una habitación) donde el estímulo químico se encuentra distribuido en la totalidad del aire ambiental que respira el sujeto. Nuestros resultados preliminares indican que los umbrales sensoriales medidos en estas condiciones realistas (cámaras ambientales) pueden ser mucho menores que los obtenidos de las botellas, aunque la efectividad relativa de las sustancias entre sí no varíe entre las dos condiciones de presentación (i.e., una sustancia A con un umbral de olor mucho más bajo que otra sustancia B — ambos umbrales medidos con las botellas para olfatear — también tiene un umbral de olor mucho más bajo que B cuando las respuestas se miden en cámara ambiental).

### Agradecimientos

Este artículo fue preparado con apoyo del subsidio N° DC00284 de National Institutes of Health (NIH), USA.

## Referencias

1. Berglund, B. and H. Shams Esfandabad. (1992a). A bisensory method for detection of odorous irritants. In G. Borg and G. Neely (Ed.) Fechner Day '92. Stockholm, International Society for Psychophysics, pp. 15-20.
2. Berglund, B. and H. Shams Esfandabad. (1992b). Humans as discerners of odor and irritation. In G. Borg and G. Neely (Ed.) Fechner Day '92. Stockholm, International Society for Psychophysics, pp. 21-26.
3. Cain, W. S. (1976). "Olfaction and the common chemical sense: some psychophysical contrasts". Sens. Process **1**: 57-67.
4. Cain, W. S. (1989). "Testing olfaction in a clinical setting". ENT J. **68**: 316-328.
5. Cain, W. S., L. C. See and T. Tosun. (1986). Irritation and odor from formaldehyde: Chamber studies. In IAQ'86. Managing Indoor Air for Health and Energy Conservation, pp. 126-137. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, Georgia, USA.
6. Cometto-Muñiz, J. E. (1986). Percepción de estímulos químicos irritantes aislados y en mezclas binarias. Tesis de Doctorado. Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires.
7. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1982). "Perception of nasal pungency in smokers and nonsmokers". Physiol. Behav. **29**: 727-731.
8. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1984). "Temporal integration of pungency". Chem. Senses **8**: 315-327.
9. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1990). "Thresholds for odor and nasal pungency". Physiol. Behav. **48**: 719-725.
10. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1991). "Nasal pungency, odor, and eye irritation thresholds for homologous acetates". Pharmacol. Biochem. Behav. **39**: 983-989.
11. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1992). "Sensory irritation. Relation to indoor air pollution". Ann. N. Y. Acad. Sci. **641**: 137-151.
12. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1993). "Efficacy of volatile organic compounds in evoking nasal pungency and odor". Arch. Environ. Health **48**: 309-314.

13. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1994a). "Perception of odor and nasal pungency from homologous series of volatile organic compounds". Indoor Air **4**: 140-145.
14. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1994b). "Sensory reactions of nasal pungency and odor to volatile organic compounds: The alkylbenzenes". Am. Ind. Hyg. Assoc. J. **55**: 811-817.
15. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1995a). Olfactory adaptation. In R. L. Doty (Ed.) Handbook of Olfaction and Gustation. New York, Marcel Dekker, Inc., 257-281.
16. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1995b). "Relative sensitivity of the ocular trigeminal, nasal trigeminal, and olfactory systems to airborne chemicals". Chem. Senses **20**: 191-198.
17. Cometto-Muñiz, J. E. and W. S. Cain. (1997). "Agonistic sensory effects of airborne chemicals in mixtures: Odor, nasal pungency, and eye irritation". Percept. Psychophys. (in press).
18. Cometto-Muñiz, J. E., M. R. García-Medina and A. M. Calviño. (1989). "Perception of pungent odorants alone and in binary mixtures". Chem. Senses **14**: 163-173.
19. Cometto-Muñiz, J. E., M. R. García-Medina, A. M. Calviño and G. Noriega. (1987). "Interactions between CO<sub>2</sub> oral pungency and taste". Perception **16**: 629-640.
20. Cometto-Muñiz, J. E. and S. M. Hernández. (1990). "Odorous and pungent attributes of mixed and unmixed odorants". Percept. Psychophys. **47**: 391-399.
21. Cometto-Muñiz, J. E. and G. Noriega. (1985). "Gender differences in the perception of pungency". Physiol. Behav. **34**: 385-389.
22. Devos, M., F. Patte, J. Rouault, P. Laffort and L. J. Van Gemert (Eds.) (1990). Standardized Human Olfactory Thresholds. Oxford, IRL Press at Oxford University Press.
23. Dunn, J. D., J. E. Cometto-Muñiz and W. S. Cain. (1982). "Nasal reflexes: Reduced sensitivity to CO<sub>2</sub> irritation in cigarette smokers". J. appl. Toxicol. **2**: 176-178.

