

UC San Diego

UC San Diego Previously Published Works

Title

Percepción de Estímulos Químicos Irritantes Aislados y en Mezclas Binarias (Perception of Irritant Chemical Stimuli Singly and in Binary Mixtures).

Permalink

<https://escholarship.org/uc/item/1vv7k6sv>

Author

Cometto-Muñiz, J E

Publication Date

1986

Peer reviewed

UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUIMICA

LABORATORIO DE INVESTIGACIONES SENSORIALES

(CONICET - ESCUELA DE SALUD PUBLICA, FACULTAD DE MEDICINA, U.B.A.)

TESIS:

PERCEPCION DE ESTIMULOS QUIMICOS IRRITANTES

AISLADOS Y EN MEZCLAS BINARIAS

AUTOR: BIOQ. JORGE ENRIQUE COMETTO MUÑIZ

DIRECTOR DE TESIS: PROF. DR. ENRIQUE A. SAVINO

Perception of Irritant Chemical Stimuli Singly and in Binary Mixtures

Abstract

Section I of this Thesis presents the stimulus-response (i.e., psychophysical) functions for the total nasal perceived intensity of two pungent odorants, formaldehyde and ammonia, presented either alone or mixed with varying concentrations of the other irritant. Stimuli comprised formaldehyde at 1.0, 3.5, 6.9, and 16.7 ppm; ammonia at 210, 776, 1,172, and 1,716 ppm; and their 16 binary mixtures. At low, medium, and high concentrations within the ranges selected, the total perceived intensity of the mixtures was, respectively, significantly lower than (hypoadditivity), equal to (simple additivity), and greater than (hyperadditivity) the sum of the intensities of its individual components. In Section II, subjects were again asked to rate the total nasal perceived intensity of the previous stimuli, but now they also rated the olfactory (i.e., odor) and the trigeminal (i.e., pungency or irritation) attributes of the evoked sensations. Psychophysical functions for pungency were steeper than those for odor. Furthermore, odor was always hypoadditive in mixtures, whereas pungency was, mainly, additive, and even reached hyperadditivity. Total nasal perceived intensity of the stimuli, singly and in mixtures, followed the stimulus-response patterns for pungency, which, therefore, emerged as the dominating attribute used by the subjects to rate the explored range of concentrations. In turn, the relationship between total nasal perceived intensity of the mixtures and the sum of the intensities of their components reflected hypoadditivity, resembling the outcome for the odor attribute.

Keywords: Olfaction; Nasal Irritation; Formaldehyde; Ammonia; Odor and Irritation Psychophysical Functions; Odor mixtures; Irritant mixtures.

Dedico esta Tesis de Doctorado, con mucho cariño:

A mi madre, quien con su esfuerzo y trabajo
hizo posible mi formación profesional.

A mi esposa, Adriana, y mis hijos: Carolina,
Lucas y Tomás.

Agradecimientos

Son muchas las personas a las que debo agradecer por la dedicación y el esfuerzo desarrollados en favor de mi educación y formación, comenzando por mis maestros y profesores.

Quiero expresar mi particular agradecimiento a la Dra. Miguelina Guirao, Directora del Laboratorio de Investigaciones Sensoriales (LIS), por haberme iniciado en la fascinante tarea de la Investigación Científica. Agradezco al Prof. Dr. William S. Cain del John B. Pierce Foundation Laboratory de la Yale University, U.S.A., quien me brindó, durante los dos años de trabajo en Yale, su extraordinaria calidez humana y su sólida formación científica general y en nuestra especialidad: los sentidos químicos.

También quiero agradecer al Dr. Enrique A. Savino, Profesor de Fisiología Humana en la Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, quien, generosamente, aceptó dirigir la presente tesis; y al Dr. Jorge A. Brioux por su continuado apoyo y consejo en las tareas del laboratorio.

Agradezco a la Lic. Delia Garrido, Profesora de Matemáticas y Bioestadística en la Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, por su asesoramiento sobre el análisis estadístico de los resultados.

Finalmente, deseo expresar mi gratitud a mis colegas investigadores, la Médica María Rosa García Medina y la Bioq. y Farm. Amalia M. Calviño, con quienes me inicié en el estudio de la percepción de olores, gustos y sabores; y a la Lic. Susana M. Hernández, por su colaboración en varios de los experimentos aquí descriptos.

Esta investigación fue financiada, en parte, a través de un subsidio otorgado al proyecto N° 9082-03 por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), República Argentina.

I N D I C E

	<u>Página</u>
I. <u>INTRODUCCION</u>	1
a) Características del Sentido Químico Común (SQC).....	1
b) Funciones del Sentido Químico Común (SQC).....	7
c) Percepción de Estímulos Químicos Aislados y en Mezclas....	9
- Mezclas de Sustancias Sápidas.....	10
- Mezclas de Odorivectores.....	14
- El Modelo Vectorial.....	16
- Interacciones Olfativo-Gustativas.....	18
- Interacciones Olfativo-Pungentes.....	20
- Interacciones Gustativo-Pungentes.....	22
- Mezclas de Irritantes.....	24
II. <u>PARTE EXPERIMENTAL</u>	28
a) Materiales y Métodos.....	28
a.1.) Estímulos.....	28
a.2.) Olfatómetro.....	31
a.3.) Sujetos.....	33
a.4.) Procedimiento.....	33
b) Sección I: Funciones de Estímulo-Respuesta para la Intensi- dad Total Percibida de Distintas Concentraciones de Amonfa- co, de Formaldehído y de sus Mezclas Binarias.....	35
b.1.) Sujetos.....	35

	<u>Página</u>
b.2.) Procedimiento.....	35
b.3.) Resultados.....	36
b.4.) Discusión.....	50
c) Sección II: Contribución Relativa del Olor y de la Pungencia a la Intensidad Total Percibida de Varias Concentraciones de Amoníaco, de Formaldehído y de sus Mezclas Binarias	64
c.1.) Sujetos.....	64
c.2.) Procedimiento.....	64
c.3.) Resultados.....	65
c.4.) Discusión.....	79
III. <u>DISCUSION GENERAL</u>	89
IV. <u>CONCLUSIONES</u>	99
V. <u>APENDICE</u> . Nomenclatura y Fórmula Empírica de los Compuestos Químicos Mencionados en el Texto de la Tesis.....	102
VI. <u>RESUMEN</u>	105
VII. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	109

I) INTRODUCCION

a) Características del sentido químico común (SQC)

La detección de agentes químicos (y físicos) irritantes en el aire del ambiente por los seres humanos se realiza a través de las mucosas de la cara: conjuntiva, mucosas nasal, bucal y faríngea. Generalizando, todo epitelio mucoso tiene sensibilidad química, al igual que la piel, por debajo de la epidermis (Keel, 1962).

El canal sensorial que recoge esta información química del medio se denomina sentido químico común (SQC) y constituye, junto con el olfato y el gusto, el grupo de los sentidos químicos (Moncrieff, 1967). Sin embargo, la información existente sobre el SQC es mucho menor que sobre los otros dos sentidos. Esto quizás se debe al hecho de que las funciones de la olfacción y gustación se conocen y han sido estudiadas desde hace mucho tiempo, estando los estímulos a los cuales ellos responden considerablemente caracterizados e identificados. No sucede lo mismo con las funciones del SQC ni con los estímulos a los cuales éste responde. Por otra parte, debe mencionarse que existe una íntima relación y una importante interacción entre el SQC y el olfato, así como entre el SQC y el gusto, lo que hace sumamente difícil estudiar uno de estos sentidos totalmente libre de la influencia del otro (Moulton, 1967; Harper y col., 1968).

El SQC presenta algunas características diferenciales respecto del olfato y el gusto. Los receptores de esta modalidad sensorial están constituidos por terminaciones nerviosas libres, principalmente del V par craneano o nervio trigémino (Parker, 1922), a diferencia de las estructuras especializadas que reciben las informaciones olorosas y gustativas, es decir, las neuronas olfatorias y los botones gustativos (Beidler, 1965). E

xisten terminaciones nerviosas libres del trigémino en la lámina propia y en los estratos epiteliales que recubren la nariz y la boca (Cauna y col., 1969). La cavidad nasal está inervada por porciones de las ramas etmoidal y nasopalatina del nervio trigémino, mientras la lengua y el piso de la boca lo están por la rama lingual, el paladar duro por fibras de las ramas nasopalatina y anterior, y el paladar blando por fibras de la rama posterior. La sensibilidad química común (Cain, 1980) también abarca las áreas oral posterior, faríngea, laríngea y traqueal, siendo los receptores en estas áreas terminaciones nerviosas libres del IX par craneano (nervio glossofaríngeo) y del X par craneano (nervio vago).

Las sensaciones químicas comunes (o trigeminales, como también se las llama) cubren un amplio espectro de cualidades, pueden ser denominadas con el término general de pungentes y comprenden: irritación, cosquilleo, frescor, ardor, punzadura, quemazón y picazón, entre otras (Katz y Talbert, 1930; Elsberg y col., 1935; Moncrieff, 1955; Doty, 1975; Cain, 1976, 1981; Doty y col., 1978).

El término pungente en castellano significa "lo que punge" (Diccionario de la Lengua Española, Real Academia Española, Madrid, 1970), es decir, lo que hiere de punta o punza. En el presente trabajo se lo utiliza con un significado más cercano al utilizado en el idioma inglés para la palabra equivalente, "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 otra parte, el término "pungency" (que se traduciría como "pungencia") significa "propiedad aguijoneante, irritante, cáustica" muchas veces referida a los sentidos químicos (The Oxford Universal Dictionary, Oxford, 1955).

Entre las propiedades a estudiar del SQC, como en todo sistema sensorial en general, cabe destacar las características temporales y las espaciales. Veremos enseguida que estas características han sido estudiadas, fundamentalmente, desde un punto de vista comparativo entre el SQC y el olfato.

Las características temporales influyen en la cantidad (magnitud) y en la cualidad (clase) de la sensación. Las más importantes de estas propiedades son: 1) Adaptación: implica una disminución de la sensibilidad sensorial con el tiempo de estimulación. Esto se traduce en un aumento del umbral (o mínima cantidad percibida) y una disminución de la intensidad de las sensaciones supraumbrales. 2) Adición o Integración temporal: es el fenómeno opuesto a la adaptación, ya que provoca un aumento de la sensibilidad con el tiempo de estimulación. 3) Tiempo de reacción: se refiere al tiempo que tarda el estímulo en producir la sensación. 4) Persistencia: consiste en el tiempo que transcurre desde que se suprime el estímulo hasta que desaparece la sensación.

Al hablar de tiempo de estimulación (o tiempo de presentación del estímulo) en relación a los sentidos químicos, nos referimos a tiempo de inhalación u "olfateo" para el olfato y a tiempo de degustación para el gusto. Con respecto al SQC, dada su ubicación tanto en la cavidad nasal como en la bucal, se aplican los dos términos, dependiendo del sitio en que se presenta la sustancia pungente.

Las características temporales de la respuesta del olfato y del SQC al ser estimulados son distintas. Empleando n-butanol como estímulo, se encontró que el atributo oloroso propiamente dicho de esta sustancia es percibido antes que el atributo pungente o irritante, aún cuando ambos atributos sean iguales en intensidad percibida (Cain; 1976). En esta misma investiga

ción, también se demostró que inhalaciones repetidas del n-butanol hacen disminuir ligeramente la magnitud percibida de olor, pero producen un aumento importante en la magnitud de irritación percibida. A modo de aclaración, cabe mencionar que, como se verá más adelante, muchos estudios realizados sobre el olfato y el SQC han utilizado n-butanol como estímulo. Esto, en parte, se debe al hecho de que, en cierto momento, se postuló emplear este odorivector como referencia en el desarrollo de un procedimiento estándar para expresar la intensidad de olor de cualquier odorivector o grupo de odorivectores (Moskowitz y col., 1974).

Con relación a la adición temporal en el SQC, Elsberg y colaboradores (1935) notaron que la pungencia provocada por una corriente de aire odoriado y seco, impulsado hacia adentro de las fosas nasales de los sujetos, se incrementaba en intensidad durante los primeros 20 seg aproximadamente. Entre las sustancias empleadas, algunas tienen carácter fuertemente trigeminal (amoníaco, benzaldehído, mentol) mientras que otras no tienen dicho carácter (café, cetona almizclada, fenil-etil-alcohol). De todos modos, cabe destacar que el procedimiento empleado puede haber provocado pungencia simplemente a través del progresivo aumento de sequedad del tejido mucoso.

Posteriores investigaciones (Cain, 1981; Cain y col., 1984; Cometto-Muñiz y Cain, 1984) confirmaron estas diferencias en propiedades temporales entre olfato y SQC, concluyendo que las sensaciones químicas comunes tardan más en iniciarse (mayor tiempo de latencia), pero duran más, y son más resistentes a la adaptación que las sensaciones olfativas. A modo de ejemplo se puede mencionar que, cuando las cualidades de olor y pungencia de una misma sustancia presentan igual magnitud percibida, el olor será percibido primero, con una diferencia de, aproximadamente, 800 - 1000 mseg (Cain y col., 1984). Estos resultados son compatibles con los hallaz

gos anatómicos que se mencionaron antes sobre la ubicación (profundidad relativa) de los receptores de ambas modalidades: las cilias de las neuronas olfatorias, que yacen sobre el epitelio y las terminaciones nerviosas trigeminales, que yacen dentro del epitelio. Esta diferencia en profundidad también podría explicar los distintos grados de integración temporal entre olor y pungencia: aunque el olor puede mostrar cierto grado de integración temporal para duraciones muy cortas (deVries y Stuiver, 1961), la pungencia muestra una marcada integración en el curso de varios segundos (Cain y col., 1984; Cometto-Muñiz y Cain, 1984). Estos experimentos llevan a la conclusión de que, para una estimulación en el orden de varios segundos, el SQC se comporta como un detector de masa total más que de concentración.

Además de las propiedades temporales del SQC y del olfato, también se han estudiado las propiedades espaciales de estos dos sentidos. Por propiedades espaciales nos referimos, principalmente, al grado de integración bilateral entre ambas fosas nasales. Cain (1977) concluyó que existe una considerable interacción bilateral en el sistema del olfato. Esta interacción se reveló en la existencia de aditividad bilateral de la intensidad olorosa, y en la influencia de un estímulo adaptante, presentado unilateralmente, sobre la fosa nasal contralateral. El odorivector empleado fue el n-butanol, y los resultados mostraron que concentraciones del odorante inhaladas dirrínicamente (la misma concentración en cada fosa nasal) se percibían, aproximadamente, un tercio más intensas que cuando se inhalaban monorrínicamente. A su vez, concentraciones inhaladas dicorrínicamente (distintas concentraciones en cada fosa nasal) seguían una regla de adición vectorial de la masa del estímulo y, como en el caso dirrínico, implicaba una considerable integración bilateral. Este modelo de adición vectorial, que más adelante veremos aplicado a la percepción de mezclas de

odorivectores, de mezclas de sustancias sápidas y de interacciones olfa-
to-gustativas, puede ser descrito por la fórmula:

$$\varnothing_{a b} = (\varnothing_a^2 + \varnothing_b^2 + 2k \varnothing_a \varnothing_b)^{1/2} \quad (A)$$

donde $\varnothing_{a b}$ es la masa total del odorivector, \varnothing_a y \varnothing_b son las masas del o-
dorivector presentadas a cada fosa nasal, y k es una constante equivalen-
te al coseno del ángulo que forman los dos vectores (ángulo cuyo valor es
empírico y cuyo significado no está aún determinado) y que en el caso del
n-butanol vale 0.5, siendo por lo tanto el ángulo de 60°.

En cuanto al SQC, empleando dióxido de carbono, CO_2 , como estímulo,
se encontró que también el modelo de adición vectorial era aplicable a
los datos obtenidos experimentalmente (García-Medina y Cain, 1982). En es-
te caso, para el CO_2 (irritante), el valor de la constante k en la ecua-
ción (A) fue 0 (lo que corresponde a un ángulo de 90°), por lo que dicha
expresión queda:

$$\varnothing_{a b} = (\varnothing_a^2 + \varnothing_b^2)^{1/2} \quad (B)$$

Esto implicaría que la adición espacial en el olfato es mayor que en
el SQC, por lo menos para los estímulos empleados.

La existencia de adición espacial parcial tanto en el olfato como en
el SQC sugiere algún grado de interacción antagonística entre los dos la-
dos de la línea media. Esto significa que la presentación de un estímulo
muy intenso en uno de los lados parece contribuir desproporcionadamente a
la magnitud total y, por lo tanto, inhibir o enmascarar la magnitud perci-
bida de un estímulo en el otro lado. Esta interacción inhibitoria se da
también entre el olfato y el SQC, es decir cuando se presenta un odorivec-
tor por una fosa nasal y un irritante por la otra (Cain y Murphy, 1980).
Este fenómeno se detallará más adelante bajo el título: Interacciones ol-

fativo-pungentes.

b) Funciones del sentido químico común (SQC)

Algunos investigadores sugirieron o concluyeron que el SQC es simplemente un sistema detector de dolor (Pfaffman, 1951; Jones, 1954). Sin embargo, muchas de las interacciones del SQC con el olfato han sido descritas para sustancias y concentraciones de ellas que no eran irritantes. Por ejemplo, Cain (1974 a) encontró un importante componente trigeminal en la intensidad percibida de odorivectores a concentraciones de éstos que eran decididamente no nocivas. Más aún, experimentos electrofisiológicos han demostrado que es posible registrar actividad trigeminal como respuesta a la estimulación con compuestos y concentraciones de ellos consideradas como no irritantes (Beidler y Tucker, 1956; Tucker, 1961, 1963, 1971; Silver y Moulton, 1982). El hecho de que se haya medido actividad eléctrica del nervio trigémino sin que se advierta correlativamente algún indicio de sensación pungente nos hace concluir que el criterio psicofísico para diferenciar estimulación olfatoria de estimulación trigeminal, basado en la percepción por sujetos humanos de algunas de las cualidades antes mencionadas, no es exactamente coincidente con el criterio electrofisiológico, por lo menos para algunas sustancias.

La función clásica que se le atribuye al SQC es la de actuar como un sistema de alarma para detectar estímulos químicos nocivos en los ojos, nariz, boca y garganta, y como desencadenante de una serie de reflejos de protección. En general, las respuestas fisiológicas provocadas por estímulos nocivos que alcanzan la cavidad nasal incluyen: apnea, broncodilatación o broncoconstricción, bradicardia, reducción en el volumen sistólico, vasoconstricción (excepto en los capilares de la cabeza), incremento en la secreción adrenérgica, y efectos variables en la presión sanguínea

(Kratschmer, 1870; Allen, 1928, 1929 a, 1929 b; Massion y col., 1954; Alarie, 1966; Angell-James y Burgh Daly, 1969, 1972; Tomori y Widdicombe, 1969; Javorka y Tomori, 1972; Allison y col., 1974; Allison y Powis, 1976; National Research Council, 1979; Dunn y col., 1982; García-Medina y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Cain, 1984). Estos reflejos fisiológicos se acompañan, generalmente, con reflejos de escape o retirada. Se afirma que su función es la de minimizar los efectos de estímulos nocivos y proteger al sujeto de la exposición continuada a ellos. Estos reflejos se encuentran entre los más poderosos del cuerpo (Angell-James y Burgh-Daly, 1969, 1972). Mientras muchos estudios concluyen afirmando que dichos reflejos son mediados principalmente, por quimiorreceptores trigeminales (Angell-James y Burgh-Daly, 1972, 1973; White y McRitchie, 1973; McRitchie y White, 1974; National Research Council, 1979), otros sugieren que los receptores olfatorios son también capaces de mediar reflejos similares (Allen, 1929 b, 1936, 1937; Anderson, 1954; Stone y col., 1966). La estimulación con compuestos químicos nocivos por vía oral también es capaz de desencadenar reflejos trigeminales, aunque éstos no están tan profusamente documentados (Weil, 1976).

Reflejos fisiológicos similares a los trigeminales pueden ser desencadenados por estímulos nocivos o dolorosos en cualquier parte del cuerpo.

Con respecto a lo que mencionábamos antes sobre la interacción entre los sentidos químicos, se puede afirmar que la olfacción y la gustación pueden ser afectadas en forma refleja por estimulación trigeminal de varias maneras: a) la activación reticular refleja puede ocasionar cambios en el nivel de atención y en la modulación de la actividad del bulbo olfatorio (Kerr y Hagbarth, 1955; Stone y col., 1966, 1968; Stone y Rebert, 1970); b) se puede modificar el acceso de los odorivectores a los receptores nasales mediante cambios en la respiración, la secreción de mucus y

el grado de obstrucción nasal (Allen, 1937; Alarie, 1966; Angell-James y Burgh-Daly, 1969; Tucker, 1971; Ulrich y col., 1972); c) la percepción gustativa puede ser alterada por cambios en la composición de la saliva (McBurney y Pfaffman, 1963; Morino y Langford, 1978) causados por incrementos en el flujo salivar (Dawes, 1969), producidos por estimulación trigeminal tanto nasal (Elsberg y col., 1942) como bucal (Rozin y col., 1981).

Cabe señalar que Silver y Maruniak (1981) han realizado un buen trabajo de revisión sobre la quimiorrecepción trigeminal tanto oral como nasal.

c) Percepción de estímulos químicos aislados y en mezclas

Los resultados de investigaciones anteriores han señalado que las funciones estímulo-respuesta (intensidad percibida vs. concentración) obtenidas con sujetos humanos para odorivectores y compuestos sápidos siguen aproximadamente, una función de potencia (S. S. Stevens, 1960 a, 1969; Cain, 1969; Moskowitz, 1970, 1971; Berglund y col., 1971 a; Meiselman, 1971; Meiselman y col., 1972; Patte y col., 1975; Moskowitz y col., 1976; Berglund, 1977; Meiselman, 1980; Cometto-Muñiz, 1981; García-Medina, 1981 a y b; Cardello y col., 1984; Hornung y Enns, 1984; Lawless, 1984; Norwich, 1984) al igual que para muchos otros continuos sensoriales (S. S. Stevens, 1957, 1975; Guirao, 1980). Más recientemente se informó que la sensación provocada por el típico pungente CO_2 , tanto en la cavidad nasal como en la bucal, también crece como una función de potencia de la concentración de este compuesto, aunque el exponente es distinto de acuerdo al sitio de estimulación (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Por otra parte, tal como se ha mencionado, las propiedades de odorantes y sustancias sápidas, así como las características psicofisiológicas del olfato y del gusto, (ver reseña en Cometto-Muñiz, 1980) han sido más intensamente estudiadas que las propiedades del SOC y los compuestos químicos que lo estimulan.

Lawless (1984) estudió la irritación química oral, empleando las siguientes sustancias: capsaicina sintética, piperina, oleorresina del pimiento y oleorresina del jengibre. Los resultados señalaron que el crecimiento de la sensación percibida con la concentración de estos compuestos podía ser descripto por funciones de potencia, y que la disminución de dicha sensación con el tiempo era descripta por funciones de decaimiento exponencial. El pico de intensidad de la sensación estaba correlacionado con una estimulación de la velocidad de flujo salivar. El número de áreas orales irritadas se incrementaba con la concentración y disminuía con el tiempo, siendo la superficie dorsal de la lengua y los bordes de la misma las zonas que más respondían a la estimulación.