24. Engen, T. (1982). The Perception of Odors. New York, Academic Press.
25. Fazzalari, F. A. (Ed.) (1978). Compilation of odor and taste threshold values data. Baltimore, American Society for Testing and Materials.
26. García-Medina. (1987). Métodos para la detección y estudio de las alteraciones del olfato. Tesis de Doctorado. Facultad de Medicina, Universidad de Buenos Aires.
27. García-Medina, M. R. and W. S. Cain. (1982). "Bilateral integration in the common chemical sense". Physiol. Behav. **29**: 349-353.
28. Green, B. G. (1992). "The effects of temperature and concentration on the perceived intensity and quality of carbonation". Chem. Senses **17**: 435-450.
29. Guirao, M. (1980). Los Sentidos, Bases de la Percepción. Madrid, Editorial Alhambra, S.A.
30. Mølhave, L. (1992). "Controlled experiments for studies of the sick building syndrome". Ann. N. Y. Acad. Sci. **641**: 46-55.
31. Patterson, M. Q., J. C. Stevens, W. S. Cain and J. E. Cometto-Muñiz. (1993). "Detection thresholds for an olfactory mixture and its three constituent compounds". Chem. Senses **18**: 723-734.
32. Stevens, J. C., W. S. Cain and R. J. Burke. (1988). "Variability of olfactory thresholds". Chem. Senses **13**: 643-653.
33. Stevens, J. C. and A. D. Dadarwala. (1993). "Variability of olfactory threshold and its role in assessment of aging". Percept. Psychophys. **54**: 296-302.
34. Yau, N. J. and M. R. McDaniel. (1990). "The power function of carbonation". J. Sens. Stud. **5**: 117-128.
35. Yau, N. J. and M. R. McDaniel. (1991). "The effect of temperature on carbonation perception". Chem. Senses **16**: 337-348.

### Leyenda de las Figuras

Figura 1. Funciones psicofísicas para el olor y la pungencia nasal del amoníaco. Las barras indican el error estándar.

Figura 2. Intensidad nasal total percibida del butirato de isoamilo y del amoníaco (media geométrica  $\pm$  error estándar) en función de la duración de la inhalación. De arriba hacia abajo, las concentraciones empleadas fueron 71.9, 24.8, y 9.6 ppm, respectivamente, de butirato de isoamilo, y 434, 225, 99, y 47 ppm, respectivamente, de amoníaco.

Figure 3. Relación entre la intensidad nasal percibida de cada una de 16 mezclas binarias de amoníaco y formaldehído y la suma de las intensidades percibidas de los componentes de dichas mezclas para los siguientes atributos: (A) intensidad nasal total, (B) intensidad de olor y (C) intensidad de pungencia. La línea punteada representa la función de identidad (pendiente = 1.00 y coeficiente de correlación ( $r$ ) = 1.00). Las funciones obtenidas experimentalmente obedecen a las siguientes ecuaciones: (A)  $y = 1.00x - 4.78$ ,  $r = 0.97$ ; (B)  $y = 0.29x + 2.69$ ,  $r = 0.50$ ; y (C)  $y = 1.30x - 2.07$ ,  $r = 0.97$ .

Figure 4. Umbrales de pungencia nasal (cuadrados llenos) y de olor (cuadrados vacíos) para series homólogas de alcoholes, acetatos, cetonas, y alquilbenzenos. Sólo los miembros no-ramificados de cada serie están unidos por una línea. Las barras indican la desviación estándar.

Figura 5. Umbrales de irritación ocular (triángulos) y de pungencia nasal (cuadrados) para miembros de series homólogas de alcoholes, acetatos, cetonas, y alquilbenzenos. Las barras indican la desviación estándar.

FIGURE 1

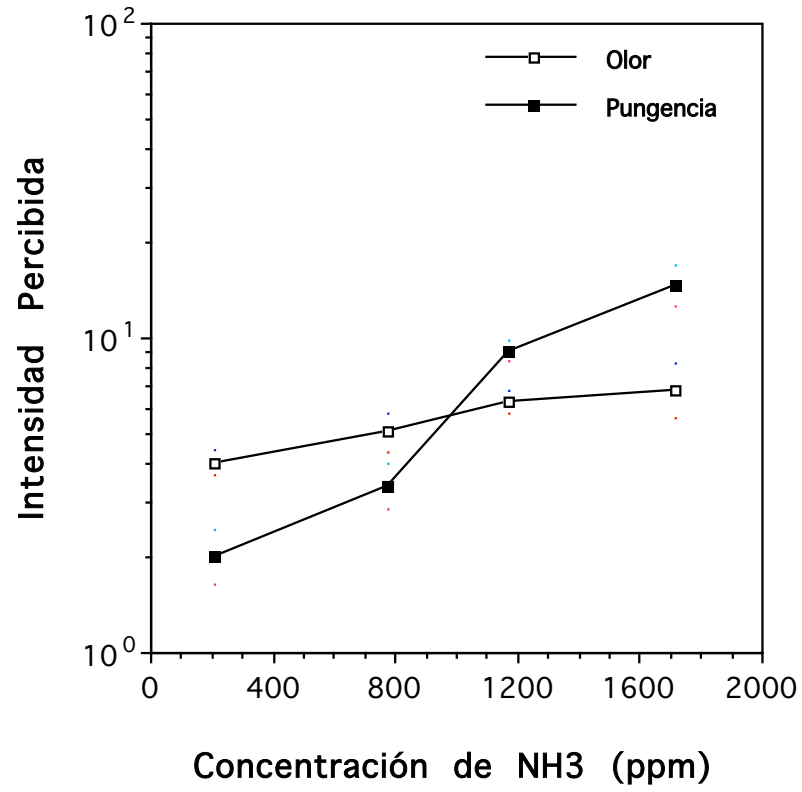




FIGURE 2 (Not included)

FIGURE 3 (Not included)

FIGURE 4

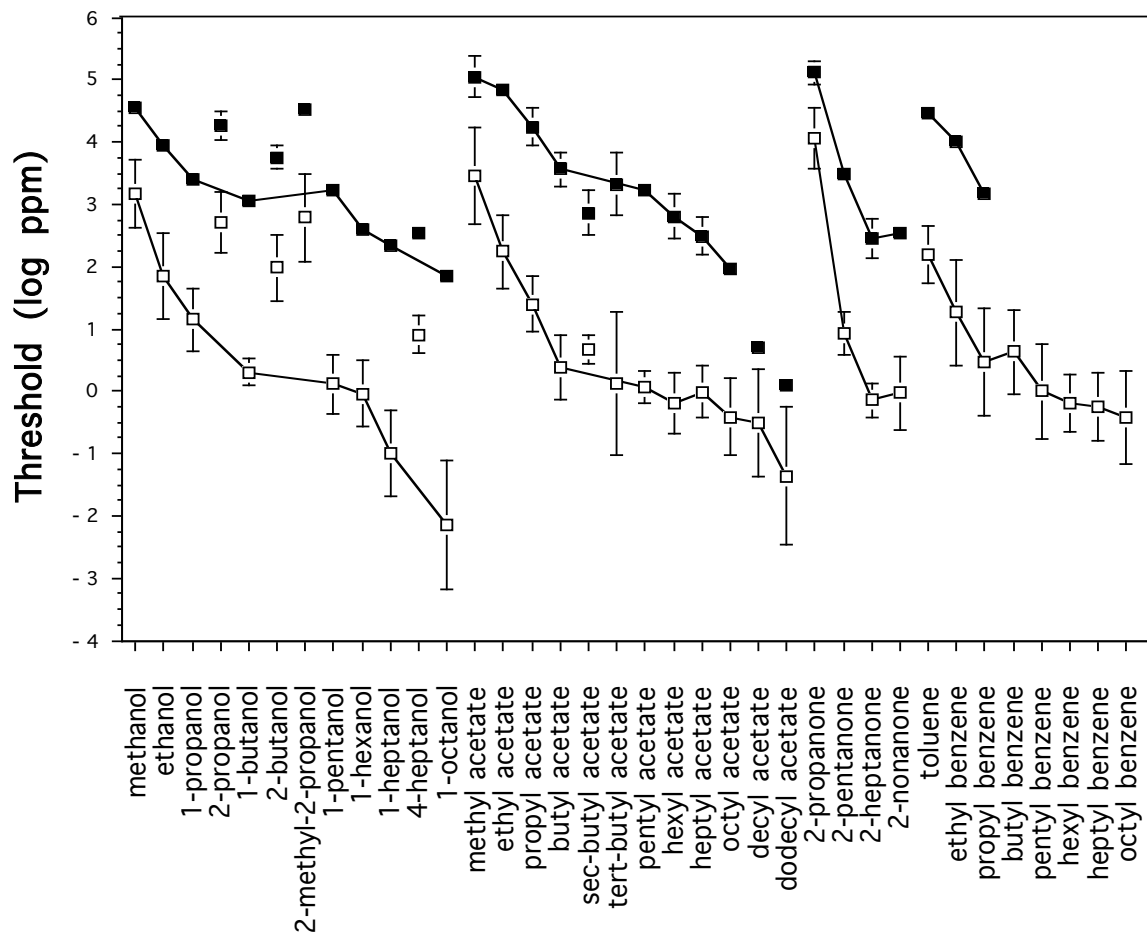


FIGURE 5