En cuanto a las funciones de estímulo-respuesta (funciones psicofísicas) para la estimulación nasal del SQC, varios trabajos señalan que, en general, crecen más empinadamente que para la estimulación olfatoria y que para la gustativa, sobre todo al emplear CO_2 como estímulo pungente (Cain, 1974 a; García-Medina y Caín, 1982; Cometto-Muñiz y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Por otra parte, al revés de lo que sucede entre gusto y olfato, donde el primero responde a la estimulación con funciones de potencia de exponentes más altos (Cometto-Muñiz, 1981), la estimulación nasal del SQC con CO_2 produce funciones psicofísicas con exponentes de alrededor de 1,6 - 1,9 para varones y 2,2 para mujeres, los cuales son mayores que los producidos por estimulación bucal con el mismo estímulo: 1,1 para varones y mujeres (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985).

Mezclas de sustancias sápidas

La mezcla de sustancias sápidas produce cambios en los gustos de esas sustancias aunque no se produzcan reacciones químicas entre ellas. Uno de los pioneros en el estudio de mezclas gustativas fue Kiesow (1896),

quien encontró que los componentes individuales podían ser identificados en mezclas de gustos, aunque la intensidad percibida de la mezcla era menor que la suma de las intensidades percibidas de sus componentes por separado, fenómeno que se ha denominado supresión. Si la intensidad de la mezcla fuera mayor que la suma de las intensidades de sus componentes se produciría sinergismo, y si fuera igual se produciría aditividad simple.

Los estudios de mezclas gustativas pueden ser divididos en aquéllos que utilizaron mezclas de sustancias de distinta cualidad gustativa (Bebe-Center y col., 1959; Fabian y Blum, 1943; Pangborn, 1960; Kamen y col., 1961; Indow, 1969; Moscowitz, 1972; Bartoshuk, 1975; Lawless, 1979, 1982; Kroeze, 1982, 1983; Gillan, 1983) y aquéllos que emplearon mezclas de sustancias de similar cualidad gustativa (Cameron, 1947; Stone y Oliver, 1969; Yamaguchi y col., 1970; Moskowitz, 1974 a, 1974 b; Bartoshuk y Cleveland, 1977; Curtis y col., 1984; Frijters y col., 1984).

Moscowitz (1972, 1973 a, 1974 a, 1974 b) postuló que la regla que gobernaba la intensidad de una mezcla dependía de la semejanza en cualidad gustativa de sus componentes. De esta manera, mezclas de sustancias con cualidades gustativas similares producirían aditividad o sinergismo, mientras que mezclas de gustos disímiles producirían supresión.

Bartoshuk (1975) y Bartoshuk y Cleveland (1977) sugirieron que la relación entre la intensidad de mezclas gustativas y la de sus componentes por separado era predecible en base a la forma en que la intensidad percibida de dichos componentes aislados crecía con la concentración y no en base a las diferencias cualitativas de los componentes.

Como se mencionó antes, las funciones estímulo-respuesta o de intensidad percibida vs. concentración (llamadas funciones psicofísicas) siguen aproximadamente una función de potencia, no sólo para los sentidos quími-

cos, sino para muchas otras modalidades sensoriales (S. S. Stevens, 1957, 1975). Ahora bien, dicha función de potencia se expresa de la siguiente forma:

$$\Psi = k \cdot \varnothing^\beta \quad (1)$$

donde Ψ : intensidad percibida, \varnothing : concentración (para los sentidos químicos), k : constante de proporcionalidad y β : exponente de la función. Cabe señalar que, tomando logaritmo, esta expresión se transforma en la ecuación de una recta:

$$\text{Log } \Psi = \text{Log } k + \beta \text{Log } \varnothing$$

y β pasa a ser la pendiente de dicha recta.

Cuando el exponente β (la pendiente β en gráficos log-log) es menor que uno ($\beta < 1,0$) se dice que la función psicofísica es comprimida, ya que a cierto aumento de la concentración (e.g. x 2) se corresponde un aumento menor de la intensidad percibida (e.g. x 1,4); en el ejemplo mencionado, el exponente β sería igual a 0,5 ya que $1,4 \simeq 2^{0,5}$. Cuando es mayor que uno ($\beta > 1,0$), la función psicofísica será expandida, ya que a determinado aumento de la concentración (e.g. x 2) corresponderá un aumento mayor de la intensidad percibida (e.g. x 2,8); en el ejemplo citado, el exponente sería igual a 1,5 ya que $2,8 \simeq 2^{1,5}$. Por último, cuando β es igual a uno ($\beta = 1,0$) cualquier determinado aumento en la concentración (e.g. x 2) produce la misma magnitud de incremento en la intensidad percibida (e.g. x 2); en el ejemplo $2 = 2^1$. En este caso, la función psicofísica es lineal. La Figura 1 muestra tres hipotéticas funciones psicofísicas gustativas: una comprimida ($\beta < 1,0$), otra lineal ($\beta = 1,0$) y otra expandida ($\beta > 1,0$).

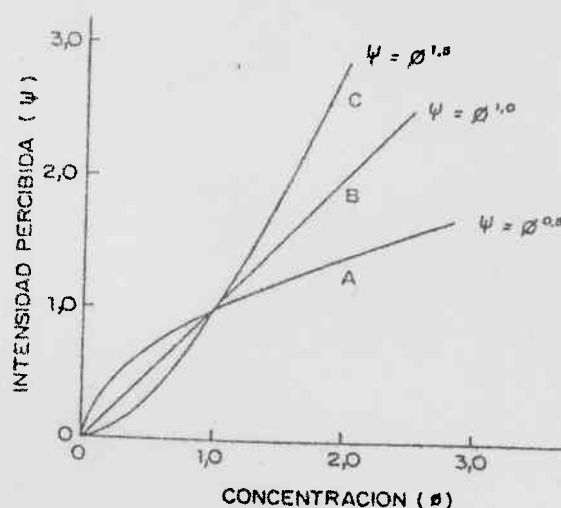


Figura 1. Funciones de potencia que muestran la intensidad percibida de gusto en función de la concentración para tres sustancias sápidas hipotéticas: A, B y C. La función para A muestra compresión y la función para C muestra expansión. (Tomado de Bartoshuk, 1975).

veland (1977) establece que las mezclas de compuestos sápidos cuyas funciones psicofísicas sean comprimidas exhibirán supresión, las mezclas de compuestos sápidos cuyas funciones psicofísicas sean expandidas exhibirán sinérgismo y, finalmente, las mezclas de sustancias cuyas funciones psicofísicas sean lineales exhibirán aditividad simple.

De todos modos es necesario destacar que esta hipótesis no es sencilla de confirmar, ya que los exponentes de las funciones psicofísicas muestran cierta variabilidad, aún para un mismo estímulo y una misma modalidad sensorial (e.g. gusto dulce de sacarosa). Dicha variabilidad se debe en gran medida a las condiciones en que se realiza la prueba sensorial (Cain, 1969; Berglund y col., 1971 a; Smith, 1971; Meiselman y col., 1972; Moskowitz, 1973 b; Patte y col., 1975; Moskowitz y col., 1976; Bartoshuk y col., 1982). Como ejemplo de ello, se puede mencionar la diferencia en el exponente de la función psicofísica del gusto de varias sustancias cuando se emplea el procedimiento estimuladorio de "sorber y escupir" vs. cuando se emplea el procedimiento estimuladorio del "flujo

dorsal" o del "flujo bucal total" (Meiselman, 1971). Análogamente, también se producen diferencias en el exponente de la función psicofísica del olor de un mismo odorivector cuando se emplea el método de la "botella para olfatear" ("sniff bottle") vs. cuando se emplea el método de "dilución dinámica por aire" (Cain y Engen, 1969).

Mezclas de odorivectores

Antes de comentar las evidencias experimentales sobre la percepción de mezclas de olores, cabe destacar que, en teoría (Cain y Drexler, 1974), la intensidad de una mezcla de dos componentes olorosos puede resultar: 1) igual de intensa que la suma de las intensidades percibidas de sus componentes por separado, lo que significa adición completa; 2) más intensa que la suma de sus componentes, lo cual implica hiperadicción y 3) menos intensa que la suma de sus componentes, lo cual indica hipoadición. Como lo ilustra la Figura 2, podría haber tres clases de hipoadición. En la primera clase, adición parcial, la mezcla huele más intensa que el componente más fuerte aislado, pero menos intensa que la suma de los componentes. En la segunda clase, compromiso, la mezcla huele más intensa que el componente más débil aislado, pero menos intensa que el componente más fuerte aislado. En la tercera clase, compensación, la mezcla huele más débil que el más débil de los componentes tomado aisladamente.

En el terreno experimental, el fenómeno más ampliamente encontrado ha sido el de hipoadición (Zwaardemaker, 1907; Foster, 1963; Jones y Woskow, 1964; Berglund y col., 1971 c; Berglund y col., 1973 a; Berglund, 1974; Cain y Drexler, 1974; Cain, 1975; Moskowitz y Barbe, 1977; Patte y Laffort, 1979; Laffort y Dravnieks, 1982; Laing y Willcox, 1983). En particular, la clase de hipoadición más reiteradamente informada, sobre todo en estudios de intensidades olorosas supraumbrales, es la adición par-

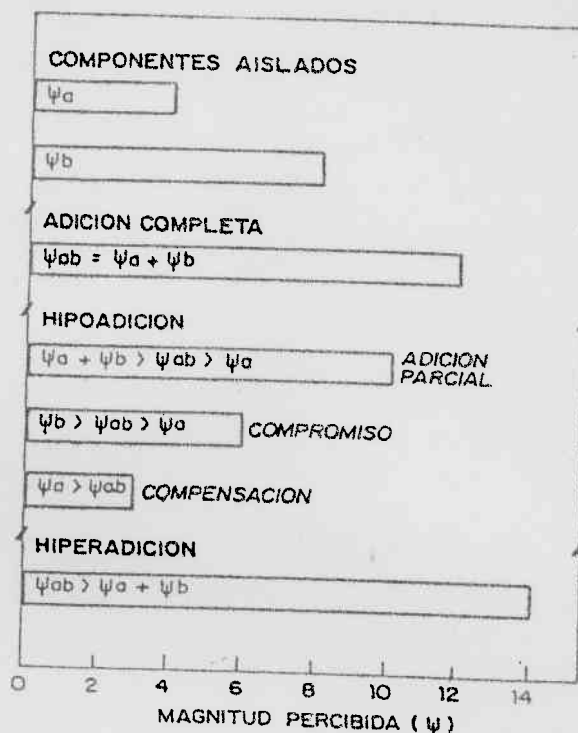


Figura 2. La magnitud percibida de olor de una mezcla de dos componentes (ψ_{ab}) puede ser igual, menor o mayor que las magnitudes percibidas de olor de sus componentes aislados (ψ_a, ψ_b). Las distintas posibilidades se muestran en la figura. Aquí, la magnitud percibida de olor del componente "a" aislado es 4, y la magnitud percibida de olor del componente "b" aislado es 8. (Tomado de Cain y Drexler, 1974).

cial. En las muchas décadas que han transcurrido desde que Zwaardemaker (1907), un verdadero pionero del estudio del olfato, informó un hallazgo de compensación, no ha habido un acuerdo general sobre su existencia. En cuanto al fenómeno de compromiso, se ha encontrado con cierta asiduidad cuando los componentes de la mezcla son muy distintos en intensidad percibida al ser olidos aisladamente, en este caso, la magnitud olorosa de la mezcla está generalmente en algún punto intermedio entre la magnitud de sus componentes (Foster, 1963; Jones y Woskow, 1964).

Algunos investigadores han encontrado adición completa (Rosen y col., 1962; Baker, 1964; Koster, 1969), mientras que la hiperadición o sinergismo parece ser un fenómeno muy raro en mezclas de olores (Koster, 1969).

El modelo vectorial

A principios de la década del 70, B. Berglund y col. (1971 c, 1973 a, 1973 b) desarrollaron un modelo que permitía conocer la intensidad olorosa de una mezcla binaria de odorivectores, conociendo las intensidades de sus componentes, a la misma concentración, pero por separado. Más adelante, se observó que dicho modelo era también aplicable a mezclas olorosas de tres a cinco componentes (B. Berglund, 1974; B. Berglund y col., 1976).

Este modelo de interacción de olores se esquematiza en la Figura 3 para el caso de una mezcla binaria. En la figura, la intensidad olorosa de los dos componentes está representada por los vectores Ψ_i y Ψ_j , siendo i y j los subíndices que representan dos olores distintos (es decir, dos cualidades olorosas diferentes). El vector resultante, Ψ_{ij} , representa la intensidad olorosa de esa mezcla particular, ij , tal como es percibida por el observador. Se asume que el ángulo entre dos vectores cualesquiera está relacionado con las diferencias cualitativas entre esos olores. De esta manera, cada componente oloroso, así como la mezcla, puede diferir en la cualidad o tipo de olor que provocan. El ángulo entre los dos compo nentes vectoriales i y j es constante para cada par de olores mezclados.

La formulación matemática del modelo vectorial para el caso de una mezcla binaria es:

$$\Psi_{ij} = \sqrt{\Psi_i^2 + \Psi_j^2 + 2 \Psi_i \Psi_j \cos \alpha_{ij}} \quad (3)$$

donde Ψ representa intensidad olorosa percibida, α es una constante, los subíndices i y j se refieren a los componentes olorosos, e ij a la mezcla de los mismos.

Para el caso general de una mezcla de n olores $\left[\Psi_{(n)} \right]$, se puede derivar la siguiente ecuación, en base a consideraciones análogas a las que

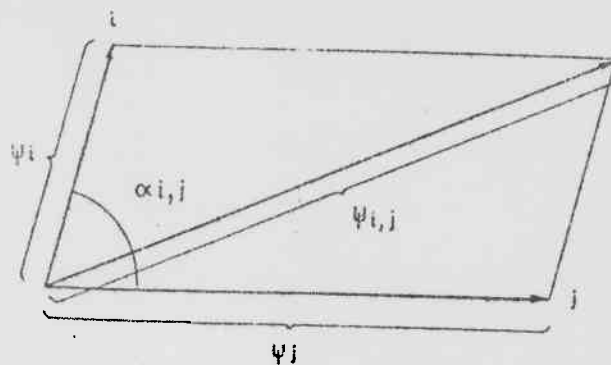


Figura 3. Se muestra el modelo vectorial de interacción olorosa perceptual, ilustrado para el caso de dos componentes olorosos. (Tomado de Berglund y col., 1973 a).

rigen la ecuación (3):

$$\Psi_{(n)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Psi_i^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n 2 \Psi_i \Psi_j \cos \alpha_{ij}} \quad (4)$$

Cabe mencionar que la interacción olorosa está determinada únicamente por la constante α , la cual depende de la relación cualitativa entre los olores de la mezcla, y es independiente de la intensidad olorosa. Así, la mezcla de distintas concentraciones de los mismos olores no afectará el valor de α . Investigaciones posteriores de otros autores confirmaron, en general, la aplicabilidad y utilidad de este modelo vectorial para predecir la intensidad percibida de mezclas de odorivectores (Cain y Drexler, 1974; Cain, 1975; Moskowitz y Barbe, 1977).

El modelo vectorial ha servido también para predecir con razonable precisión la intensidad percibida de mezclas de compuestos sápidos, teniendo como datos la intensidad percibida de los componentes de dichas mezclas, por separado (Bartoshuk, 1975). Además, este modelo fue capaz de proveer una buena descripción de las interacciones entre olor y gusto para constituir el sabor, en los casos de soluciones de café y ácido acético (García-Medina, 1981 a), tal como se mencionará bajo el título: Interacciones olfativo-gustativas.

Corresponde recordar que, como se detalló al describir las propiedades espaciales del SQC, los datos experimentales sobre integración bilateral entre las dos fosas nasales para un odorivector y para un irritante, también seguían una regla de adición vectorial de la masa del estímulo (Cain, 1977; García-Medina y Cain, 1982).

Tomando como base el modelo vectorial, se han desarrollado otros modelos matemáticos con el objeto de predecir la intensidad olorosa percibida de mezclas de odorivectores, conociendo la intensidad percibida de los componentes de dichas mezclas, por separado (Patte y Laffort, 1979; Laffort y Dravnieks, 1982). Sin embargo, si bien en ciertos casos alguno de estos modelos se ajusta un poco mejor que el vectorial a los datos experimentales, el modelo vectorial tiene a su favor su simplicidad y su capacidad de ser muy bien captado gráfica e intuitivamente.

Interacciones olfativo-gustativas

La acción recíproca entre gusto y olfato fue estudiada por Murphy y col. (1977) para el odorivector n-butilato de etilo y el compuesto sávido sacarina sódica. Ellos encontraron que la intensidad percibida de las mezclas de estas sustancias es ligeramente menor que la suma de las intensidades percibidas de los componentes por separado. Los resultados de esta investigación también señalaron la existencia de confusiones olfativo-gustativas respecto del sitio de estimulación, las que casi invariablemente eran resueltas en favor del gusto. Es decir, que los participantes, ante la duda, asignaban al gusto lo que en realidad estaban percibiendo por el olfato.

Posteriormente, Murphy y Cain (1980), empleando el odorivector citral y los compuestos sápidos cloruro de sodio y sacarosa, confirmaron los hallazgos de hipoaditividad entre odorante y sávido, y de confusiones olfa-

tivo-gustativas resueltas en favor del gusto.

García-Medina (1981 a) estudió la forma en que se integran el gusto y el olor para constituir la sensación compleja de sabor, pero en la misma sustancia. Para ello, eligió un compuesto químico puro y trigeminal (pungente): el ácido acético, y una sustancia compleja y muy poco trigeminal: el café. Los resultados mostraron que, para ambos estímulos, el modelo vectorial, que acabamos de describir, proveía valores predictivos que se acercaban considerablemente bien a los valores experimentales obtenidos. En este caso, los símbolos Ψ_i y Ψ_j de la ecuación (3), representan la intensidad percibida de olor y de gusto, respectivamente, mientras que Ψ_{ij} representa la intensidad percibida del sabor (tomado como integración del olor y el gusto).

Otra investigación (Cometto-Muñiz, 1981) exploró las diferencias en la forma de crecimiento de la sensación al aumentar la concentración, para cinco productos empleados comúnmente como saborizantes y que estimulan tanto el olfato como el gusto. Las sustancias empleadas fueron tres compuestos químicos puros: vainillina, piperonal (heliotropina) y benzaldehído, y dos sustancias complejas: una natural, extracto natural de vainilla, y otra artificial, esencia artificial de almendra. La idea era comparar la función de crecimiento de la sensación de sabor con las funciones de olor y de gusto para cada uno de los productos químicos empleados. Los resultados confirmaron que las funciones de estímulo-respuesta (funciones psicofísicas) de gusto crecen en forma más empinada que las de olor. En cuanto a las funciones de sabor, se encontró que su forma de crecimiento depende de la característica más saliente del saborizante en el rango de concentración empleado. Es decir que, por lo menos para algunos saborizantes, a bajas concentraciones, el olor es quien predomina en el sabor, por lo que las funciones de sabor se asemejan a las de olor: son

poco empinadas; en cambio, a altas concentraciones, el gusto es quien predomina en el sabor, por lo que las funciones de sabor se tornan más empinadas, asemejándose a las de gusto.

Hornung y Enns (1984) estudiaron la influencia recíproca del olfato y el gusto empleando una técnica ingeniosa que permite variar independientemente los componentes olfatorio y gustativo del sabor. Usando café instantáneo como estímulo, ellos encontraron que diferentes niveles de intensidad gustativa, a manera de fondo, no alteraban significativamente la escala de percepción de olor. De la misma manera, distintos niveles de intensidad olorosa, a manera de fondo, tampoco alteraban significativamente la escala de percepción del gusto. Estos autores también concluyeron que el olor y el gusto contribuyen en forma independiente a la estimación de la intensidad total.

Interacciones olfativo -pungentes

Ya en el siglo pasado, el filósofo Alexander Bain (1868), notando que el CO_2 concentrado es capaz de provocar pungencia, remarcaba: "Si una corriente de ácido carbónico acompaña a un olor, el efecto (olor) es reprimido".

En un estudio de agentes químicos preventivos para gases inflamables y venenosos, Katz y Talbert (1930) señalaban: "El olor de algunos irritantes a altas concentraciones se pierde totalmente en el dolor de irritación de la nariz".

El estudio detallado del tipo de interacciones entre estas dos sensaciones requiere una separación experimental entre olor y pungencia. Sin embargo, es difícil encontrar odorivectores puros ya que, como se señaló antes, aún la estimulación con odorivectores perceptualmente considerados

como no irritantes (incluso a bajas concentraciones) es capaz de producir una respuesta, registrable electrofisiológicamente, de actividad trigeminal (Beidler y Tucker, 1956; Tucker, 1961, 1963, 1971; Silver y Moulton, 1982). Por otra parte, irritantes inodoros son difíciles de hallar, ya que prácticamente todos los irritantes tienen olor. El CO_2 es una de las escasas excepciones.

En cuanto a la literatura electrofisiológica, existen varias indicaciones de que el olfato y el SQC interaccionan a nivel del sistema nervioso central. Por ejemplo, Sem-Jacobsen y col. (1952) y Hughes y Mazurowsky (1962) notaron que odorivectores benignos estimulaban la llamada actividad de fondo ("background activity") del bulbo olfatorio, mientras que olores punzantes, desagradables, la inhibían. Más aún, Walsh (1956) notó un efecto inhibitorio específico del CO_2 en unidades aisladas del bulbo olfatorio de conejos. Estas unidades también respondían a la estimulación somestésica (trigeminal) causada por la inhalación de aire inodoro.

Una investigación electrofisiológica en conejos (Stone y col., 1966) concluyó que la llamada respuesta "olfatoria" a muchos odorivectores es, en realidad, una respuesta olfativo-trigeminal; y que la respuesta "aversiva" de los animales frente a altas concentraciones de estímulos olorosos se inhibe al bloquear los nervios trigeminales. Ello demuestra que el trigémino cumple un importante papel en el desencadenamiento de dicha respuesta "aversiva". Este mismo grupo de investigadores, encontró que, bloqueando los nervios trigeminales a nivel del ganglio, la actividad de ondas sinusoidales del bulbo olfatorio se incrementaba significativamente en frecuencia y amplitud ante la presentación del olor, comparada con dicha actividad en el animal no bloqueado (Stone y col., 1968). De sus experimentos, estos investigadores concluyeron que, en el animal despierto que respira aire no filtrado del ambiente, los nervios trigeminales ejercen influen-

cias inhibitorias que afectan la actividad bulbar, aún en ausencia de altas concentraciones de odorivectores. Sin embargo, los autores afirman que, probablemente, parte del incremento de excitabilidad del nervio olfatorio producida al bloquear el trigémino, puede ser debida al aumento de accesibilidad de olores normalmente presentes en el ambiente hacia la mucosa olfatoria, ya que los reflejos autonómicos que controlan la accesibilidad vía activación trigeminal no están presentes en el animal bloqueado. En definitiva, las evidencias aportadas por estas investigaciones, sostienen la noción de que existe un control regulatorio central sobre los impulsos aferentes olfatorios y que el nervio trigémino juega un importante papel en este sistema.

Retomando el enfoque psicofisiológico, la interacción entre olor e irritación fue también estudiada por Cain y Murphy (1980). Ellos emplearon concentraciones bajas a moderadas del odorivector butirato de n-amilo, a las que dotaron de diferentes grados de pungencia agregándole distintos niveles de CO₂. Los resultados obtenidos demostraron un alto grado de interacción mutua por la que la irritación inhibía al olor y viceversa, interacción que se mantenía aún cuando el irritante penetraba por una fosa nasal y el odorivector por la otra. Estos experimentos sugieren que la interacción entre olor e irritación es de carácter general, es decir, independiente del odorivector e irritante elegidos, y que su localización es central.

Interacciones gustativo-pungentes

Son muy escasos los trabajos que han estudiado los efectos mutuos entre el sentido del gusto y el SQC. De acuerdo a lo que señalan Silver y Maruniak (1981), este tema ha sido abordado principalmente por médicos. Los resultados no son de manera alguna definitivos ya que mientras algunos señalan una importante interacción (Harris, 1952), otros encuentran escasa o

nula contribución trigeminal a la sensación gustativa (Carmichael y Wollard, 1933; Schwartz y Weddell, 1938; Henkin, 1970).

De todos modos, tal como se ha señalado, la estimulación trigeminal, tanto oral (Rozin y col., 1981) como nasal (Elsberg y col., 1942), puede afectar en forma refleja la percepción del gusto mediante aumentos del flujo salivar (Dawes, 1969) que, a su vez, producen cambios en la composición de la saliva (Mc Burney y Pfaffmann, 1963; Morino y Langford, 1978).

Lawless y D. A. Stevens (1984) indujeron sensaciones de irritación oral mediante enjuagues con emulsiones de oleorresina de jengibre y emulsiones de piperina, constituyentes de las pimientos roja y negra, respectivamente. Luego evaluaron la influencia de estos enjuagues sobre la percepción de dos concentraciones de cada uno de los siguientes representantes de las cuatro cualidades gustativas clásicas: sacarosa (dulce), cloruro de sodio (salado), ácido cítrico (agrio) y clorhidrato de quinina (amargo). Comparando las intensidades gustativas después del enjuague con jengibre y después de un enjuague con agentes emulsificantes o agua, se encontraron disminuciones significativas en la intensidad gustativa del ácido cítrico y la quinina y en una de las concentraciones de sacarosa, pero no en la sal. El efecto de la piperina fue más amplio, ya que redujo la intensidad percibida de todas las sustancias respecto a los controles. Estos efectos señalan una influencia inhibitoria de la estimulación oral del SQC sobre las sensaciones gustativas.

El tema de la interacción gusto-pungencia también fue investigado estudiando las interacciones perceptuales entre la pungencia oral provocada por el CO_2 y el gusto de cada uno de los siguientes compuestos sápidos: sacarosa (dulce), sulfato de quinina (amargo), cloruro de sodio (salado) y ácido tartárico (agrio) (Cometto-Muñiz y col., 1986). Los resultados mos-

traron que los compuestos sápidos que producen la mayor interacción, específicamente mutua intensificación, con la pungencia oral provocada por el CO_2 son el cloruro de sodio y el ácido tartárico. A ellos le sigue el sulfato de quinina, el cual reduce la pungencia oral a bajas concentraciones de CO_2 y cuyo amargor puede ser intensificado o reducido por el CO_2 , dependiendo del rango de concentración en que se encuentre el sulfato de quinina. Finalmente está la sacarosa, la cual, dentro del rango de concentración estudiado, no tiene prácticamente efecto sobre la pungencia oral percibida y cuyo dulzor puede ser ligeramente incrementado por el CO_2 . Estos hallazgos psicofisiológicos coinciden con estudios electrofisiológicos, los cuales demostraron que los azúcares no son capaces de estimular los receptores trigeminales linguales, pero que algunas sales y varios compuestos amargos y agrios sí son capaces de estimularlos (Beidler, 1953; Kawamura y col., 1968).

Mezclas de irritantes

La exposición de seres vivos a sustancias pungentes provoca, entre los efectos más destacados, una serie de reflejos respiratorios y cardiovasculares, los cuales han sido investigados tanto en animales (Boyd y col., 1944; Davis y col., 1967; Coon y col., 1970; Alarie y Keller, 1973; Wood, 1979) como en el hombre (Silverman y col., 1949; Sim y Pattle, 1957; Punte y col., 1963; Gamble y col., 1976; Ferguson y col., 1977; Dunn y col., 1982). Una completa revisión de los efectos de estos reflejos, que incluyen: disminución de la frecuencia respiratoria y extensión de la fase expiratoria, disminución de la frecuencia cardíaca, vasoconstricción periférica y aumento de la presión arterial sistólica, cierre de la glotis, cierre de las fosas nasales e incremento de la resistencia nasal, puede ser encontrado en un trabajo de revisión de Alarie (1973 a).

Los efectos sensoriales y las características perceptuales de la estimulación con compuestos pungentes han sido considerablemente menos estudiados (Doty, 1975; Cain, 1976; Doty y col., 1978; Cain y Murphy, 1980; García-Medina y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Cain, 1984; Lawless, 1984; Cometto-Muñiz y Noriega, 1985).

Entre las técnicas que emplean modelos animales para determinar cuantitativamente la potencia irritante de distintas sustancias, cabe destacar la desarrollada por Alarie y colaboradores en una serie de trabajos de investigación (Alarie, 1966, 1973 b; Kane y Alarie, 1977; Kane y col., 1979). La técnica consiste, básicamente, en medir la disminución de la frecuencia respiratoria producida en ratones al ser expuestos a diferentes concentraciones de compuestos irritantes. De acuerdo a estas investigaciones, existe una relación lineal entre el logaritmo de la concentración y la disminución de la frecuencia respiratoria.

Kulle y Cooper (1975) estudiaron los efectos de distintos compuestos irritantes sobre la actividad eléctrica de las ramas nasopalatina y etmoidal del nervio trigémino. La respuesta medida, aumento en la frecuencia del potencial de acción, resultó una función de potencia de la concentración del estímulo. La función de potencia, que ya hemos visto aplicada a la magnitud percibida de olores, gustos y pungencia (ver punto c) de esta Introducción), parece también adaptarse a fenómenos neuroeléctricos (S. S. Stevens, 1970).

En cuanto a la evaluación de la irritación sensorial producida por mezclas de irritantes, Kane y Alarie (1978) expusieron ratones a distintas combinaciones de niveles de formaldehído y acroleína, midiendo el efecto citado de la disminución en la frecuencia respiratoria. La relación entre esta respuesta y la concentración de las sustancias podía ser descrip

ta por un modelo matemático que había sido previamente formulado para explicar el proceso de estimulación gustativa a nivel de los receptores (Beidler, 1962). Este modelo asume que la respuesta (R) es proporcional al número de receptores ocupados ($R = aZ$) y que se produce una respuesta máxima (R_s) a altas concentraciones del estímulo, cuando todos los sitios receptores están ocupados ($R_s = aN$). De esta manera, la relación entre concentración (C) y respuesta (R) está dada, según la ley de Beidler, por la siguiente ecuación:

$$C/R = C/R_s + 1/KR_s \quad (5)$$

Los resultados obtenidos por Kane y Alarie (1978) sugirieron que este modelo era capaz de describir la irritación sensorial provocada por los dos estímulos, tanto aislados como en mezclas, lo cual indica la existencia de un mecanismo de agonismo competitivo entre acroleína y formaldehído al ser presentados juntos.

Hasta el presente, sin embargo, no se ha encarado el estudio en sujetos humanos de las interacciones que se producen a nivel perceptual en respuesta a la estimulación con mezclas de sustancias pungentes. Esta investigación tiene como propósito intentar resolver algunos de los interrogantes que se plantean sobre este tema aún prácticamente inexplorado.

Como estímulos químicos pungentes se emplearán distintas concentraciones de formaldehído y de amoníaco, presentadas en forma aislada y en mezclas binarias. Los participantes realizarán estimaciones numéricas, mediante los métodos descritos más adelante, de la intensidad total percibida de cada estímulo, debiendo, en algunos casos, desglosar dicha intensidad total en sus componentes olfativo (oloroso) y trigeminal (pungente), tal como se ha realizado en investigaciones anteriores (Cain, 1976; Cain y Murphy, 1980; Cometto-Muñiz y Cain, 1984).

Con los datos obtenidos de estos experimentos, se podrá comprobar qué tipo de interacción (hipoaditividad, aditividad simple o hiperaditividad) se produce para el olor y para la pungencia de los estímulos empleados. Los resultados vinculados con los efectos perceptuales cuantitativos de la estimulación con mezclas de sustancias pungentes contribuirán, junto con las evidencias electrofisiológicas y comportamentales antes mencionadas, a esclarecer en mayor medida el mecanismo de funcionamiento y las propiedades del SQC.

II PARTE EXPERIMENTAL

a) Materiales y Métodos

a.1.) Estímulos

Las concentraciones de formaldehído utilizadas, medidas por el método del ácido cromotrópico (NIOSH, 1973), fueron (ppm): 1,0; 3,5; 6,9 y 16,7.

Para determinar estos niveles de formaldehído en aire se utilizó un procedimiento espectrofotométrico.

El método se basa en la reacción del formaldehído con una solución de ácido cromotrópico-ácido sulfúrico para formar un cromógeno monocatiónico de color púrpura. La absorbancia de la solución coloreada se lee en un espectrofotómetro a 580 nm y es proporcional a la cantidad de formaldehído presente en la solución (NIOSH, 1973).

Las muestras correspondientes a los distintos estímulos se toman conectando la salida del canal correspondiente del olfatómetro, mediante tubos flexibles de Tygon (Cole-Palmer Instrument Company, U.S.A.), a dos frascos burbujeadores conteniendo cada uno 20 ml de la solución absorbente (agua destilada). Se utilizan dos frascos burbujeadores para asegurar una eficiencia cercana al 95% en la recolección. Esta se realiza a una velocidad de flujo de 1 lpm durante una hora. Para una determinada velocidad de flujo, los porcentajes v/v de formaldehído y aire se regulan a través de medidores de flujo incorporados al olfatómetro. Como los estímulos se presentan a los sujetos a una velocidad de flujo de 4 lpm, se deben establecer los nuevos valores de lectura en las escalas de los medidores de flujo de formaldehído y de aire para la velocidad de recolección indicada por la técnica (1 lpm). Para ello se utilizan las curvas de calibración

de los medidores de flujo que provee la empresa constructora de los mis mos (Matheson, U.S.A.).

Una vez terminado el muestreo, el contenido de cada frasco burbujeador se analiza por separado. Se transfiere el contenido de cada frasco burbujeador a una probeta de 25 - 50 ml y se anota el volumen de cada so lución. Se pipetea una alícuota de 4 ml de cada solución en sendos tubos de ensayo y, también, se pipetea en otro tubo 4 ml de agua destilada que se usará como blanco. Si el contenido de la alícuota excede los límites del método, se toma una alícuota menor y se diluye a 4 ml con agua desti lada. Luego se agrega a cada tubo 0,1 ml del reactivo ácido cromotrópico al 1% y se mezcla. Se agregan 6 ml de ácido sulfúrico concentrado, se de ja enfriar a temperatura ambiente y se lee la absorbancia en un espectro- fotómetro a 580 nm, utilizando celdas de 1 cm.

El contenido (en μg) de formaldehído de las muestras se determina mediante una curva de calibración construida previamente a partir de diso luciones de formaldehído al 37% debidamente estandarizadas, las cuales se colorearon según el procedimiento explicado más arriba.

Los μg totales de formaldehído (Ct) presentes en cada muestra co- rresponden a la suma de los μg obtenidos en cada frasco burbujeador del par en serie, multiplicado cada uno por un factor de corrección o factor de alícuota que es igual al cociente entre el volumen de solución en la muestra y el volumen de la alícuota utilizada.

La concentración de formaldehído en ppm está dada por la siguiente expresión:

$$\text{ppm} = \frac{\text{Ct. } 24,47}{\text{Vs} \cdot \text{PM}}$$

donde: Ct: μg totales de formaldehído

24,47: μl de formaldehído gaseoso en un μmol a 760 mm Hg y 25°C

Vs: litros de aire muestreados en condiciones estándar (760 mm Hg y 25°C)

PM: peso molecular del formaldehído (30,03)

Las concentraciones de formaldehído mencionadas al comienzo fueron determinadas por triplicado.

Por su parte, las concentraciones de amoníaco empleadas fueron (ppm): 210; 776; 1.172 y 1.716. Las mismas fueron determinadas espectrofotométricamente mediante procedimientos descritos en la literatura (NIOSH, 1974).

Las muestrasse toman en forma similar a las de formaldehído, conectando la salida del canal correspondiente del olfatómetro a un único frasco burbujeador conteniendo 10 ml de ácido sulfúrico 0,1 N (solución absorbente). Se recogen a una velocidad de flujo de 1 lpm durante cinco minutos. La corrección debida a la velocidad de recolección se realiza como se describió para el formaldehído.

Después de tomar la muestra se lava el frasco burbujeador con otros 10 ml de la solución absorbente y se analiza su contenido.

Se transfiere una alícuota de la muestra a un vaso de 50 ml y se ajusta el volumen final a 25 ml con más solución absorbente. Se agrega 2 ml del reactivo de Nessler (ioduro mercúrico-ioduro de potasio en una solución de hidróxido de sodio), se mezcla y se cubre. Se realiza el mismo procedimiento con un blanco conteniendo sólo la solución absorbente. Después de 20 minutos, se lee la absorbancia en un espectrofotómetro a 425 nm, utilizando una celda de 1 cm.

Los μg de amoníaco se calculan a partir de una curva de calibración, previamente obtenida empleando diluciones de una solución de cloruro de amonio estandarizado.

La concentración de amoníaco en ppm se calcula como:

$$\text{ppm amoníaco} = \frac{1,44 \mu\text{l NH}_3}{\mu\text{g NH}_3} \cdot \frac{AB}{CDE}$$

$$\text{donde: } \frac{1,44 \mu\text{l NH}_3}{\mu\text{g NH}_3} = \frac{\mu\text{mol}}{17 \mu\text{g NH}_3} \cdot \frac{22,4 \mu\text{l}}{\mu\text{mol}} \cdot \frac{298^\circ\text{K}}{273^\circ\text{K}}$$

A = Volumen total de la muestra = 20 ml (10 ml de solución absorbente más 10 ml de lavado)

B = μg de amoníaco en la alícuota analizada

C = Volumen de la alícuota en ml

D = Tiempo de muestreo en minutos

E = Velocidad de flujo del muestreo en lpm

Las concentraciones de amoníaco mencionadas fueron determinadas por triplicado.

a.2.) Olfatómetro

Para la presentación de los distintos niveles de las sustancias irritantes, se empleó un olfatómetro de dilución dinámica por aire, compuesto de dos canales, y armado específicamente para el desarrollo de esta investigación (Figura 4). Cada canal de este instrumento está alimentado por dos cilindros de aire comprimido, pureza respiratoria (La Oxígena S.A.C.I., Buenos Aires, Argentina, filial de L'Air Liquide, France). El aire de uno de dichos cilindros, que siempre es conducido por tubuladura de Tygon y Polipropileno (Cole-Palmer Instrument Company, U.S.A.), llega, primero, a un frasco saturador de 200 ml., el cual contiene 20 ml. de una solución del i-

irritante correspondiente. Luego, el aire cargado con el estímulo pasa por un medidor de flujo (Matheson, U.S.A.) para mezclarse en distintas proporciones con aire puro proveniente del otro cilindro de ese canal (también conducido por tubuladura de Tygon y Polipropileno y controlado por un medidor de flujo), constituyendo de esta manera las distintas concentraciones de la sustancia pungente. El otro canal del olfatómetro es totalmente análogo al recién descrito, sólo que en el frasco saturador se encuentra una solución del otro compuesto irritante.

En uno de los frascos saturadores del olfatómetro se colocó una solución de formaldehído al 50% V/V en agua destilada y deionizada, partiendo de una solución madre de formaldehído al 40%, para análisis. En el otro frasco saturador se colocó una solución de amoníaco al 10% V/V en agua destilada y deionizada, partiendo de una solución madre de amoníaco al 25%, para análisis.

Ambos canales terminan en una ficha de polipropileno, de forma cónica, que cada sujeto se introduce, en el momento adecuado, en una fosa nasal con el objeto de evaluar el estímulo que se le presenta. (Ver Procedimiento).

Para la presentación de los estímulos constituidos por mezclas de las dos sustancias, se utiliza un ramal o bifurcación de uno de los canales, cuya apertura y cierre se controla mediante válvulas aguja de teflón (Berghof/America, Inc., U.S.A.). Este ramal se alimenta con tres cilindros, los cuales proveen en total tres flujos de aire: los dos flujos proprios del canal, uno cargado con distintos niveles del primer irritante y otro con aire puro, más un tercer flujo de aire que provee los distintos niveles del segundo irritante. Estos tres flujos se mezclan mediante un par de conectores T (Cole-Palmer Instrument Company, U.S.A.) para consti-

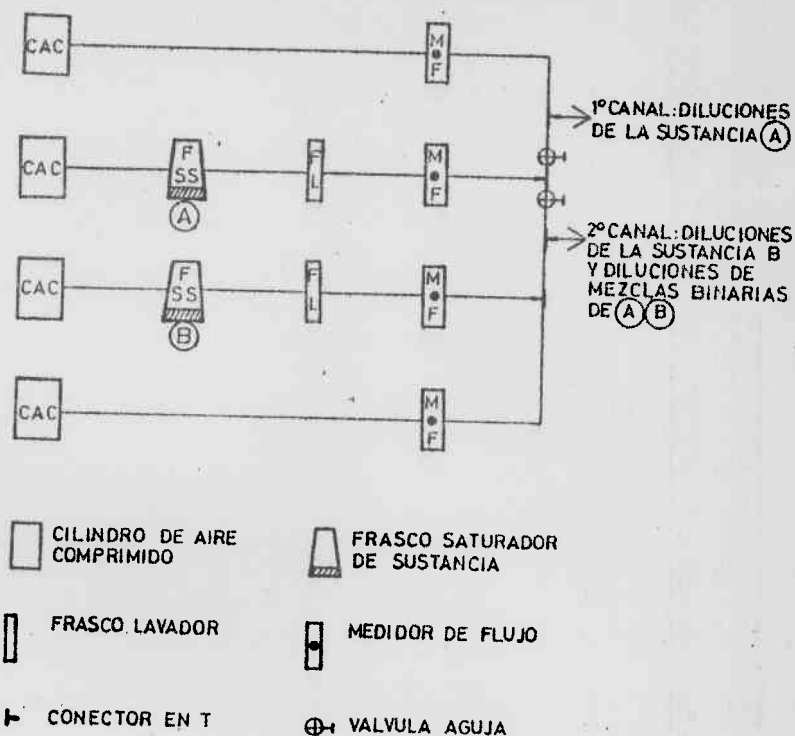


Figura 4. Esquema del olfatómetro de dilución dinámica, de dos canales, empleado en esta investigación.

tuir los estímulos que son mezclas binarias.

a.3.) Sujetos

Los participantes de los experimentos fueron estudiantes universitarios o profesionales jóvenes. Todos ellos eran no fumadores y se calificaron, al momento de realizar las sesiones experimentales, como personas sanas, en buen estado de salud, careciendo de patologías en el tracto respiratorio, de resfrios o de gripes.

En cada sección se detalla la distribución de los sujetos por sexo y la edad promedio (± desviación estándar) del grupo.

a.4.) Procedimiento

Los métodos empleados por los participantes en esta investigación se denominan métodos psicofísicos (S. S. Stevens, 1957, 1975; Marks, 1974; Guirao, 1980). Estos métodos permiten relacionar una magnitud física o

química (por ejemplo, una serie de decibeles de sonido o una serie de concentraciones de un odorivector) con una magnitud psicológica, que es el correlato del estímulo aplicado (en el ejemplo anterior, la serie de decibeles tendría su correlato en distintas sonoridades percibidas, y la serie de concentraciones del odorivector tendría su correlato en distintas intensidades de olor percibidas).

Las técnicas psicofísicas se aplican a la detección, discriminación y cuantificación de sensaciones. En cada sección de la presente investigación se describe en detalle el método y las instrucciones empleadas por los sujetos para cuantificar las sensaciones provocadas por los estímulos químicos presentados vía nasal.

b) Sección I: Funciones de estímulo-respuesta para la intensidad total percibida de distintas concentraciones de amoníaco, de formaldehído y de sus mezclas binarias

b.1.) Sujetos

Participaron 30 sujetos (10 varones y 20 mujeres) con una edad promedio (\pm desviación estándar) de: 21,2 (\pm 4,8) años. Los 10 varones tenían una edad promedio (\pm desviación estándar) de: 24,6 (\pm 6,8) años. Las 20 mujeres tenían una edad promedio (\pm desviación estándar) de: 19,4 (\pm 2,1) años. (Ver punto a) Materiales y Métodos: Sujetos).

b.2.) Procedimiento

Los sujetos fueron instruídos para utilizar el método psicofísico de estimación de la magnitud ("magnitude estimation") (S. S. Stevens, 1957, 1975). Dicho método requiere que el participante realice estimaciones numéricas de la intensidad percibida de cada estímulo en base a un número arbitrario asignado por él a la intensidad de un estímulo tomado como patrón o referencia.

De esta manera, cada sujeto asignó un número arbitrario a la intensidad total percibida vía nasal del primer estímulo que se le presentó (patrón o referencia) y, luego, asignó números que reflejaran la intensidad total percibida de todos los demás estímulos que se le presentaban sobre la base del número asignado a la referencia. Así, si la intensidad total percibida de un estímulo le parecía tres veces mayor que la del patrón, le debía asignar un número tres veces mayor que el del patrón. Si la intensidad total percibida de otro estímulo le parecía la mitad de la intensidad del patrón, le debía asignar un número que fuera la mitad del asignado al patrón; y así sucesivamente.

El primer estímulo, tomado como referencia, podía ser cualquiera de las concentraciones de amoníaco o de formaldehído, o cualquiera de las mezclas. Sin embargo, se evitó presentar como patrón los estímulos más débiles o los más intensos, pues se ha encontrado que la variabilidad de las respuestas dadas por los sujetos es más uniforme a través de todos los estímulos cuando el estímulo patrón o referencia se encuentra cerca de la mitad del rango (Marks, 1974).

Las distintas concentraciones de amoníaco y de formaldehído, y todas sus mezclas binarias posibles, fueron presentadas a cada participante en orden irregular y, como mínimo, por duplicado. Sin embargo, la segunda presentación de cualquier estímulo no se realizó hasta no haber completado la primera presentación de cada uno de los restantes estímulos.

b.3.) Resultados

La Figura 5 muestra las funciones de estímulo-respuesta (psicofísicas) para la intensidad total percibida del formaldehído y del amoníaco, aislados y en presencia de distintos niveles del otro irritante. Para representar dichas funciones se ha empleado la media geométrica de las estimaciones realizadas por el grupo de sujetos para cada estímulo. Las medias geométricas son más adecuadas que las aritméticas pues las respuestas de los sujetos obtenidas por los métodos psicofísicos aquí empleados presentan una distribución logarítmico normal (J. C. Stevens, 1957; S. S. Stevens, 1975).

Por otra parte, dado que cada participante era libre de elegir su propio módulo numérico para asignar a la intensidad del estímulo patrón, la variabilidad alrededor de la intensidad media asignada por el grupo a cada estímulo es artificialmente alta. Sin embargo, la dispersión artificial debida a diferencias en el módulo numérico empleado por los distintos

sujetos, puede ser eliminada mediante la transformación que a continuación se detalla (ver Cain y Moskowitz, 1974) y que suele denominarse "normalización" de los datos. Se computa la "gran" media geométrica de las estimaciones de la magnitud de todo el grupo de participantes. Luego se computa la media geométrica de las estimaciones de cada sujeto individualmente. Finalmente, las estimaciones de cada participante se multiplican por el cociente de la "gran" media geométrica sobre su propia media geométrica (ver Lane y col., 1961; J. C. Stevens y Marks, 1965). Una característica importante de esta transformación es que no altera la media geométrica obtenida para cada estímulo, es decir, que sólo afecta la variabilidad alrededor de dicha media. La variabilidad que queda será debida a fluctuaciones al azar de las impresiones sensoriales de los sujetos sobre la magnitud de los estímulos, diferencias de funcionamiento sensorial entre los sujetos, y diferencias en las concepciones de los distintos sujetos acerca de cómo asignar números en base a las instrucciones dadas en la técnica de estimación de la magnitud (S. S. Stevens, 1960 b).

Como se comentó en la Introducción, las funciones de potencia graficadas en coordenadas logarítmicas se transforman en rectas, convirtiéndose el exponente de la potencia en la pendiente de la recta.

La Figura 5 muestra que el formaldehído se ajusta mejor a una función de potencia que el amoníaco, el cual tiende a producir, en coordenadas log-log, funciones que presentan una concavidad superior, confirmando resultados anteriores (Cometto-Muñiz y Cain, 1984). Los valores de las pendientes que se detallan en la Figura 5 fueron obtenidos realizando la aproximación de cada función a una recta mediante el método de los cuadrados mínimos. Para tener una medida de la bondad de ajuste de cada una de las funciones de dicha figura a la recta que resulta de graficar una función de potencia en coordenadas logarítmicas, se calcularon los coeficientes de correlación

(r) para los puntos promedio (medias geométricas) y para la nube de puntos de cada una de esas funciones (Tabla I). Los valores obtenidos de r para las medias geométricas son altos, aún para las funciones de amonfaco que, como se mencionó, presentan una concavidad superior.

La Tabla I muestra los exponentes (pendientes en coordenadas log-log) y los coeficientes de correlación de cada una de las funciones presentadas en la Figura 5. Los exponentes obtenidos indican que, para el rango de concentraciones estudiado, la sensación nasal total provocada por el formaldehído crece en forma menos empinada de lo que crece la provocada por el amonfaco. El exponente promedio (+ desviación estándar) para las distintas funciones de formaldehído resultó 0,23 (+ 0,04), lo cual indica que para duplicar la intensidad total nasal percibida de formaldehído es necesario multiplicar por veinte la concentración. Por otra parte, el exponente promedio (+ desviación estándar) para las distintas funciones amonfaco resultó 0,63 (+ 0,05), lo cual indica que para duplicar la intensidad total nasal percibida de amonfaco, es necesario triplicar la concentración.

La Tabla I permite ver que los exponentes para el formaldehído y para el amonfaco son considerablemente constantes y no sufren variaciones de importancia en presencia de los distintos niveles del otro irritante.

Investigaciones anteriores señalaron que existen diferencias entre varones y mujeres en la intensidad percibida de irritación vía nasal (Dunn y col., 1982; García-Medina y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Noriega, 1985), siendo las mujeres más sensibles. La mayor sensibilidad de las mujeres se manifestó tanto fisiológicamente en el umbral para producir un reflejo de apnea transitoria (Dunn y col., 1982; García-Medina y Cain, 1982), como psicofísicamente, en la evaluación de la intensidad percibida de irritación (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Teniendo en cuenta estos anteceden-

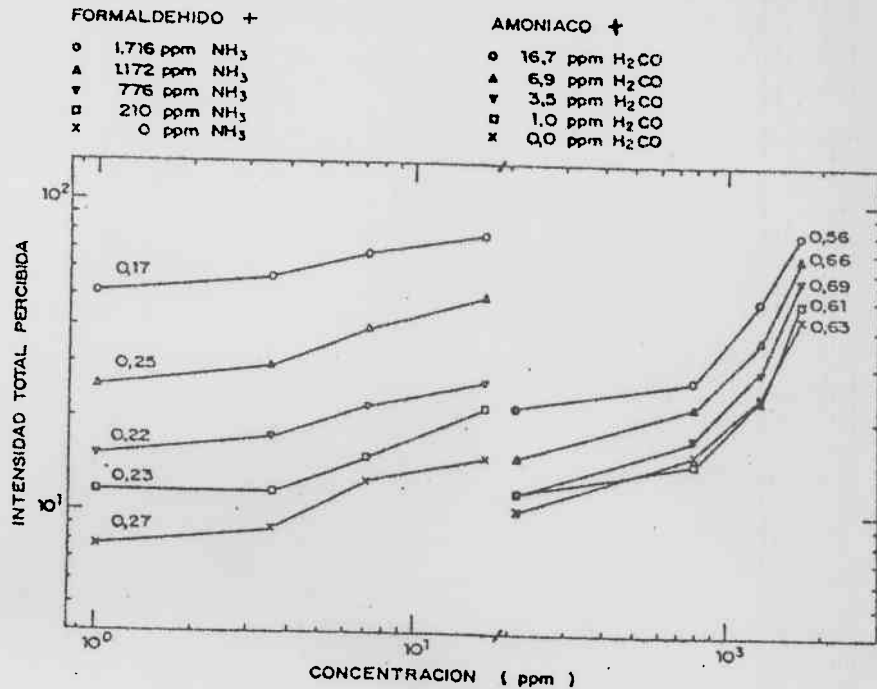


Figura 5. Intensidad total percibida vía nasal en función de la concentración (ppm) para el formaldehído y para el amoníaco, aislados y en presencia de distintos niveles del otro irritante. Para cada función se señala la pendiente correspondiente. Cada punto representa la media geométrica de las 60 estimaciones hechas por 30 sujetos. Las coordenadas son logarítmicas.

tes, se desglosaron en varones y mujeres las funciones psicofísicas de intensidad total percibida vía nasal de formaldehído y de amoníaco, aislados y en presencia de los distintos niveles del otro irritante. El resultado de dicho desglosamiento se presenta en la Figura 6 y en la Tabla II. En ellas se observa, para los dos irritantes en estudio y sus mezclas, que los exponentes obtenidos para varones y para mujeres son muy semejantes.

Como se mencionó en el ítem a) Materiales y Métodos: Procedimiento, los participantes evaluaron cada uno de los 24 estímulos (4 concentraciones de amoníaco, 4 concentraciones de formaldehído y sus 16 mezclas) por duplicado. La segunda presentación de cualquier estímulo no se realizó hasta no haber completado la primera presentación de cada uno de los restantes estímulos. De acuerdo a este esquema, resulta interesante comparar la 1ra. vs. la 2da. estimación de cada estímulo, pues ello dará la idea de si el

TABLA I

	Exponente o Pendiente (β)	Coef. Corr. (Medias Geom.)	Coef. Corr. (Nube de puntos)
H ₂ CO	0,27	0,97	0,44
H ₂ CO + 210 ppm NH ₃	0,23	0,88	0,45
H ₂ CO + 776 ppm NH ₃	0,22	0,99	0,53
H ₂ CO + 1.172 ppm NH ₃	0,25	0,97	0,55
H ₂ CO + 1.716 ppm NH ₃	0,17	0,99	0,35
	0,23(\pm 0,04)*		
NH ₃	0,63	0,93	0,73
NH ₃ + 1,0 ppm H ₂ CO	0,61	0,87	0,73
NH ₃ + 3,5 ppm H ₂ CO	0,69	0,92	0,75
NH ₃ + 6,9 ppm H ₂ CO	0,66	0,92	0,73
NH ₃ + 16,7 ppm H ₂ CO	0,56	0,88	0,66
	0,63(\pm 0,05)*		

*: Media Aritmética (\pm Desviación Estándar).

el tiempo inter-estímulos (en el orden de los 60 seg) fue suficiente como para que la sensibilidad de los participantes volviera a sus valores basales o si, por el contrario, la acumulación de los efectos de los estímulos a medida que se iban presentando produjo algún efecto de adaptación sensorial (disminución de la intensidad percibida de un estímulo por efecto de otro(s) anterior(es) o de potenciación sensorial (aumento de la intensidad percibida de un estímulo por efecto de otro(s) anterior(es)).

Para comparar estadísticamente las estimaciones numéricas dadas por los sujetos a cada estímulo en la 1ra. vs. en la 2da. presentación, se utilizó el test t para muestras apareadas, empleando el logaritmo de dichas estimaciones (ver S. S. Stevens, 1959 b), puesto que las mismas presentan una distribución log normal (J. C. Stevens, 1957; S. S. Stevens, 1975).

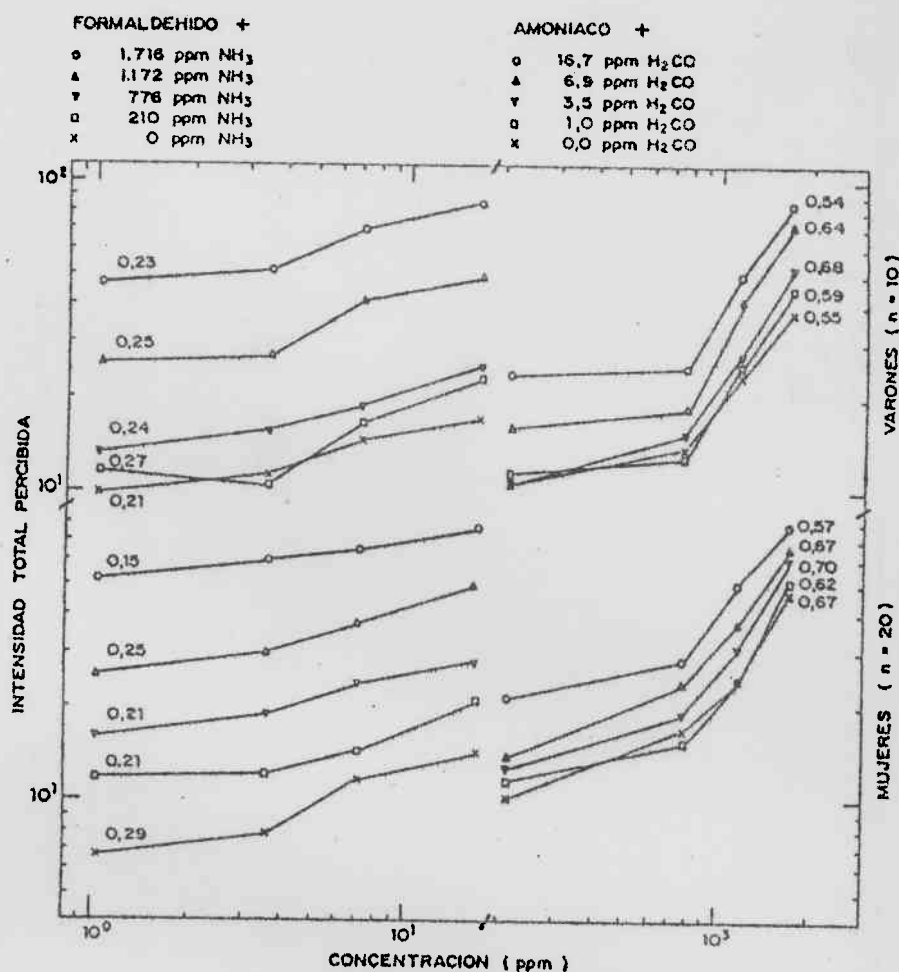


Figura 6. Idem que para la Figura 1, sólo que aquí el grupo de sujetos se dividió en varones ($n = 10$) y mujeres ($n = 20$). Para cada función se señala la pendiente. Cada punto de las funciones para varones representa la media geométrica de las 20 estimaciones hechas por 10 sujetos; cada punto de las funciones para mujeres representa la media geométrica de las 40 estimaciones hechas por 20 sujetos. Las coordenadas son logarítmicas.

La Figura 7 muestra las funciones psicofísicas obtenidas para los 30 sujetos (10 varones y 20 mujeres) desglosados en 1ra. y 2da. estimación. La observación de los gráficos revela que no existe una tendencia unívoca de diferencia entre la 1ra. y la 2da. estimación. De esta manera, de los 24 tests t (muestras apareadas) realizados para determinar si la diferencia entre la 1ra. y 2da. estimación de alguno de los estímulos era significativa, sólo uno, el correspondiente a la mezcla de 776 ppm de amoníaco y 3,5 ppm de formaldehído, resultó significativo al nivel del 5% ($t = 2,47$, $p < 0,05$). Esta diferencia significativa resultó en el sentido de ser me-

TABLA II

	V A R O N E S (n=10)		M U J E R E S (n=20)	
	Exponente o Pendiente (β)	Coef. Corr. * Coef. Corr.**	Exponente o Pendiente (β)	Coef. Corr.* Coef. Corr.**
H ₂ CO	0,21	0,98	0,29	0,96
H ₂ CO + 210 ppm NH ₃	0,27	0,87	0,21	0,88
H ₂ CO + 776 ppm NH ₃	0,24	0,95	0,21	0,99
H ₂ CO + 1.172 ppm NH ₃	0,25	0,93	0,25	0,98
H ₂ CO + 1.716 ppm NH ₃	0,23	0,96	0,15	0,99
	$\bar{X}(\pm DE) = 0,24(\pm 0,02)$		$\bar{X}(\pm DE) = 0,22(\pm 0,05)$	
NH ₃	0,55	0,89	0,67	0,94
NH ₃ + 1,0 ppm H ₂ CO	0,59	0,84	0,62	0,88
NH ₃ + 3,5 ppm H ₂ CO	0,68	0,90	0,70	0,93
NH ₃ + 6,9 ppm H ₂ CO	0,64	0,85	0,67	0,95
NH ₃ + 16,7 ppm H ₂ CO	0,54	0,83	0,57	0,90
	$\bar{X}(\pm DE) = 0,60(\pm 0,06)$		$\bar{X}(\pm DE) = 0,65(\pm 0,05)$	

\bar{X} : Media aritmética
 DE : Desviación Estándar
 * : Coeficientes de Correlación para las Medias Geométricas
 ** : Coeficientes de Correlación para la nube de puntos

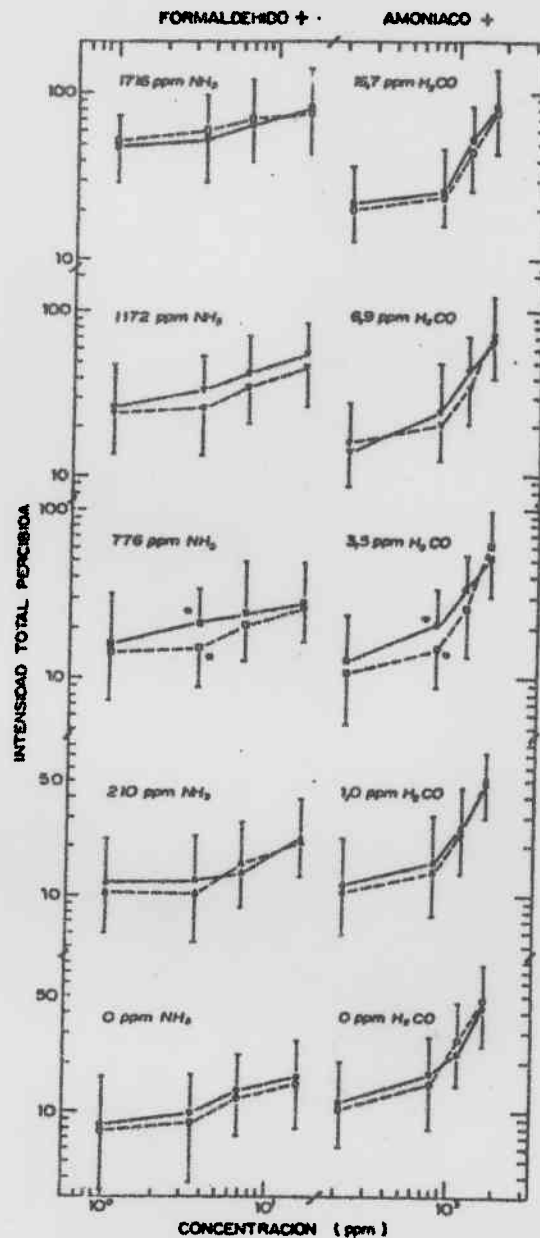


Figura 7. Intensidad total percibida vía nasal (+ el error estándar) en función de la concentración (ppm) para el formaldehído y para el amoníaco, cuando fueron presentados aislados (es decir, con 0 ppm del otro irritante) y cuando fueron presentados con cada uno de los cuatro niveles del otro irritante. Los símbolos llenos, unidos por trazo continuo, representan las medias geométricas de la 1ra. estimación que los 30 sujetos hicieron de ese estímulo. Los símbolos vacíos, unidos por trazo discontinuo, representan las medias geométricas de la 2da. estimación que los 30 sujetos hicieron de ese estímulo. Los asteriscos señalan diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación (*: $p < 0,05$, test t, muestras apareadas)

nor la 2da. estimación.

Posteriormente, se hizo un estudio de posibles diferencias entre

1ra. y 2da. estimación, análogo al recién mencionado, pero dividiendo la población total (30 sujetos) en varones (10 sujetos) y mujeres (20 sujetos). La Figura 8 muestra los resultados para varones y la Figura 9 para mujeres. El análisis de los datos para varones mostró que hubo diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación para sólo 4 de los 24 estímulos, en el sentido de ser menor la 2da. estimación (ver Figura 8). El análisis de los datos para mujeres mostró que hubo diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación para sólo 1 de los 24 estímulos, en el sentido de ser mayor la 2da. estimación (ver Figura 9.).

En la Figura 10 se muestra la relación entre la intensidad percibida de las mezclas (Ψ_{mezcla}) y la suma de las intensidades percibidas de sus componentes cuando fueron evaluados a la misma concentración, pero aislados ($\Psi_{H_2CO} + \Psi_{NH_3}$). Dicha relación es lineal, con un muy buen coeficiente de correlación ($r = 0,98$), y con una pendiente de 1,50. Comparando esta función con una recta trazada a 45° , de pendiente 1,00, se puede observar que hasta, aproximadamente, la mitad del rango de intensidades percibidas ($\Psi = 40$), los puntos obtenidos están por debajo de la recta de 45° ; mientras que por encima del valor $\Psi = 40$, los puntos tienden a ubicarse por encima de dicha recta. Si la intensidad percibida de las mezclas (Ψ_{mezcla}) fuera siempre igual a la suma de las intensidades percibidas de sus componentes aislados ($\Psi_{H_2CO} + \Psi_{NH_3}$), los puntos experimentales deberían coincidir con la recta trazada a 45° . Sin embargo, los resultados obtenidos muestran que, a bajas intensidades percibidas (debajo de $\Psi = 30$), el fenómeno que predomina es la hipoaditividad ($\Psi_{mezcla} < \Psi_{H_2CO} + \Psi_{NH_3}$), y los puntos obtenidos están por debajo de la recta de 45° . Por el contrario, a altas intensidades percibidas (arriba de $\Psi = 55$), el fenómeno que predomina es la hiperaditividad ($\Psi_{mezcla} > \Psi_{H_2CO} + \Psi_{NH_3}$), y los puntos obtenidos están por encima de la recta

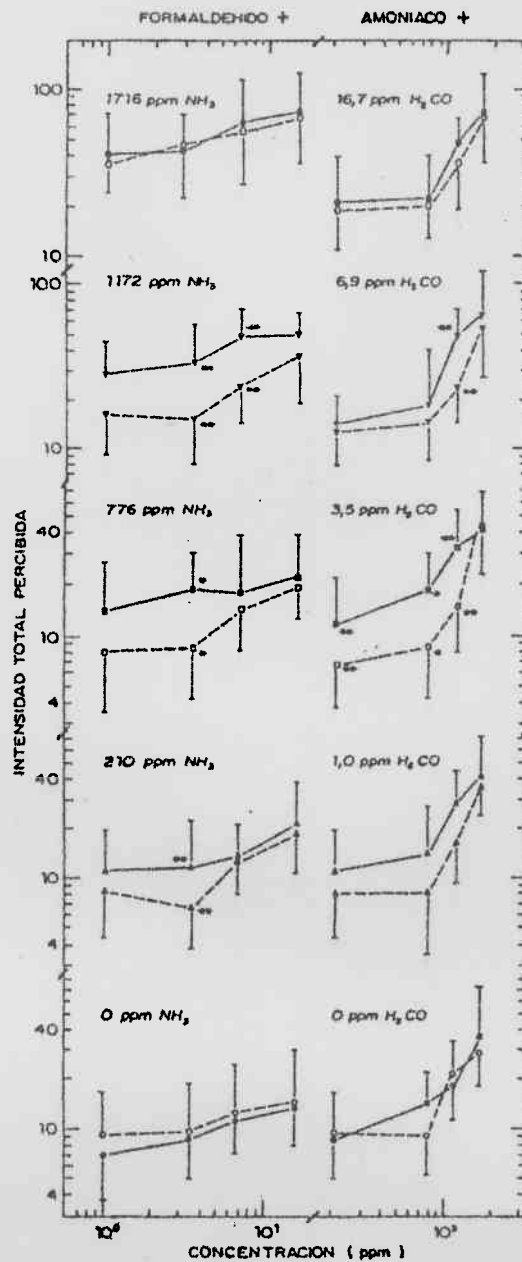


Figura 8. Idem que para la Figura 6, sólo que aquí se presentan los resultados de las medias geométricas de la 1ra. estimación (símbolos llenos, trazo continuo) vs. las medias geométricas de la 2da. estimación (símbolos vacíos, trazo discontinuo) para el grupo de 10 varones. Los asteriscos señalan diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación (*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$, test t, muestras apareadas).

de 45°. A intensidades intermedias (entre $\Psi = 30$ y $\Psi = 55$), los valores obtenidos coinciden, aproximadamente, con la recta de 45°.

Por su parte, el histograma de la Figura 11, arriba, ilustra la in

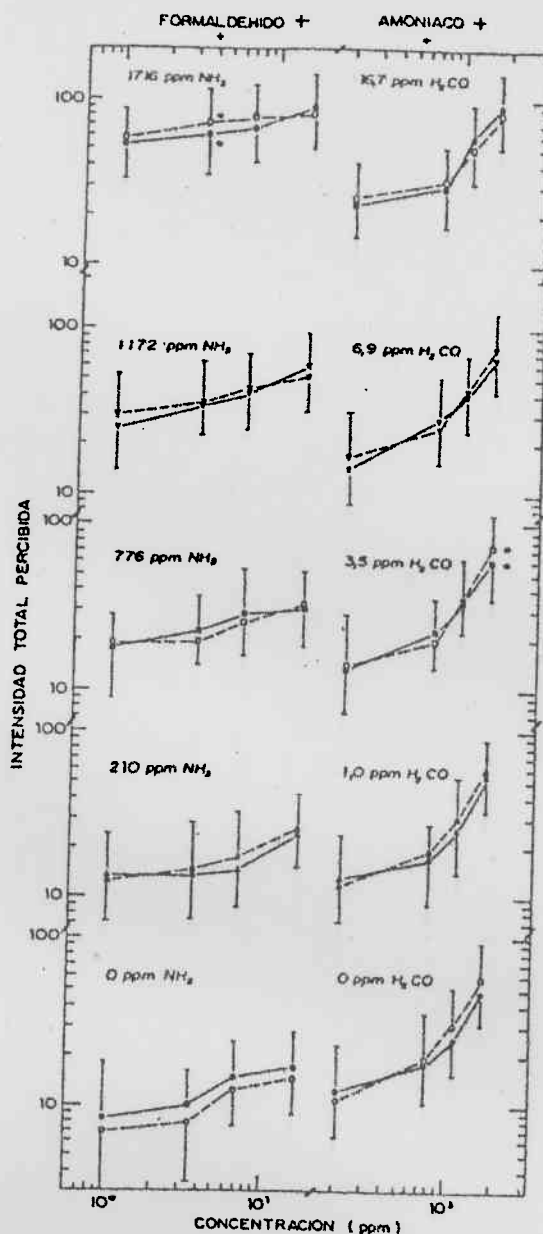


Figura 9. Idem que para la Figura 6, sólo que aquí se presentan los resultados de las medias geométricas de la 1ra. estimación (símbolos llenos, trazo continuo) vs. las medias geométricas de la 2da. estimación (símbolos vacíos, trazo discontinuo) para el grupo de 20 mujeres. Los asteriscos señalan diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación (*: $p < 0,05$, test t, muestras apareadas).

tensidad percibida de cada una de las cuatro concentraciones de amoníaco en ausencia de formaldehído y en presencia de cuatro niveles crecientes del mismo. En la misma Figura 11, abajo, se representa la intensidad percibida de cada una de las cuatro concentraciones de formaldehído, en ausen

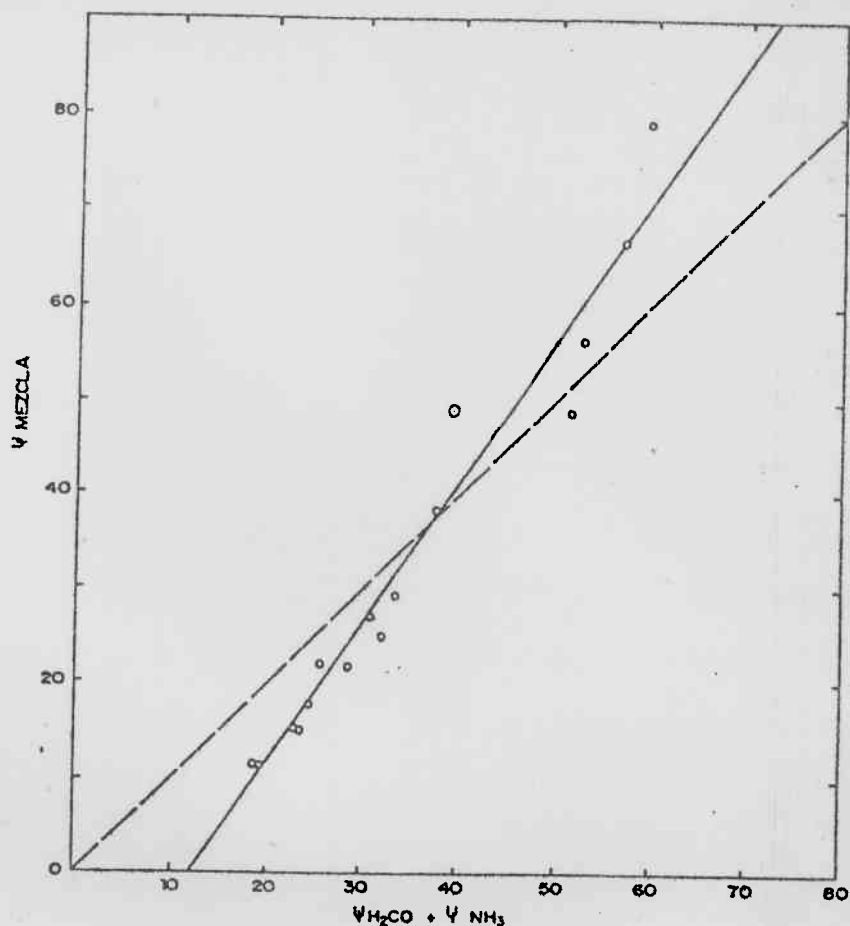


Figura 10. Intensidad total percibida vía nasal para las 16 mezclas binarias de formaldehído y amoníaco en función de la suma de las intensidades percibidas de los componentes de dichas mezclas, a la misma concentración, pero presentados por separado. Las coordenadas son lineales. Ecuación de la recta: $y = 1,50x - 18,63$; r (coeficiente de correlación) = 0,98

cia de amoníaco y en presencia de cuatro niveles crecientes del mismo. Las barras que representan la intensidad percibida de las distintas mezclas binarias de formaldehído y amoníaco llevan remarcadas en su extremo derecho un rectángulo que puede ser vacío o sobreado. Los rectángulos vacíos indican casos de mezclas hipoaditivas. Es decir, el extremo izquierdo del rectángulo, donde nace el segmento que representa el error estándar, señala la intensidad percibida de la mezcla, mientras que el extremo derecho señala la suma de las intensidades percibidas de los componentes de esa mezcla cuando fueron evaluados por separado. Los rectángulos sombreados

en cambio, indican casos de mezclas hiperaditivas. Aquí el extremo izquierdo del rectángulo es lo que ahora señala la suma de las intensidades percibidas de los componentes de la mezcla, mientras que el extremo derecho (mayor intensidad) señala la intensidad percibida de esa mezcla como tal.

Corresponde destacar en este histograma la aparición del fenómeno de hiperaditividad o sinergismo en las mezclas de las concentraciones más altas de los dos irritantes o, en términos de percepción, cuando la intensidad total percibida supera el intervalo 40 a 50. A medida que la intensidad percibida de la mezcla supera el rango 40-50, lo que sucede en las mezclas de concentraciones más altas, el porcentaje correspondiente a hiperaditividad en la intensidad total percibida se hace cada vez mayor.

Para comparar estadísticamente la intensidad percibida de cada mezcla con la suma de las intensidades percibidas de sus componentes presentados aisladamente, se aplicó el test t de Student para una media, utilizando como datos la diferencia obtenida, para cada sujeto, entre la magnitud percibida de la mezcla y la suma de las magnitudes percibidas de los componentes de dicha mezcla. Para desarrollar estas pruebas estadísticas, se empleó el logaritmo (ver S. S. Stevens, 1959 b) de las estimaciones "normalizadas" de los sujetos, puesto que las mismas presentan una distribución log normal (J. C. Stevens, 1957; S. S. Stevens, 1975).

El análisis estadístico de los datos presentados en la Figura 11 revela que, de las 16 mezclas binarias, 7 presentaron hiperaditividad significativa por lo menos al nivel del 0,5% ($p < 0,005$, test t), 7 presentaron aditividad simple, y las otras 2 presentaron hiperaditividad significativa por lo menos al nivel del 5% ($p < 0,05$, test t). Hipoaditividad significativa quiere decir que la intensidad percibida de esa mezcla fue significativamente menor que la suma de las intensidades percibidas de

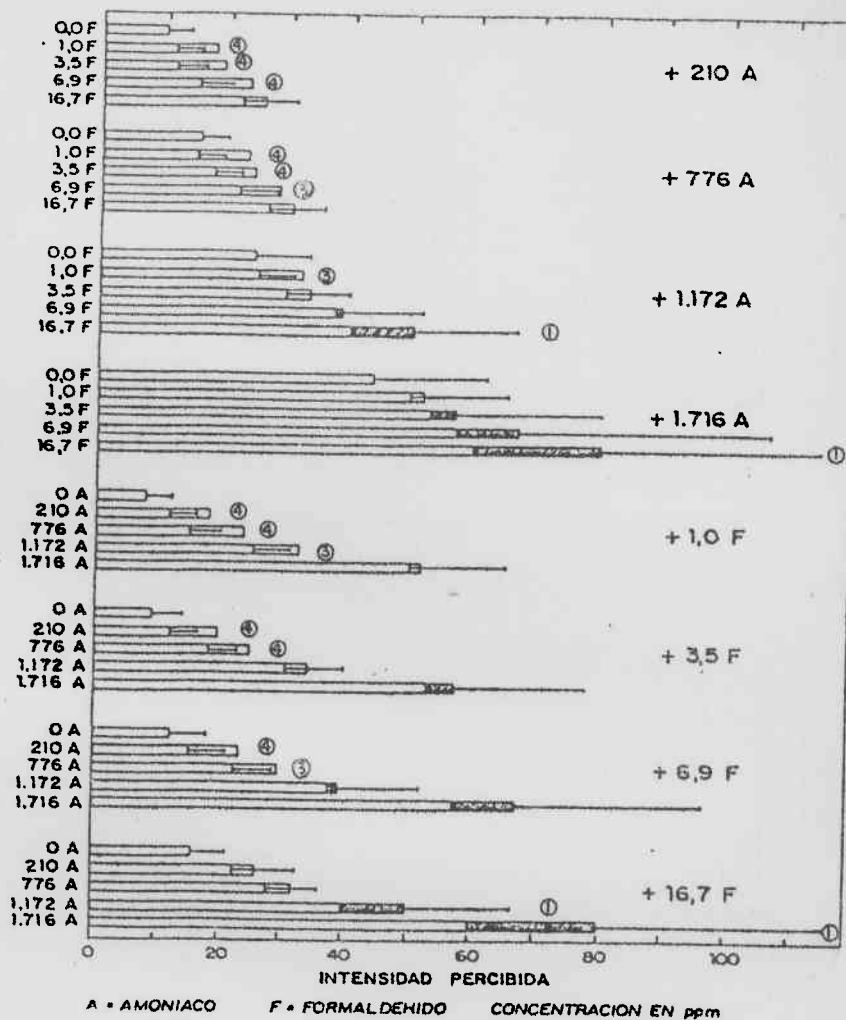


Figura 11. Histograma que representa la intensidad total percibida vía nasal de distintas concentraciones de amoníaco, aislado y en presencia de niveles crecientes de formaldehído. Idem para distintas concentraciones de formaldehído, aislado y en presencia de niveles crecientes de amoníaco. Cada barra representa la media geométrica de las 60 estimaciones hechas por 30 sujetos para ese estímulo. Para cada barra se indica el error estándar. Los rectángulos vacíos al final de las barras indican grados de hipoaditividad, esto es, la intensidad percibida de la mezcla es menor que la suma de las intensidades percibidas de sus componentes, evaluados aisladamente. Los rectángulos sombreados, en cambio, indican grados de hiperaditividad, esto es, la intensidad percibida de la mezcla es mayor que la suma de las intensidades percibidas de sus componentes, evaluados aisladamente. Los números en un círculo al final de las barras representan hipoaditividad (barras con rectángulos vacíos) o hiperaditividad (barras con rectángulos sombreados) estadísticamente significativa, de acuerdo a la siguiente clave: ① : $p < 0,05$; ③ : $p < 0,005$ y ④ : $p << 0,001$; test t.

los componentes de dicha mezcla cuando fueron evaluados en forma aislada.

Aditividad simple quiere decir que no hubo diferencias significativas (test t) entre la intensidad percibida de la mezcla y la suma de las intensidades

percibidas de sus componentes evaluados aisladamente. Hiperaditividad significativa quiere decir que la intensidad percibida de la mezcla resultó significativamente mayor que la suma de las intensidades percibidas de sus componentes evaluados en forma aislada.

En términos generales, se puede afirmar que, de acuerdo a los resultados presentados en las Figuras 10 y 11, las mezclas de las concentraciones bajas de los irritantes producen hipoaditividad de la sensación nasal total provocada, las de las concentraciones intermedias producen aditividad simple, y las de las concentraciones más altas producen hiperaditividad de la sensación nasal total provocada.

b.4.) Discusión (Sección I)

El impacto sensorial provocado por distintas concentraciones de los agentes irritantes formaldehído y amoníaco, al ser presentados vía nasal, puede ser aproximado por una función de potencia de la forma: $\Psi = k \cdot \theta^\beta$, donde Ψ : intensidad total percibida y θ : concentración de la sustancia pungente (irritante). Esta función se transforma en la ecuación de una recta al tomar logaritmo, según: $\log \Psi = \beta \cdot \log \theta + \log k$, de modo que β , el exponente de la función de potencia, pasa a ser la pendiente de la recta. De esta manera, las funciones de estímulo-respuesta presentadas en las Figuras 5 a 9 se aproximan a rectas, ya que las coordenadas en dichos gráficos son logarítmicas.

De la observación de las Figuras 5 a 9 surge que las funciones de formaldehído tienen una suave tendencia a producir una concavidad superior, mientras que las de amoníaco muestran una pronunciada concavidad superior. Se ha encontrado que la función de estímulo-respuesta para irritación nasal presenta una proporción de crecimiento mayor que la función para olor, independientemente del procedimiento de evaluación sensorial utilizado: esca

la de categorías (Katz y Talbert, 1930) o estimación de la magnitud (Cain, 1976). Por otro lado, se sabe que la inmensa mayoría de las sustancias odorivectoras u odorantes tienen en menor o en mayor grado, y dependiendo no sólo de la sustancia en particular sino también de la concentración a la que se la presente, un componente trigeminal o irritante (Cain, 1974a; Doty, 1975; Doty y col., 1978). Engen (1961) encontró que la función estímulo-respuesta para algunos odorivectores se ajustaba bien a una función de potencia, mientras que la función para otros odorantes mostraba una concavidad superior. Las observaciones introspectivas de los sujetos empleados por Engen indicaron que aquellos odorivectores que producían funciones con concavidad superior provocaban distintos tipos de olor (diferentes cualidades olorosas) a altas y a bajas concentraciones. Cabe preguntarse entonces, tal como sugiere para otras sustancias odorantes Cain (1974 b), si la concavidad superior observada en nuestro caso no podría deberse a un cambio de una estimulación predominantemente olfativa a bajas concentraciones de formaldehído y de amoníaco, a una estimulación predominantemente trigeminal a altas concentraciones de dichas sustancias. La posibilidad de que un cambio como el mencionado se esté produciendo originó la segunda parte de esta investigación (Sección II), en la cual los sujetos desglosaron la intensidad total percibida de cada estímulo en intensidad de olor e intensidad de pungencia.

Con el objetivo de analizar mejor la magnitud de la concavidad superior producida en las funciones estímulo-respuesta de los irritantes en estudio, se dividió el rango total de concentraciones explorado para cada sustancia en un rango bajo (que incluye, en general, las dos primeras concentraciones de cada compuesto, ya sea que fueran presentadas aisladas o en mezclas con varios niveles del otro compuesto) y un rango alto (que incluye las tres últimas concentraciones de cada irritante aislado o en mezcla). La Tabla III permite comparar el exponente obtenido tanto para el

formaldehído como para el amoníaco, solos o en mezclas, cuando se considera el rango bajo y cuando se considera el alto. Se observa que, en todos los casos, el exponente del rango alto es, por lo menos, casi el doble que el del rango bajo, llegando a ser para una de las funciones de amoníaco ($\text{NH}_3 + 16,7 \text{ ppm de H}_2\text{CO}$) 9 veces mayor que el exponente del rango bajo.

Si este aumento del exponente responde a un cambio de una estimulación predominantemente olfativa (sensación olorosa) a otra estimulación predominantemente trigeminal (sensación pungente), los resultados de la Sección II deberían mostrar que la pungencia percibida crece en forma más empinada que el olor percibido para cualquiera de los dos irritantes, ya sea presentados aislados o en mezclas.

Los exponentes para el formaldehído obtenidos cuando se lo presenta aislado y cuando se lo presenta con un "fondo" (background) de distintas concentraciones de amoníaco, no difieren en forma apreciable (Figura 5 y Tabla I). Lo mismo ocurre para el amoníaco, cuando se presenta aislado y en mezclas (Figura 5 y Tabla I). Lo que sí varía para los dos irritantes es la posición relativa de la función, la cual, a medida que aumenta la concentración del compuesto empleado como fondo, se va corriendo hacia valores más altos de las ordenadas, es decir, hacia intensidades percibidas mayores.

La considerable estabilidad de los exponentes de las funciones para formaldehído y para amoníaco, al ser evaluados aisladamente y en mezclas justifica la obtención de un exponente promedio para cada uno de los dos compuestos, el cual resulta suficientemente representativo del irritante, independientemente de si fue obtenido presentando dicho irritante aislado o en presencia de un nivel u otro nivel de la otra sustancia pun

TABLA III

	RANGO TOTAL		RANGO BAJO#		RANGO ALTO#		COCIENTE##
	Exponente o Pendiente (β)	Coef. Corr.*	Exponente o Pendiente (β)	Coef. Corr.*	Exponente o Pendiente (β)	Coef. Corr.*	
H ₂ CO	0,27	0,97	0,13	1,00	0,34	0,97	2,6
H ₂ CO + 210 ppm NH ₃	0,23	0,88	0,12***	0,77	0,42	1,00	3,5
H ₂ CO + 776 ppm NH ₃	0,22	0,99	0,15	1,00	0,27	1,00	1,8
H ₂ CO + 1.172 ppm NH ₃	0,25	0,97	0,13	1,00	0,33	0,99	2,5
H ₂ CO + 1.716 ppm NH ₃	0,17	0,99	0,12	1,00	0,21	1,00	1,8
	0,23(±0,04)**		0,13(±0,01)**		0,31(±0,08)**		2,4(±0,7)**
NH ₃	0,63	0,93	0,33	1,00	1,30	1,00	3,9
NH ₃ + 1,0 ppm H ₂ CO	0,61	0,87	0,19	1,00	1,51	1,00	7,9
NH ₃ + 3,5 ppm H ₂ CO	0,69	0,92	0,33	1,00	1,47	1,00	4,5
NH ₃ + 6,9 ppm H ₂ CO	0,66	0,92	0,30	1,00	1,41	1,00	4,7
NH ₃ + 16,7 ppm H ₂ CO	0,56	0,88	0,15	1,00	1,36	1,00	9,1
	0,63(±0,05)**		0,26(±0,08)**		1,41(±0,08)**		6,0(±2,3)**

: Se considera como RANGO BAJO las dos primeras concentraciones y como RANGO ALTO las tres últimas concentraciones del irritante cuya función de estímulo-respuesta se está analizando.
 ## : Cociente entre el exponente obtenido para el rango alto y el obtenido para el rango bajo.
 * : Coeficientes de Correlación para las Medias Geométricas
 ** : Media Aritmética(± Desviación Estándar).
 ***: Aquí se consideró como rango bajo las tres primeras concentraciones de H₂CO con un "fondo" de 210 ppm de NH₃.

gente.

Así resulta para el formaldehído un exponente promedio (± desviación estándar) de: 0,23 (± 0,04) y para el amoníaco: 0,63 (± 0,05). Esto implica un comportamiento radicalmente distinto desde el punto de vista perceptual entre ambas sustancias: para duplicar la intensidad total nasal provocada por el formaldehído, es necesario multiplicar por veinte la concentración, mientras que para duplicar la intensidad total nasal provocada por el amoníaco, basta con sólo triplicar la concentración.

Determinar el tipo de función que relaciona la intensidad percibida de olor o de pungencia con la concentración de la o las sustancias involucradas es de gran importancia en los casos concretos de contaminación ambiental por agentes químicos irritantes. Aunque el número de contaminantes a considerar sea alto, se puede determinar experimentalmente la magnitud percibida en función de la concentración total de una muestra de aire contaminado, y comprobar si los datos se ajustan razonablemente a una función de potencia, lo que en general sucede, obteniendo el exponente (o pendiente en coordenadas log-log) de dicha función. Esto nos da valiosa información sobre la influencia que tendrá la reducción progresiva de la concentración de los agentes contaminantes sobre la intensidad percibida total, la intensidad percibida de olor, o la de irritación. En general, los exponentes de las funciones de estímulo-respuesta para odorivectores, tanto benignos como irritantes, son menores que 1,0. Cabe destacar, sin embargo, que la función para estimulación nasal con CO_2 , el cual es prácticamente inodoro pero intensamente pungente, presenta exponentes de aproximadamente, 1,75 para varones y 2,2 para mujeres (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Volviendo al ejemplo que mencionábamos sobre análisis de un caso de contaminación ambiental, una vez hallado el exponente que relaciona la intensidad percibida con la concentración del o los irritantes (expresado, por e-

jemplo, como grado de dilución de la muestra original), sabemos que, si el exponente es bajo, será necesario reducir mucho el nivel de contaminantes para producir una disminución significativa de la magnitud percibida. Por el contrario, si el exponente es alto, con una disminución relativamente menor del nivel de contaminantes, ya podrá percibirse una importante caída en la magnitud de olor o de irritación percibidos.

La Figura 12 muestra las funciones de estímulo-respuesta, en coordenadas log-log, para dos contaminantes hipotéticos A y B, los cuales no necesariamente deben ser una sola sustancia cada uno, sino que pueden ser dos grupos de varios compuestos. El hecho de que A tenga un exponente (pendiente en coordenadas log-log) mayor que B hace que, para un mismo grado de dilución de la muestra original, por ejemplo al 1/10, la intensidad percibida de A se reduzca mucho más que la de B.

En el curso de una investigación que estudiaba comparativamente, en fumadores y no fumadores, la concentración umbral de un irritante (el CO_2) necesaria para provocar el reflejo nasal de apnea transitoria, Dunn y colaboradores (1982) encontraron que los varones presentaban umbrales mayores que las mujeres para la producción de dicho reflejo. Esta observación fue confirmada por García-Medina y Cain (1982) en otro estudio que exploraba el grado de integración bilateral entre las dos fosas nasales cuando eran estimuladas con el CO_2 , de a una o ambas simultáneamente (estimulación birrínica). Posteriormente, Cometto-Muñiz y Noriega (1985) investigaron la percepción de la pungencia nasal y bucal producida por el CO_2 en varones y mujeres. Sólo se encontraron diferencias entre los sexos en el caso de la estimulación nasal. Dicha diferencia consistía en que las mujeres percibían cualquier concentración de CO_2 , en el rango estudiado, más intensamente que los varones (eran más sensibles que los varones). Además, las mujeres presentaban funciones de estímulo-respuesta (siempre

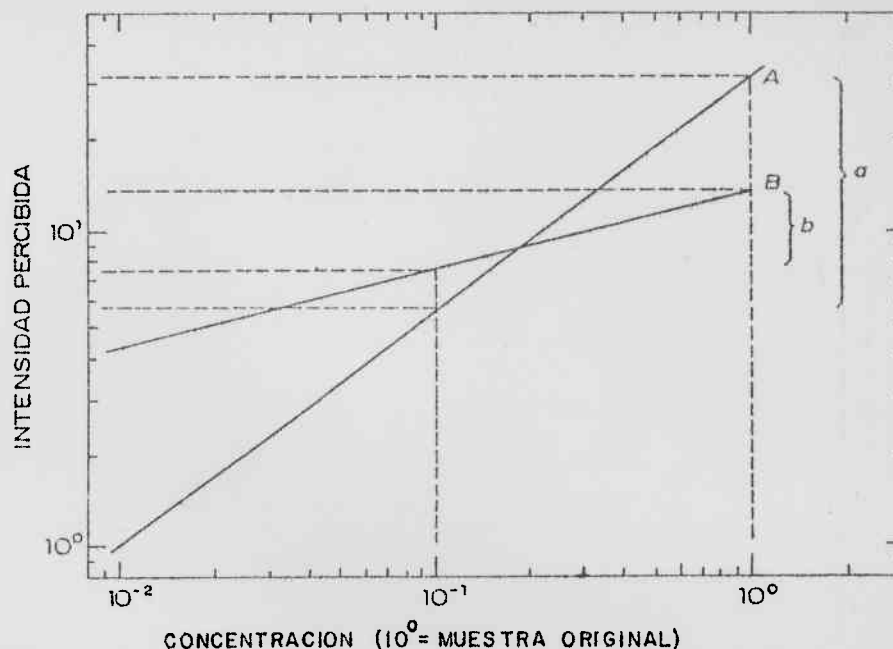


Figura 12. Intensidad percibida de dos contaminantes (o grupos de contaminantes) hipotéticos A y B en función del grado de dilución de una muestra original. 10^0 : muestra original; a: reducción en la intensidad percibida de A al diluirlo 1/10; b: reducción en la intensidad percibida de B al diluirlo al 1/10. Las coordenadas son logarítmicas.

para el CO_2 vía nasal) con un exponente algo mayor que los varones (2,2 para mujeres versus 1,75 para varones).

Con el objeto de estudiar posibles diferencias entre varones y mujeres en cuanto a la respuesta sensorial provocada por los dos irritantes empleados en la presente investigación, se representaron las funciones de estímulo-respuesta para cada uno de los sexos (Figura 6 y Tabla II).

Es importante destacar que, con los datos de la presente investigación, no podemos realizar comparaciones entre varones y mujeres en cuanto a la posición absoluta de cada una de las funciones para los irritantes estudiados (es decir, en cuanto a la ubicación en valores absolutos de dichas funciones en el eje de las ordenadas). Ello es así puesto que se permitió que cada sujeto eligiera libremente el módulo numérico asignado al primer estímulo que se le presentaba, es decir, el estímulo de referencia o patrón. Sin embargo, sí podemos comparar la posición relativa entre las distintas funciones dentro del grupo de varones respecto a su posición relativa dentro del gru-

po de mujeres. En relación a esto último se puede ver, basándonos en los resultados mostrados en la Figura 6, que las mujeres percibieron una mayor diferencia en intensidad relativa entre las funciones de formaldehído en presencia de 0; 210 y 776 ppm de amoníaco, que la diferencia que percibieron los varones para esas mismas funciones. Esto también es válido, aunque en menor medida, para las funciones de amoníaco en presencia de 0,0; 1,0 y 3,5 ppm de formaldehído, donde las mujeres parecieron diferenciar mejor que los varones la intensidad relativa de estas distintas funciones. En este sentido, podemos afirmar que, a bajas concentraciones del irritante empleado como "fondo" (ya sea el amoníaco o el formaldehído), las mujeres discriminaron mejor que los varones la intensidad relativa de dicho "fondo".

Otro aspecto que sí se puede comparar entre los sexos es el referido al valor de los exponentes (o pendientes) y de los coeficientes de correlación de las distintas funciones de estímulo-respuesta obtenidas para los dos irritantes (Figura 6 y Tabla II). Con respecto a este punto, se concluye que no existen diferencias de importancia entre los dos grupos. El exponente promedio (\pm desviación estándar) de las funciones para el formaldehído resultó 0,24 (\pm 0,02) para varones y 0,22 (\pm 0,05) para mujeres. Por su parte, el exponente promedio (\pm desviación estándar) de las funciones para el amoníaco resultó 0,60 (\pm 0,06) para varones y 0,65 (\pm 0,05) para mujeres.

Tal como se ha señalado para las funciones generales que incluyen a todos los sujetos, aquí se vuelve a notar que el exponente para cada irritante no varía en forma apreciable cuando las distintas concentraciones de dicho irritante se presentan solas o mezcladas con determinados niveles constantes de la otra sustancia pungente. La única excepción a lo anterior resulta, para mujeres, la función de formaldehído obtenida en pre-

sencia del más alto nivel de amoníaco: 1.716 ppm, cuyo exponente: 0,15 resulta algo más bajo que el resto de los exponentes para el formaldehído. Esto muy probablemente se deba a que esa concentración de amoníaco es lo suficientemente irritante como para "enmascarar" la percepción de diferencias en la intensidad de irritación de las distintas concentraciones de formaldehído. El resultado de ello es un achatamiento de la función para el formaldehído, con la consecuente disminución del exponente.

En forma análoga a lo hallado para el grupo total de sujetos, se producen, tanto en varones como en mujeres, variaciones en la posición relativa de las funciones de un irritante dado cuando se lo presenta en ausencia del segundo irritante y cuando se lo presenta con distintos "fondos" (backgrounds) de dicho segundo irritante. Lógicamente, a medida que el "fondo" del segundo pungente se hace de mayor concentración, la función del irritante en estudio se desplaza (sin variación significativa del exponente) hacia valores más altos de intensidad total percibida (eje de las ordenadas).

La constancia del exponente y las variaciones en la posición relativa de las funciones para cada irritante en presencia de niveles constantes del segundo irritante, indican que los sujetos son capaces de distinguir cualitativamente el tipo de sensación provocada por cada pungente en presencia del segundo pungente, y de estimar las variaciones en la magnitud de la sensación total provocada, con prácticamente el mismo poder resolutorio (dado por el exponente) que en ausencia del segundo pungente.

Como introducción a la discusión de otro aspecto de los resultados obtenidos, cabe mencionar que una de las propiedades temporales más estudiada de los sistemas sensoriales, incluidos los sentidos químicos, es la adaptación. Este fenómeno implica una disminución de la sensibilidad senso

rial con el tiempo de estimulación. La adaptación sensorial produce efectos a nivel del umbral (o mínima cantidad de estímulo percibida) y a nivel de las intensidades supraumbrales. Cuando un individuo está adaptado, por ejemplo, al olor de cierta sustancia, aumenta el umbral de olor de dicha sustancia (Steinmetz y col., 1970; Pryor y col., 1970; Berglund y col. 1971 b). Es decir, aumenta la concentración mínima necesaria para detectar ese odorivector. Por otra parte, la adaptación también produce el efecto de disminuir la intensidad percibida de sensaciones supraumbrales (Ekman y col., 1967; Cain y Engen, 1969; Cain, 1970; Steinmetz y col., 1970; Pryor y col., 1970; Cain, 1974 b). De esta manera, continuando con el ejemplo del sentido del olfato, una persona adaptada al olor de determinado odorivector, percibe las intensidades olorosas de distintas concentraciones de ese compuesto, y aún de otros con olor similar (Cain, 1970), en forma menos intensa que cuando no está adaptado.

Ya hemos comentado que, en esta investigación, cada uno de los 24 estímulos químicos fue presentado dos veces en la misma sesión, y que la 2da. presentación de cualquiera de ellos no se produjo hasta no haber completado la 1ra. presentación de los otros 23 estímulos. La Figura 7 muestra las funciones de estímulo-respuesta para el formaldehído y para el amoníaco, aislados y en mezclas, desglosando las que resultan de promediar la 1ra. estimación de los 30 sujetos y las que resultan de promediar la 2da. estimación de los mismos sujetos. A simple vista se puede apreciar que no existen diferencias importantes entre ambos grupos de funciones. El análisis estadístico (test t, muestras apareadas) de cada par de puntos reveló que en sólo 1 de los 24 estímulos hubo diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación. Se trata del estímulo correspondiente a una mezcla de 776 ppm de amoníaco y de 3,5 ppm de formaldehído ($t = 2,27$, $p < 0,05$). La diferencia resultó en el sentido de ser menor la 2da. estimación.

Sin embargo, tal como se menciona más arriba en la presente discusión, investigaciones anteriores encontraron que las mujeres son más sensibles a la irritación química nasal que los varones (Dunn y col., 1982; García-Medina y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). En virtud de ello se dividió el grupo total de sujetos por sexo (10 varones y 20 mujeres) y se compararon las funciones de estímulo-respuesta correspondientes a la 1ra. estimación versus las correspondientes a la 2da. estimación para estos dos grupos.

La Figura 8 presenta los resultados para los varones (n = 10). El examen visual de las funciones señala que, en algunos casos, existe una tendencia de las 2das. estimaciones a ser menores que las 1ras. estimaciones. Sin embargo, el análisis estadístico (test t, muestras apareadas) de muestra que sólo 4 de los 24 estímulos presentan diferencias significativas entre 1ra. y 2da. estimación, todos en el sentido de ser menor la 2da. estimación.

La Figura 9 muestra los resultados para las mujeres (n = 20). En este caso no hay diferencias de importancia a simple vista entre 1ra. y 2da. estimación. Contrariamente a lo ocurrido en el grupo de varones, en el único estímulo donde la diferencia entre 1ra. y 2da. estimación fue significativa (test t, muestras apareadas), el valor para la 2da. estimación resultó mayor que para la 1ra.

Estos resultados son coherentes con el hallazgo de una mayor sensibilidad a la irritación nasal por parte de las mujeres (Dunn y col., 1982; García-Medina y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Tanto el formaldehído como el amoníaco producen sensaciones irritantes, pero, también, olorosas (Cometto-Muñiz y Cain, 1984; ver Sección II de esta investigación). El hecho de que los varones sean menos sensibles que las mujeres a la irri

tación química nasal, hace que, frente al mismo estímulo, aquéllos asignen al componente oloroso un mayor peso en la sensación total que el asignado por las mujeres. Esto favorece que dicha sensación total pueda asumir, para los varones, algunas características de las sensaciones típicamente olorosas, como ser la adaptación: 2da. estimación menor que la 1ra. Por otro lado, si tenemos en cuenta la existencia de una interacción inhibitoria mutua entre irritación y olor (Cain y Murphy, 1980), se podría afirmar que la inhibición de la irritación sobre el olor estaría disminuída en los varones respecto de las mujeres, por percibir aquéllos menos intensamente la irritación. Esto produciría una "liberación" de la intensidad olorosa, la cual aumentaría así su "peso" en la intensidad total percibida por los varones, provocando que, en dicha sensación total, se produzca el fenómeno de adaptación tal como se produce en las sensaciones olorosas.

Las mujeres, en cambio, al ser más sensibles a la irritación nasal, percibirían los mismos estímulos químicos como más irritantes que los varones. Esto, sumado a la inhibición que esa mayor irritación percibida ejerce sobre el olor, hace que las mujeres asignen al componente irritativo un mayor "peso" en la sensación total que el asignado por los varones. De esta manera, la sensación total podría asumir, para las mujeres, características de sensación irritativa, como ser la resistencia a la adaptación, o, más aún, la integración temporal (Cometto-Muñiz y Cain, 1984): 2da. estimación mayor que la 1ra.

Ya se ha comentado en la Introducción que, en investigaciones sobre la percepción de mezclas de odorivectores, el resultado más comúnmente encontrado ha sido el de hipoaditividad, es decir que el olor de la mezcla resulta menos intenso que la suma de los olores de sus componentes. En relación con ese enfoque, los resultados obtenidos aquí con los dos irritan

tes estudiados se presentan en la Figura 10. Allí se grafica la intensidad percibida de cada mezcla en función de la suma de las intensidades percibidas de sus componentes cuando fueron evaluados a la misma concentración pero por separado. La línea punteada representa la recta de iden tidad, de pendiente 1,00, alrededor de la cual deberían distribuirse los puntos si las intensidades de cada mezcla fueran, aproximadamente, la suma de las intensidades percibidas de sus componentes aislados (aditividad simple). Sin embargo, los puntos obtenidos se distribuyen aproximándose, sí, a una recta, pero de pendiente 1,50 y ubicada de tal manera que la parte inferior de la misma está por debajo de la recta de identidad, mientras que la superior está por encima. Esto significa que, cuando las intensidades percibidas son bajas o medianas, se encuentra hipoaditividad; pero cuando las intensidades se hacen más altas, se comienza a producir aditividad simple y, aún, hiperaditividad.

Con el objeto de precisar mejor cuáles mezclas producían hipoaditividad, cuáles aditividad simple y cuáles hiperaditividad, se construyó el histograma que se presenta en la Figura 11.

El análisis estadístico reveló que, de las 16 mezclas binarias empleadas, 7 presentan hipoaditividad estadísticamente significativa, 7 presentan aditividad simple (es decir, diferencias no significativas entre el extremo izquierdo y el derecho del rectángulo, en la barra del histograma que representa a esa mezcla), y las otras 2 mezclas presentan hiperaditividad estadísticamente significativa. Cabe destacar nuevamente que las mezclas pasan de la hipoaditividad a la aditividad simple y de allí a la hiperaditividad a medida que aumenta la intensidad percibida de las mismas.

Los resultados obtenidos indicarían que a bajas concentraciones de los irritantes empleados, el olor predomina sobre la pungencia en la intenti

sidad total percibida y, por lo tanto, las mezclas se comportan perceptualmente con la característica típica de las mezclas de olores, es decir la hipoaditividad. A concentraciones intermedias, la pungencia comienza a adquirir una mayor importancia relativa que el olor en la sensación total, de modo que las mezclas presentan aditividad simple. Finalmente, a altas concentraciones de los irritantes, es decididamente la pungencia la que predomina sobre el olor en la intensidad total percibida y las mezclas muestran hiperaditividad.

Con el fin de comprobar experimentalmente lo mencionado en el párrafo anterior, se desarrolló la segunda parte de esta investigación, en la cual, como veremos enseguida, los sujetos desglosaron la intensidad total percibida de cada estímulo químico en intensidad de olor e intensidad de pungencia (ver Cain y Murphy, 1980; Cometto-Muñiz y Cain, 1984). De acuerdo a los conceptos discutidos precedentemente, se podría afirmar que, cuando se analicen las magnitudes de olor percibidas en cada mezcla y se comparen con las magnitudes de olor de los componentes de dicha mezcla aislados, se observará, en la mayoría de los casos, hipoaditividad. En cambio, al analizar las intensidades de pungencia de las mezclas, el fenómeno más común sería aditividad simple, con tendencia a la hiperaditividad. Por otra parte, también se podría afirmar que, al realizar los histogramas análogos al de la Figura 11 de la Sección I, y comparar los resultados obtenidos graficando intensidad total, intensidad de olor percibida e intensidad de pungencia percibida, será esta última y no el olor, la que presente el perfil más similar al perfil del histograma de intensidad total, sobre todo a concentraciones intermedias y altas, indicando que, a esos niveles es la pungencia la sensación que "gufa" a los sujetos en la estimación de las diferencias entre las intensidades percibidas de los distintos estímulos.

c) Sección II: Contribución relativa del olor y de la pungencia a la intensidad total percibida de varias concentraciones de amoníaco, de formaldehído y de sus mezclas binarias

c.1.) Sujetos

Participaron 28 sujetos (10 varones y 18 mujeres) con una edad promedio (\pm desviación estándar) de: 24,1 (\pm 5,2) años. Los 10 varones tenían una edad promedio (\pm desviación estándar) de: 26,1 (\pm 6,8) años. Las 18 mujeres tenían una edad promedio (\pm desviación estándar) de 22,9 (\pm 3,9) años. Siete de los 28 sujetos (4 varones y 3 mujeres) habían participado en los experimentos descritos en la Sección I. (Ver punto a) Materiales y Métodos: Sujetos).

c.2.) Procedimiento

Los participantes emplearon una variante del método de equivalencia de magnitudes ("magnitude matching") (J. C. Stevens y Marks, 1980) para estimar numéricamente la intensidad total percibida de cada estímulo y, luego, desglosar dicha intensidad total en otros dos números: uno que reflejara la intensidad de olor y otro que reflejara la intensidad de pungencia de ese mismo estímulo.

A cada participante se lo instruía sobre el significado del término "pungencia", es decir, todas aquellas sensaciones nasales que no eran propiamente olorosas: irritación (por ejemplo, de la lavandina), ardor y quemazón (por ejemplo, del amoníaco), picazón y cosquilleo (por ejemplo, del gas-dióxido de carbono-de las bebidas gaseosas), punzadura (por ejemplo, del alcohol intensamente inhalado o del vinagre fuerte), frescor (por ejemplo, del mentol o de la menta). De esta manera, los sujetos asignaron al primer estímulo que se les presentó un número arbitrario de intensidad to-

tal percibida (por ejemplo: 50) y lo desglosaron en intensidad de olor (por ejemplo: 35) e intensidad de pungencia (en este ejemplo: 15). De allí en más, los participantes asignaron números que reflejaran la magnitud de la intensidad percibida (intensidad total, de olor y de pungencia) de cada estímulo en base al número asignado al primer estímulo, el cual fue tomado como patrón o referencia (ver S. S. Stevens, 1957, 1975).

Se le hizo notar a cada sujeto que las asignaciones numéricas que realizara sobre la magnitud de las distintas cualidades sensoriales percibidas (intensidad total, de olor o de pungencia) debían basarse en una escala común de magnitud percibida; es decir, que si un olor percibido resultaba cuatro veces menos intenso que una pungencia percibida, se le debía asignar un número que fuera un cuarto del asignado a esa pungencia.

Los distintos estímulos fueron presentados a cada sujeto en orden irregular y, como mínimo, por duplicado. Nuevamente, la 2da. presentación de cualquier estímulo no se realizó hasta no haber completado la 1ra. presentación de cada uno de los restantes estímulos.

c.3.) Resultados

Las funciones de estímulo-respuesta que se presentan en las Figuras 13 a 15 se obtuvieron empleando la media geométrica de las estimaciones realizadas por el grupo de sujetos para cada estímulo (J. C. Stevens, 1957; S. S. Stevens, 1975). Las estimaciones originales de los sujetos fueron "normalizadas" tal como se describe al comienzo de los Resultados de la Sección I (ver Lane y col., 1961; J. C. Stevens y Marks, 1965; Cain y Moskowitz, 1974). Las mencionadas funciones fueron aproximadas a rectas en coordenadas logarítmicas mediante el método de los cuadrados mínimos, usando el coeficiente de correlación (r) como indicador de la bondad de ajuste de cada función.

Se muestran en la Figura 13 las funciones de estímulo-respuesta obtenidas para la intensidad total percibida de los dos irritantes en estudio, presentándolos aislados y en mezclas binarias. Los resultados son coincidentes con los obtenidos en la Sección I, presentados en la Figura 5. Nuevamente, las funciones correspondientes al formaldehído se ajustan mejor a una recta, en coordenadas logarítmicas (función de potencia en coordenadas lineales), que el amoníaco, cuyas funciones vuelven a presentar una concavidad superior. De todos modos, tal como se muestra en la Tabla IV, los coeficientes de correlación (r) para los puntos promedio (medias geométricas) de las funciones obtenidas, aún para las correspondientes al amoníaco, son coeficientes de altos valores.

Confirmando lo hallado en la Sección I, se encuentra que la sensación nasal total provocada por el formaldehído, crece menos empinadamente que la provocada por el amoníaco. El exponente promedio (+ desviación estándar) para las distintas funciones de formaldehído resultó 0,19 (+ 0,04), mientras que para las distintas funciones de amoníaco resultó 0,45 (+ 0,10). Es interesante destacar que, aunque los exponentes aquí obtenidos son algo menores que los hallados en la Sección I (ver Figura 5 y Tabla I), la relación entre los mismos se mantiene prácticamente constante ya que el exponente promedio para el amoníaco, en ambos casos, resultó alrededor de 2,5 veces mayor que el hallado para el formaldehído.

Los exponentes obtenidos para las funciones de estímulo-respuesta de la sensación nasal total provocada por el formaldehído, presentado en forma aislada o en presencia de distintos niveles de amoníaco, se mantienen apreciablemente constantes (ver Tabla IV). En cuanto a los exponentes para la sensación nasal total provocada por el amoníaco, disminuyen en forma leve cuando este irritante, en lugar de ser presentado aisladamente, pasa a ser presentado con varios niveles de formaldehído (Tabla IV).

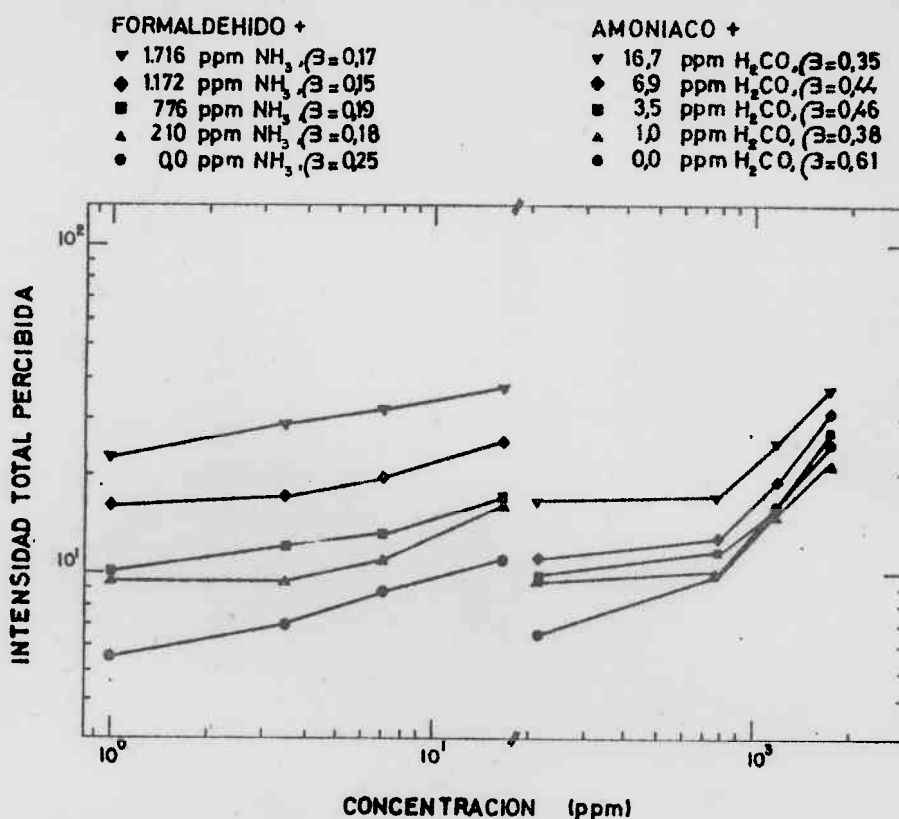


Figura 13. Intensidad total percibida vía nasal en función de la concentración (ppm) para el formaldehído y para el amoníaco, aislados y en presencia de distintos niveles del otro irritante. Para cada función se indica la pendiente (β). Cada punto representa la media geométrica de las 56 estimaciones hechas por 28 sujetos. Las coordenadas son logarítmicas.

La Figura 14 presenta las funciones obtenidas para la intensidad de olor de ambos irritantes. Con los resultados de dicha Figura y los de la Tabla IV, en las columnas referidas a intensidad de olor, se puede observar que apenas hay un muy atenuado crecimiento de la intensidad olorosa con la concentración, en el caso del formaldehído y del amoníaco aislados; en el del formaldehído en presencia de la concentración más baja de amoníaco y en los casos del amoníaco en presencia de cada una de las dos concentraciones más bajas de formaldehído. Estas cinco funciones que acabamos de mencionar son las únicas, entre el total de diez, cuyos exponentes son superiores a 0,0 y que, además, poseen coeficientes de correlación (para las medias geométricas) con valores altos (es decir, mayores que 0,80) (Tabla IV). En el resto de las funciones, no hay prácticamente variación de la intensidad del olor percibida en función de la concentración para ninguno de

TABLA IV

	INTENSIDAD TOTAL		INTENSIDAD DE OLOR		INTENSIDAD DE PUNGENCIA	
	Exponente α Pendiente (β)	Coef. Corr. *	Exponente α Pendiente (β)	Coef. Corr. *	Exponente α Pendiente (β)	Coef. Corr. *
H ₂ CO	0,25	0,99	0,19	0,92	0,61	0,93
H ₂ CO + 210 ppm NH ₃	0,18	0,86	0,10	1,00	0,36	0,81
H ₂ CO + 776 ppm NH ₃	0,19	0,99	-0,01	-0,12	0,34	0,97
H ₂ CO + 1.172 ppm NH ₃	0,15	0,92	-0,01	-0,45	0,18	0,96
H ₂ CO + 1.716 ppm NH ₃	0,17	1,00	-0,06	-0,34	0,21	0,99
	0,19($\pm 0,04$)**					
NH ₃	0,61	0,94	0,25	0,97	0,92	0,97
NH ₃ + 1,0 ppm H ₂ CO	0,38	0,83	0,19	0,87	0,66	0,86
NH ₃ + 3,5 ppm H ₂ CO	0,46	0,89	0,14	0,85	0,88	0,93
NH ₃ + 6,9 ppm H ₂ CO	0,44	0,88	-0,04	-0,29	0,70	0,90
NH ₃ + 16,7 ppm H ₂ CO	0,35	0,83	0,03	0,14	0,48	0,87
	0,45($\pm 0,10$)**					

* : Coeficientes de Correlación para las Medias Geométricas.

** : Media Aritmética (\pm Desviación Estándar).

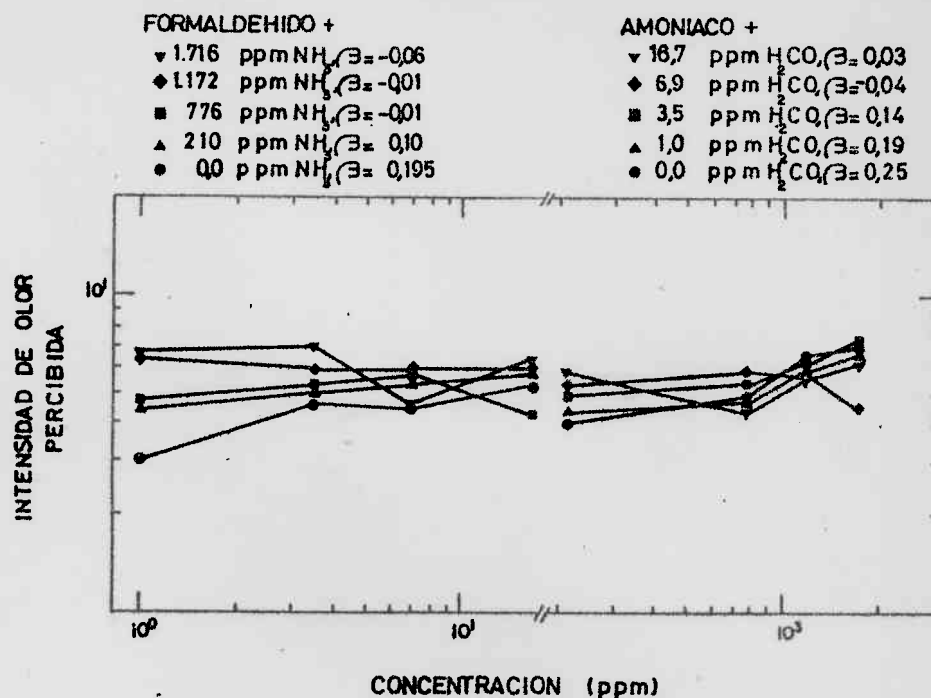


Figura 14. Intensidad de olor percibida en función de la concentración (ppm) para el formaldehído y para el amoníaco, aislados y en presencia de distintos niveles del otro odorivector. Para cada función se indica la pendiente (β). Cada punto representa la media geométrica de las 56 estimaciones hechas por 28 sujetos. Las coordenadas son logarítmicas.

los dos irritantes.

Por su parte, la Figura 15 muestra las funciones obtenidas para la intensidad de pungencia de los dos irritantes. Los resultados presentados en esta figura y en la Tabla IV indican que, contrariamente a lo ocurrido con la intensidad de olor, todas las funciones de intensidad de pungencia, tanto para el formaldehído como para el amoníaco, tienen exponentes muy superiores a 0,0 y coeficientes de correlación (para las medias geométricas) de valores altos. Es decir que, para todas las funciones de ambos irritantes, hay variaciones importantes de la intensidad de pungencia percibida en función de la concentración de los mismos. Haciendo un análisis comparativo de las Figuras 13, 14 y 15, se puede observar que la forma general de las funciones de estímulo-respuesta es semejante entre las de intensidad total (Figura 13) y las de intensidad de pungencia (Figura 15), siendo, en cambio, distintas las de intensidad de olor (Figura 14).

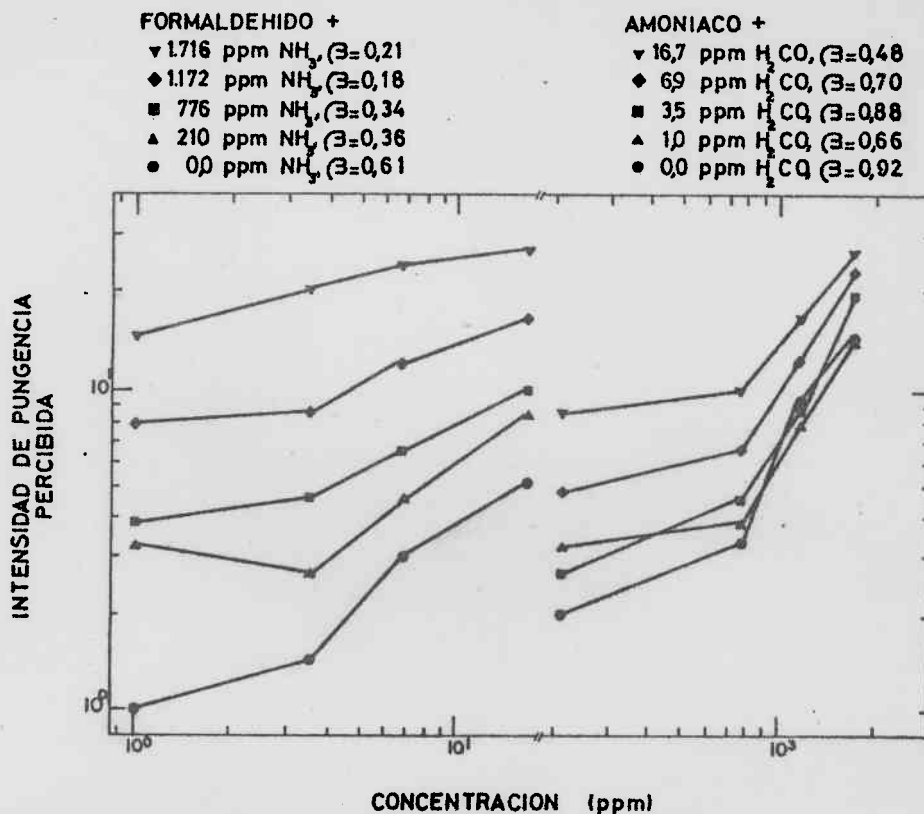


Figura 15. Intensidad de pungencia percibida en función de la concentración (ppm) para el formaldehído y para el amoníaco, aislados y en presencia de distintos niveles del otro irritante. Para cada función se indica la pendiente (β). Cada punto representa la media geométrica de las 56 estimaciones hechas por 28 sujetos. Las coordenadas son logarítmicas.

En la Discusión de la Sección I, mencionamos como posibilidad que la concavidad superior observada en las funciones correspondientes al amoníaco, aislado o en mezclas, podría deberse a un cambio de una estimulación predominantemente olfativa (a bajas concentraciones) a otra estimulación predominantemente trigeminal o pungente (a altas concentraciones), y que, si ello era así, la pungencia percibida del amoníaco debería crecer en forma más empinada que el olor percibido del mismo, ya sea que el estímulo fuera presentado en forma aislada o en mezclas. Es éste, precisamente, el resultado que se obtiene en esta Sección II: la función de pungencia percibida del amoníaco, aislado o en mezclas, crece más empinadamente (es decir, presenta exponentes mayores) que la función de olor percibido y, también,

que la de intensidad total percibida de ese mismo irritante (Figuras 13, 14 y 15). Sin embargo, las funciones de pungencia percibida correspondientes al amoníaco, aislado y en mezclas, siguen presentando una concavidad superior como la que presentan las funciones de intensidad total percibida, a pesar de que se supone que, en las primeras, el componente oloroso no es tenido en cuenta por los participantes. Esto podría deberse, principalmente, a dos causas: la primera, que los sujetos no logren desdoblarse perfectamente la intensidad total en intensidades de olor y de pungencia; la segunda, que dicha concavidad o quiebre de las funciones correspondientes al amoníaco sea característica de esta sustancia como tal y que se extiende tanto a la percepción de su intensidad total como a la de su pungencia.

También para el caso del formaldehído se cumple que la función de pungencia percibida de este irritante, aislado o en mezclas, crece en forma más empinada que las funciones de olor percibido y de intensidad total percibida (ver Figuras 13, 14 y 15).

Acercas de las funciones de olor percibido para ambos compuestos en estudio, poco se puede decir ya que, como se aprecia en la Figura 14, las variaciones de la intensidad de olor de las dos sustancias en el rango explorado son mínimas, probablemente enmascaradas por las variaciones de la intensidad de pungencia. Como se mencionó anteriormente, de las diez funciones de intensidad olorosa (Figura 14 y Tabla IV), la mitad presenta un exponente de 0,0, es decir, en ellas, la intensidad de olor es independiente de las variaciones de concentración de los irritantes; mientras que la otra mitad presenta exponentes bajos, entre 0,10 y 0,25, los cuales indican un muy atenuado crecimiento del olor percibido con la concentración de los irritantes.

La Figura 16, Parte A, presenta la relación entre la intensidad total percibida de cada mezcla (Ψ_{mezcla}) y la suma de las intensidades totales percibidas de los componentes de dicha mezcla cuando fueron evaluados a la misma concentración pero aislados ($\Psi_{\text{H}_2\text{CO}} + \Psi_{\text{NH}_3}$). Las Partes B y C muestran funciones análogas a la anterior, pero representando, en vez de intensidad total, intensidad de olor percibido e intensidad de pungencia percibida, respectivamente, para los mismos estímulos que en la Parte A. En las tres partes de la Figura 16, la línea punteada representa una recta trazada a 45° y, por lo tanto, de pendiente 1,00. Cabe recordar que, como se comentó en la Sección I, Figura 10, si la intensidad percibida de las mezclas (Ψ_{mezcla}) coincidiera con la suma de las intensidades percibidas de sus componentes aislados ($\Psi_{\text{H}_2\text{CO}} + \Psi_{\text{NH}_3}$) los puntos experimentales deberían ubicarse alrededor de dicha recta trazada a 45° .

La función obtenida cuando se representa la intensidad total de los estímulos (Figura 16, Parte A) puede ser aproximada por una recta de pendiente 1,00, con un alto coeficiente de correlación ($r = 0,97$), prácticamente paralela a la recta de 45° pero desplazada hacia abajo respecto de ella. Esto indica que la intensidad total percibida de las mezclas en estudio resultó menor que la suma de las intensidades totales de los componentes de esas mezclas, evaluados por separado. Se trata, por lo tanto, de un caso de hipoaditividad.

En el caso de representar la intensidad de olor de los estímulos (Figura 16, Parte B), se obtiene una nube de puntos por debajo de la recta a 45° y muy compacta, donde la variación de la intensidad de olor percibida, ya sea en el eje de las ordenadas (Ψ_{mezcla}) o en el de las abscisas ($\Psi_{\text{H}_2\text{CO}} + \Psi_{\text{NH}_3}$), es sumamente pequeña. Esto indica, por un lado, que la intensidad de olor percibida resulta hipoaditiva (puntos por debajo de la recta a 45°) y, por otro, que no es la intensidad de olor la que produ-

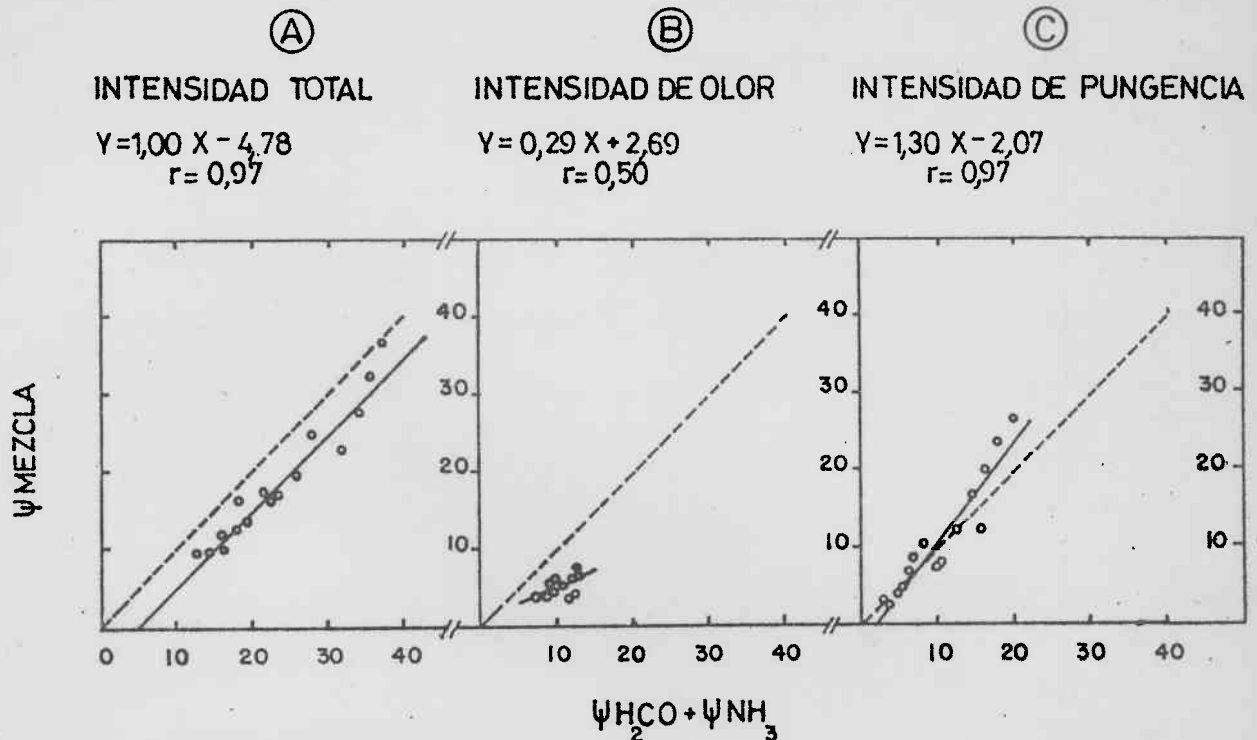


Figura 16. Se muestra para las 16 mezclas binarias de formaldehído y amoníaco la relación entre la intensidad percibida de las mezclas y la suma de las intensidades percibidas de los componentes de esas mezclas, a la misma concentración, pero presentados por separado. Dicha relación se presenta, en la Parte A, para la intensidad total percibida de las mezclas; en la Parte B, para el olor percibido de las mezclas y en la Parte C, para la pungencia percibida de las mezclas.

ce una variación de la intensidad total percibida de la magnitud que se observa en la Figura 16, Parte A. Si la función que se obtiene al representar intensidad de olor se intenta aproximar a una recta, la pendiente resulta 0,29, aunque el coeficiente de correlación es relativamente bajo ($r = 0,50$).

Cuando se representa intensidad de pungencia de los estímulos (Figura 16, Parte C) la función obtenida puede ser aproximada con bastante precisión por una recta de pendiente 1,30 y alto coeficiente de correlación ($r = 0,97$). Cabe destacar que, en este caso, los puntos constituyentes de la función se encuentran, aproximadamente, en coincidencia con la recta a 45° (a niveles bajos y medios de intensidad percibida) o, aún, por encima de dicha recta (a niveles altos de intensidad percibida). Es decir, que

la intensidad de pungencia percibida de las mezclas resulta aditiva, o, aún, hiperaditiva respecto de la suma de las intensidades de pungencia percibidas de los componentes de dichas mezclas. Por otro lado, observando las tres partes de la Figura 16, se concluye que la función que más se asemeja a la de intensidad total percibida es la función correspondiente a intensidad de pungencia, no sólo por ser ambas las que mejor se aproximan a una recta, sino, también, por presentar ambas una distribución de puntos similar.

Los histogramas de las Figuras 17, 18 y 19 son análogos al presentado en la Figura 11. Las barras que representan la intensidad percibida (total, de olor, o de pungencia) de las distintas mezclas binarias de formaldehído y amoníaco, llevan remarcadas en su extremo derecho un rectángulo que puede ser vacío o sombreado. Los rectángulos vacíos indican casos de mezclas hipoaditivas. Es decir, el extremo izquierdo del rectángulo, donde nace el segmento que representa el error estándar, señala la intensidad percibida de la mezcla, mientras que el extremo derecho señala la suma de las intensidades percibidas de los componentes de esa mezcla cuando fueron evaluados por separado. Los rectángulos sombreados, en cambio, indican casos de mezclas hiperaditivas. Aquí el extremo izquierdo del rectángulo es lo que ahora señala la suma de las intensidades percibidas de los componentes de la mezcla, mientras que el extremo derecho (mayor intensidad) señala la intensidad percibida de esa mezcla como tal.

En la Figura 17 se muestra el histograma que ilustra la intensidad total percibida de las cuatro concentraciones de amoníaco, en ausencia de formaldehído y en presencia de cuatro niveles crecientes del mismo. En la misma Figura 17, abajo, se representa la intensidad total percibida de las cuatro concentraciones de formaldehído, en ausencia de amoníaco y en presencia de cuatro niveles crecientes del mismo.

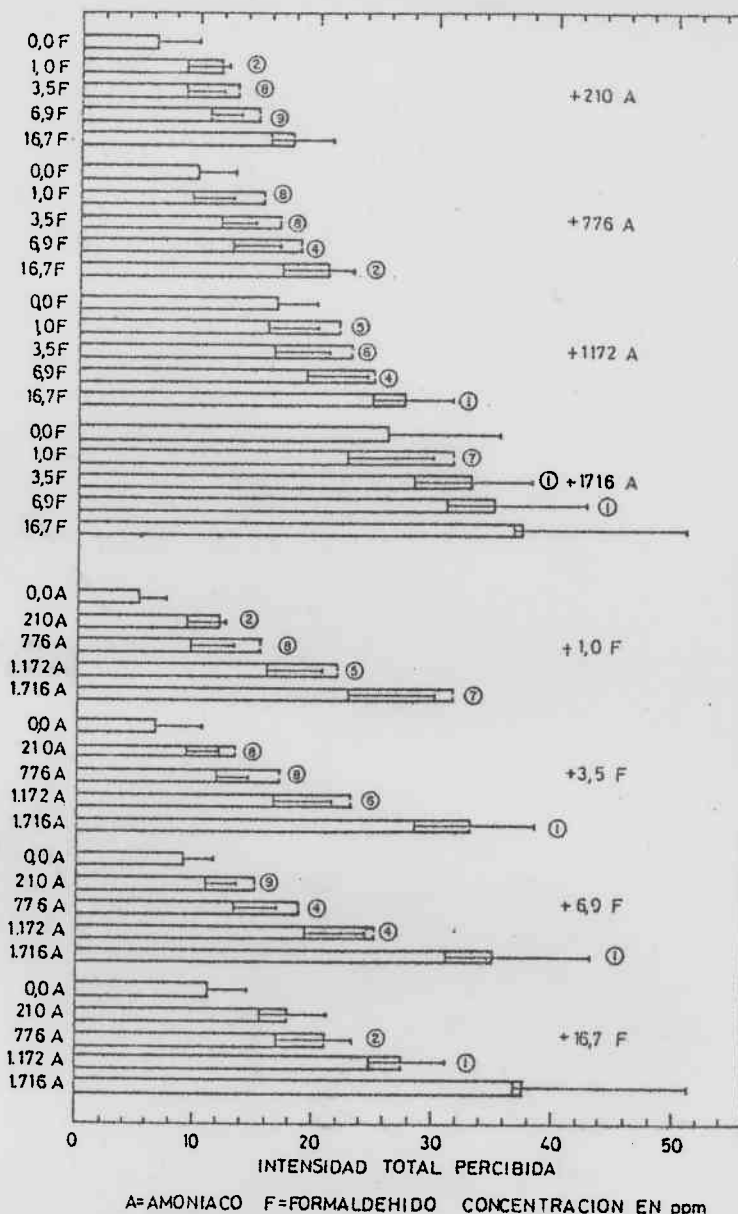


Figura 17. Histograma que representa la intensidad total percibida vía nasal de distintas concentraciones de amoníaco y de formaldehído, aislados y en presencia de niveles crecientes del otro irritante. Cada barra representa la media geométrica de las 56 estimaciones hechas por 28 sujetos para ese estímulo. Para cada barra se indica el error estándar. Los rectángulos vacíos al final de las barras indican grados de hipoaditividad. Los números en un círculo al final de las barras representan hipoaditividad estadísticamente significativa, de acuerdo a la siguiente clave: ①: $p < 0,05$; ②: $p < 0,01$; ④: $p < 0,001$; ⑤: $p < 5 \times 10^{-4}$; ⑥: $p < 10^{-4}$; ⑦: $p < 5 \times 10^{-5}$; ⑧: $p < 10^{-5}$; ⑨: $p < 5 \times 10^{-6}$; test t.

Los histogramas de las figuras 18 y 19 representan la intensidad de olor y la de pungencia, respectivamente, de cada uno de los mismos estímulos de la Figura 17.

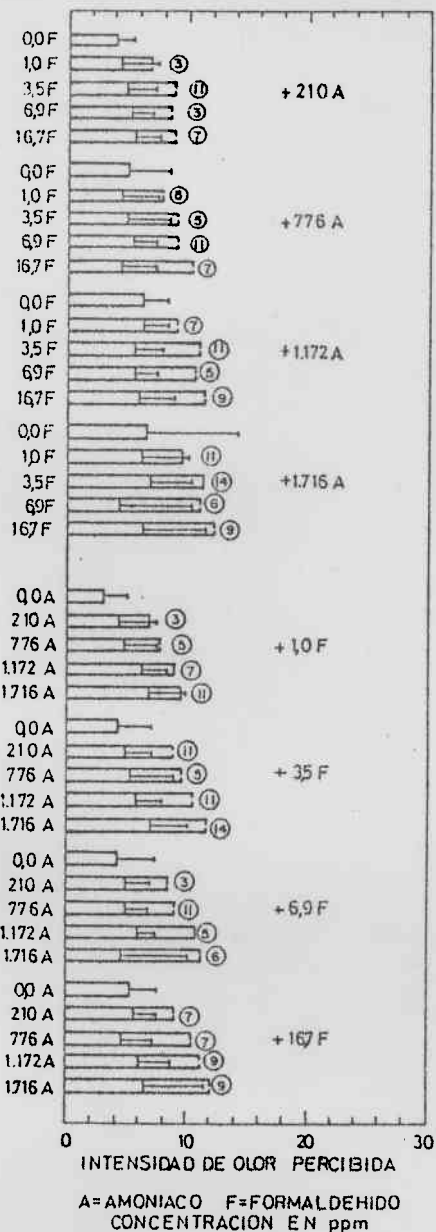


Figura 18. Histograma que representa la intensidad de olor percibida de distintas concentraciones de amoníaco y de formaldehído, aislados y en presencia de niveles crecientes del otro odorivector. Cada barra representa la media geométrica de las 56 estimaciones hechas por 28 sujetos para ese estímulo. Para cada barra se indica el error estándar. Los rectángulos vacíos al final de las barras indican grados de hipoaditividad. Los números en un círculo al final de las barras representan hipoaditividad estadísticamente significativa (test t), de acuerdo a la siguiente clave: ③ : $p < 5 \times 10^{-3}$; ⑤ : $p < 5 \times 10^{-4}$; ⑥ : $p < 10^{-4}$; ⑦ : $p < 5 \times 10^{-5}$; ⑨ : $p < 5 \times 10^{-6}$; ⑪ : $p < 5 \times 10^{-7}$; ⑭ : $p < 10^{-8}$; test t.

Para comparar estadísticamente la intensidad percibida (total, de olor, o de pungencia) de cada mezcla con la suma de las intensidades percibidas (totales, de olor, o de pungencia) de sus componentes presentados

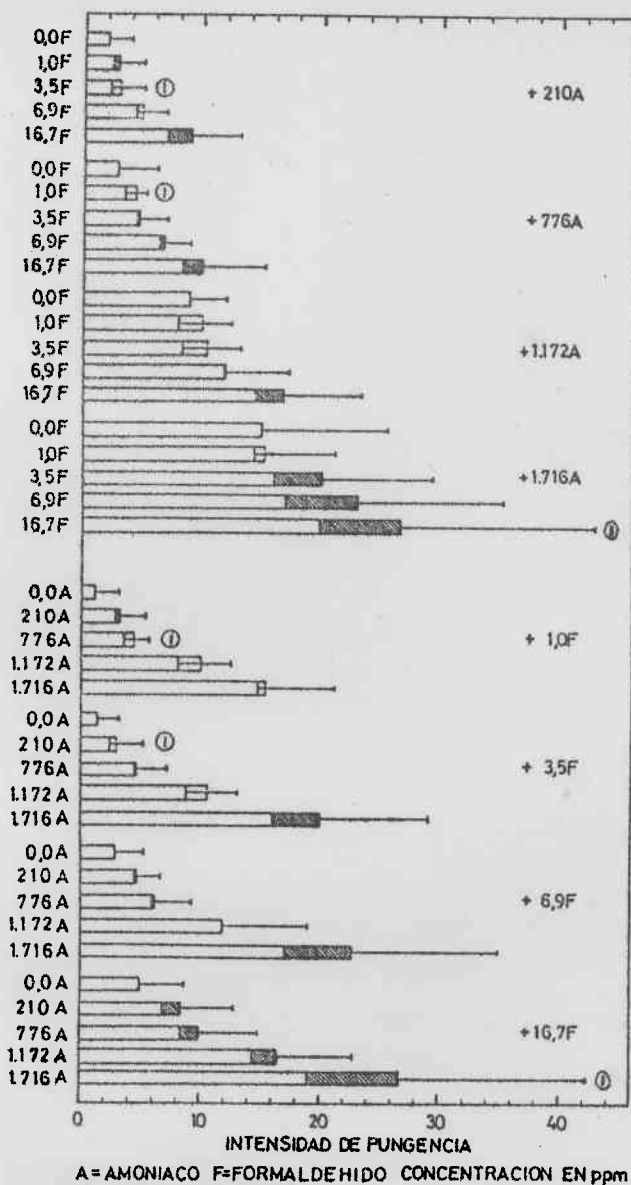


Figura 19. Histograma que representa la intensidad de pungencia percibida de distintas concentraciones de amoníaco y de formaldehído, aisladamente y en presencia de niveles crecientes del otro irritante. Cada barra representa la media geométrica de las 56 estimaciones hechas por 28 sujetos para ese estímulo. Para cada barra se indica el error estándar. Los rectángulos vacíos al final de las barras indican grados de hipoaditividad; los rectángulos sombreados, en cambio, indican grados de hiperaditividad. Los números en un círculo al final de las barras representan hipoaditividad (barras con rectángulos vacíos) o hiperaditividad (barras con rectángulos sombreados) estadísticamente significativa, de acuerdo a la siguiente clave: ①: $p < 0,05$; test t.

aisladamente, se aplicó el test t de Student para una media. Para ello, se utilizó como conjunto de datos la diferencia obtenida, para cada sujeto, entre la magnitud percibida (total, de olor o de pungencia) de cada mezcla y

la suma de las magnitudes percibidas (totales, de olor, o de pungencia) de los componentes de dicha mezcla. Para desarrollar estas pruebas estadísticas, se empleó el logaritmo (ver S. S. Stevens, 1959 b) de las estimaciones "normalizadas" de los sujetos, puesto que las mismas presentan una distribución log normal (J.C. Stevens, 1957; S. S. Stevens, 1975).

El análisis estadístico de los resultados que se presentan en la Figura 17 para la intensidad total percibida revela que, de las 16 mezclas binarias, 14 presentan hipoaditividad significativa por lo menos al nivel del 5% (test t), mientras que las otras 2 presentan aditividad simple. Cabe recordar que hipoaditividad significativa quiere decir, en este caso, que la intensidad total percibida de esa mezcla es significativamente menor que la suma de las intensidades totales percibidas de los componentes de dicha mezcla cuando fueron evaluados en forma aislada. Aditividad simple quiere decir que no existen diferencias significativas (test t) entre la intensidad total percibida de la mezcla y la suma de las intensidades totales percibidas de sus componentes evaluados aisladamente.

Por su parte, el análisis estadístico de los datos presentados en la Figura 18 para la intensidad de olor percibida muestra que la totalidad de las 16 mezclas binarias presentan hipoaditividad significativa por lo menos al nivel del 0,5% (test t).

Finalmente, el análisis estadístico de los resultados que se muestran en la Figura 19 para la intensidad de pungencia revela que, de las 16 mezclas binarias, 2 presentan hipoaditividad significativa (al nivel del 5%, test t), 13 presentan aditividad simple y 1 presenta hiperaditividad significativa (al nivel del 5%, test t). Recordemos que hiperaditividad significativa quiere decir, en este caso, que la intensidad de pungencia percibida de esa mezcla es significativamente mayor que la suma de las in-

tensidades de pungencia percibidas de los componentes de dicha mezcla evaluados aisladamente.

c.4.) Discusión (Sección II)

Las funciones obtenidas al graficar intensidad total percibida vía nasal en función de la concentración para el formaldehído, el amoníaco y sus varias mezclas binarias (Figura 13) resultan muy similares a las halladas en la Sección I (Figura 5), con lo cual se confirman los resultados anteriores obtenidos. Es decir, la sensación nasal total provocada por el formaldehído y por el amoníaco, así como sus mezclas, se ajusta aproximadamente a funciones de potencia (S. S. Stevens, 1957, 1975). El exponente de dichas funciones (que se convierte en la pendiente al graficar en coordenadas logarítmicas) tiene un valor de, aproximadamente, 0,2 para el formaldehído y entre 0,4 y 0,7 para el amoníaco. Por otra parte, las funciones correspondientes a este último irritante tienen la particularidad de presentar una marcada concavidad superior.

Analizando comparativamente los gráficos presentados en las Figuras 13, 14 y 15, donde se muestran las funciones estímulo-respuesta para los atributos de intensidad total, de olor y de pungencia, respectivamente, de los mismos estímulos, se puede apreciar una relativa similitud en la forma general de las funciones correspondientes al primero y al tercero de estos atributos (ver Cometto-Muñiz y Cain, 1984). Sin embargo, en la comparación de los gráficos correspondientes a intensidad de olor e intensidad de pungencia percibidos con el correspondiente a intensidad total percibida, existen particularidades propias de cada irritante que, a continuación, consideraremos. Dicha comparación puede realizarse basándose en dos parámetros: la forma de crecimiento del olor y de la pungencia comparadas con la de la intensidad total (dadas por el exponente o pendiente de la respectiva fun-

ción), y las intensidades relativas de olor y de pungencia para producir la intensidad total (dadas por la posición de cada atributo en el eje que representa la intensidad percibida). Comenzaremos con la discusión del primero de estos parámetros para cada uno de los dos irritantes.

Los exponentes obtenidos para la intensidad total percibida del formaldehído, tanto aislado como en mezclas (Figura 13 y Tabla IV), son prácticamente idénticos a los hallados en la Sección I (Figura 5 y Tabla I) y oscilan alrededor de 0,2. Los resultados de la evaluación del formaldehído aislado (es decir con 0 ppm de NH_3) constituyen el único caso en que el exponente de la función de intensidad total: 0,25 es considerablemente más similar al exponente de la función de intensidad de olor: 0,20 que al de la función de intensidad de pungencia: 0,61. Veremos enseguida que en todos los demás casos, para los dos irritantes, el exponente correspondiente a la intensidad total es más similar al de intensidad de pungencia o, a lo sumo, es un promedio entre los exponentes de pungencia y de olor. Para las funciones de formaldehído en presencia de la concentración más baja de amoníaco ($\text{H}_2\text{CO} + 210 \text{ ppm NH}_3$), el exponente correspondiente a intensidad total: 0,18, es, aproximadamente, un promedio entre los correspondientes a intensidad de olor: 0,10 e intensidad de pungencia: 0,36. Finalmente, las funciones de formaldehído en presencia de cada una de las otras tres concentraciones de amoníaco ($\text{H}_2\text{CO} + 776 \text{ ppm NH}_3$, $\text{H}_2\text{CO} + 1.172 \text{ ppm NH}_3$ y $\text{H}_2\text{CO} + 1.716 \text{ ppm NH}_3$) sólo poseen coeficientes de correlación altos (Tabla IV) para la representación de intensidad total y la de pungencia; para la representación del olor percibido, los coeficientes de correlación son bajos y los exponentes son cercanos a 0,0 indicando que, en esas condiciones experimentales, no hay prácticamente variaciones en la intensidad de olor de los estímulos empleados. De este modo, los exponentes correspondientes a intensidad total y de pungencia de las funciones de formaldehído recién

mencionadas son similares, aunque los de intensidad de pungencia sean ligeramente superiores.

Puede observarse en la Figura 15 que el exponente (pendiente en las coordenadas logarítmicas de la Figura) de las funciones correspondientes a la pungencia percibida del formaldehído va disminuyendo de 0,6 a 0,2 a medida que aumenta el "fondo" (background) de amoníaco. Recordemos que la Figura 14 nos muestra que, en ese mismo rango de concentraciones de formaldehído, la intensidad de olor se mantiene casi constante. Por una parte, lo que ocurre al aumentar el nivel del "fondo" de pungencia dado por el amoníaco es un aumento porcentual mayor en la pungencia percibida de las concentraciones más bajas de formaldehído con respecto a las concentraciones más altas. Esto hace que las funciones se desplacen hacia arriba en el eje de las ordenadas y que, al desplazarse en mayor proporción la pungencia percibida de las concentraciones bajas, los exponentes (pendientes) de las sucesivas funciones disminuyan y, por lo tanto, dichas funciones se achaten.

Por otra parte, también ocurre en las funciones de formaldehído que, cuando el "fondo" de amoníaco es nulo o bajo (0 y 210 ppm NH_3), la intensidad de olor, que como dijimos se mantiene constante, tiene un mayor peso porcentual sobre la intensidad total que la intensidad de pungencia y, por lo tanto, las funciones de intensidad total vs. concentración de formaldehído presentan exponentes semejantes a las de intensidad de olor vs. concentración de formaldehído (caso de $\text{H}_2\text{CO} + 0$ ppm NH_3 y, en menor medida, de $\text{H}_2\text{CO} + 210$ ppm NH_3). En cambio, cuando el "fondo" de amoníaco se hace mayor (776, 1.172 y 1.716 ppm NH_3), la intensidad de olor tiene cada vez un menor peso porcentual sobre la intensidad total en relación con el peso de la intensidad de pungencia. Por lo tanto, las funciones de intensidad total vs. concentración de formaldehído presentan exponentes semejantes a las de in-

intensidad de pungencia vs. concentración de formaldehído (caso de $H_2CO + 776 \text{ ppm } NH_3$, $H_2CO + 1.172 \text{ ppm } NH_3$ y $H_2CO + 1.716 \text{ ppm } NH_3$).

En cuanto a los exponentes correspondientes a la intensidad total percibida en función de la concentración de amoníaco, se puede observar en la Figura 13 y la Tabla IV que disminuyen ligeramente cuando dicha sustancia pasa de ser presentada aisladamente (exponente: 0,61) a ser presentada con cada uno de los cuatro niveles crecientes de formaldehído (exponente promedio \pm desviación estándar: $0,41 \pm 0,05$). Esta leve caída del valor del exponente para las funciones de amoníaco no había sido observada en la Sección I (ver Figura 5 y Tabla I). Para las funciones de amoníaco en presencia de 0; 1,0 y 3,5 ppm de formaldehído, el exponente correspondiente a intensidad total en cada caso resulta, aproximadamente, un promedio de los exponentes correspondientes a intensidad de olor e intensidad de pungencia en cada una de esas tres condiciones (Tabla IV). En las otras dos restantes funciones de amoníaco, es decir, en presencia de 6,9 y de 16,7 ppm de formaldehído, los exponentes para intensidad de olor se hacen igual a 0,0 (con muy bajos coeficientes de correlación), resultando significativos sólo los exponentes para intensidad total y de pungencia, estos últimos siempre mayores que los primeros (Tabla IV). Por lo tanto, vuelve a ocurrir para el amoníaco, como antes para el formaldehído, que, llegado un determinado nivel del irritante que actúa como "fondo", las funciones de intensidad de olor se "derrumban", haciéndose horizontales, e indicando que la intensidad de olor ya no varía en función de la concentración del irritante de prueba que está siendo evaluado. Estos resultados refuerzan el concepto de una interacción inhibitoria mutua entre olor y pungencia (o irritación) que ya había sido observado experimentalmente desde el siglo pasado (Bain, 1868; Katz y Talbert, 1930; Cain y Murphy, 1980).

Análogamente a lo comentado para el formaldehído, la Figura 15 tam-

bién muestra una disminución, aunque menos marcada y regular, del valor del exponente para la función de intensidad de pungencia del amoníaco, cuando, de ser presentado en forma aislada, pasa a ser presentado con niveles crecientes de formaldehído como "fondo". El exponente para la pungencia del amoníaco aislado: 0,92, llega a ser considerablemente reducido sólo en presencia de la concentración más alta de formaldehído (16,7 ppm) donde el valor de dicho exponente es 0,48, prácticamente la mitad del anterior. Recordemos que, en el caso del formaldehído, esta reducción era más drástica pues el exponente para la pungencia de este irritante aislado: 0,61, disminuía a 0,21, prácticamente un tercio del anterior, en presencia del nivel más alto del "fondo" de amoníaco (1,716 ppm).

La explicación de la disminución del exponente para la pungencia del amoníaco se sustenta en el mismo efecto mencionado para el caso del formaldehído: una mayor proporción de desplazamiento hacia valores superiores de pungencia percibida por parte de las concentraciones bajas del amoníaco, con respecto a las concentraciones altas, a medida que aumenta el "fondo" de pungencia dado, en este caso, por el formaldehído. Por otra parte, la observación de que la disminución del exponente para la intensidad de pungencia sea mayor en el caso del formaldehído que en el del amoníaco, se fundamenta en que, tal como se ve en la Figura 15, la pungencia percibida de las concentraciones más bajas de formaldehído, en ausencia de amoníaco, es muy pequeña y se incrementa notablemente en presencia de la concentración más baja de amoníaco (210 ppm) produciendo un importante achatamiento de la función cuyo exponente se reduce de 0,61 a 0,36. Este fenómeno, aunque también existe, no es, en proporción, tan dramático en el caso de la función para intensidad de pungencia del amoníaco, cuando, de ser presentado aislado, pasa a presentarse con la concentración más baja de formaldehído (1,0 ppm) como "fondo". En este último caso, el exponente se reduce de 0,92

a 0,66, pero esta disminución no continúa con sucesivos aumentos del nivel de "fondo" de formaldehído, como ocurría en el caso inverso ("fondo" de amoníaco). Es así como, al aumentar el "fondo" de formaldehído de 1,0 a 3,5 y, luego, a 6,9 ppm, los exponentes vuelven a subir, siendo 0,88 y 0,70 respectivamente. Como se mencionaba antes, recién en presencia del nivel de fondo más alto del formaldehído (16,7 ppm) el exponente de intensidad de pungencia para el amoníaco disminuye en forma importante, reduciéndose al valor de 0,48.

Corresponde en este punto recordar la hipótesis de Bartoshuk (1975) y Bartoshuk y Cleveland (1977) que mencionamos en la Introducción bajo el título "Mezclas de sustancias sápidas". Allí se decía que estas investigadoras postulaban que mezclas de compuestos sápidos cuyas funciones individuales de estímulo-respuesta sean "comprimidas" (exponente menor que 1,0) exhibirán supresión o hipoaditividad; mezclas de compuestos sápidos cuyas funciones individuales sean "expandidas" (exponente mayor que 1,0) exhibirán sinergismo o hiperaditividad; finalmente, mezclas de compuestos sápidos cuyas funciones individuales sean lineales (exponente igual a 1,0) exhibirán aditividad simple. Si asumimos que estos conceptos pueden ser extendidos a odorivectores e irritantes, y flexibilizamos el valor 1,0 del exponente de referencia, podemos postular, en base a los datos de la Tabla IV, que la pungencia percibida deberá presentar un grado considerablemente mayor de aditividad que el olor percibido, mientras que la intensidad total percibida deberá presentar un grado de aditividad intermedio entre olor y pungencia. Esto debería ser así puesto que la Tabla IV muestra, tanto para el formaldehído como para el amoníaco, que los exponentes más altos se obtuvieron para las funciones de intensidad de pungencia percibida, siguiéndole los correspondientes a intensidad total percibida y, por último, los correspondientes a intensidad de olor percibido. Esta línea de razonamiento, como se

vio al exponer los Resultados de la Sección II, fue confirmada experimentalmente, ya que la pungencia percibida presentó aditividad simple en la inmensa mayoría de las mezclas binarias llegando, incluso, hasta la hiperaditividad; la intensidad total percibida presentó, en la mayoría de las mezclas, hipoaditividad, pero también un par de casos de aditividad simple; finalmente, el olor percibido presentó altos grados de hipoaditividad en la totalidad de las mezclas (Figuras 17, 18 y 19).

Comparando los histogramas de las Figuras 11 y 17 que representan la intensidad total percibida de cada uno de los estímulos (sustancias aisladas y mezclas) empleados en la presente investigación, se puede observar que, si bien la forma general de los mismos es muy similar, hay diferencias en cuanto al grado de aditividad de las mezclas de concentraciones intermedias y altas de formaldehído y amoníaco. En la Figura 11 hay cinco mezclas que presentan una aparente hiperaditividad de la intensidad total percibida, pero en sólo dos de ellas este resultado es estadísticamente significativo. En la Figura 17, en cambio, esas cinco mezclas presentan aditividad simple (dos de ellas) o hipoaditividad significativa (las otras tres).

Probablemente haya tenido influencia en estas diferencias la variación en el grado de complejidad de la tarea realizada por los sujetos. En la primera condición (Figura 11) la tarea de los participantes fue unívoca y más sencilla: sólo debían asignar números que reflejaran la intensidad (total) percibida de cada estímulo en base a un número arbitrario asignado a la intensidad de un estímulo patrón. En la segunda condición (Figura 17), la tarea de los sujetos fue más compleja e involucraba la consideración de varios aspectos: además de tener que asignar números proporcionales a la intensidad total percibida, los participantes debían discriminar los componentes oloroso y pungente de cada estímulo y, además, cuantificarlos en una escala común de magnitud percibida. Es así que, en esta segunda condición, la

atención y la meticulosidad que podían brindar los sujetos al primer aspecto de la tarea (estimación de la intensidad total percibida) quedaban disminuidas respecto de la primera condición. Más aún, la instrucción dada a los sujetos en la Sección II pudo haberlos llevado a dar cierta prioridad a la evaluación del olor y de la pungencia sobre la evaluación de la intensidad total.

Basado en estas consideraciones, quizás sea más apropiado y representativo referir el comportamiento de la intensidad total percibida de las mezclas empleadas al histograma de la Figura 11, mientras que, en la Sección II, se debería analizar predominantemente el comportamiento de la intensidad de olor percibida y de la intensidad de pungencia percibida de esas mismas mezclas. Esto no es sorprendente, puesto que ya con anterioridad se había encontrado que los métodos de estimación de la magnitud y equivalencia de magnitudes no daban resultados exactamente coincidentes debido a su diferente complejidad y a que cada uno de ellos pone énfasis en distintos aspectos perceptuales, como se deduce de sus respectivas instrucciones (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985).

La mayor complejidad de la técnica de equivalencia de magnitudes probablemente haya influido en forma importante en el aumento de la variabilidad de las respuestas de los sujetos. Dicho aumento se refleja, a su vez, en los mayores valores de error estándar respecto del tamaño de la escala apreciados en las Figuras 17, 18 y, sobre todo, la 19, comparados con sus similares de la Figura 11. Es por este motivo que los considerables porcentajes de hiperaditividad que resultan en varias mezclas de la Figura 19 sólo alcanzan significación estadística en una sola de dichas mezclas, no obstante su clara tendencia a ser cada vez mayores al aumentar la pungencia percibida.

Una de las formas en que se podría atenuar el problema acarreado por la diferente complejidad de las técnicas psicofísicas empleadas sería la de utilizar sólo el método de equivalencia de magnitudes y presentar cada estímulo (sustancia aislada o mezcla) tres veces: una vez para pedir al sujeto una estimación de la intensidad total; otra para pedirle que estime intensidad de olor y, la tercera, para que evalúe intensidad de pungencia (ver Cain, 1976). Sin embargo, es aconsejable que cada estimación se realice, por lo menos, por duplicado. Esto quiere decir que cada estímulo debería presentarse, como mínimo, seis veces. Como en la presente investigación se emplearon veinticuatro estímulos, esto llevaría el total de presentaciones de estímulos a: $24 \times 6 = 144$, imposible de realizar en una sesión sin provocar fatiga atencional y, probablemente, adaptación fisiológica del sujeto.

En este trabajo se prefirió tener una aproximación de tipo más general al estudio de los efectos perceptuales de la estimulación del SQC, pero empleando un amplio número de estímulos, tanto aislados como en mezclas. No se descarta, sin embargo, sobre la base de los resultados aquí hallados, reducir el número de estímulos y hacer un planteo como el comentado más arriba. Incluso dividiendo la presentación del número total de estímulos en varias sesiones y estudiando la mejor manera de lograr que las estimaciones de cada sujeto en las distintas sesiones sean comparables entre ellas.

Resulta interesante comparar los gráficos obtenidos de intensidad percibida de las mezclas en función de la suma de las intensidades percibidas de los componentes de las mismas, para los tres atributos en estudio de esta Sección II: intensidad total (Figura 16, Parte A), intensidad de olor (Figura 16, Parte B) e intensidad de pungencia (Figura 16, Parte C). En esta comparación hay dos aspectos a considerar: el primero se refiere a la posición de los puntos de las respectivas funciones con relación a la

recta de identidad trazada a 45° ; el segundo aspecto se refiere a la distribución de dichos puntos a lo largo de los ejes de coordenadas. Considerando, exclusivamente, el primer aspecto, se observa que hay más semejanza entre la intensidad total y la de olor que entre aquélla y la de pungencia. Esto ocurre debido a que las dos primeras presentan hipoaditividad como fenómeno predominante, ubicándose los puntos de dichas funciones por debajo de la recta trazada a 45° . En cambio, los puntos de la función para intensidad de pungencia se hallan, en su inmensa mayoría, coincidiendo con dicha recta o, aún, por encima de ella, indicando que esta función presenta aditividad simple y hasta hiperaditividad.

Por otra parte, considerando el segundo aspecto de comparación mencionado: la distribución de los puntos a lo largo de los ejes, la semejanza es mayor entre la función de intensidad total y la de pungencia que entre la primera y la de olor. Esto se puede ver en el hecho de que los gráficos de intensidad total y de pungencia se aproximan con mucha mayor precisión a una recta que el gráfico de intensidad de olor, y, por otro lado, las pendientes de las dos primeras funciones son más parecidas entre sí.

De esta manera, tal como se postuló en el párrafo final de la Discusión de la Sección I, al analizar los histogramas presentados en las Figuras 17, 18 y 19, concluimos que el que más se asemeja al perfil del histograma correspondiente a la intensidad total es el de intensidad de pungencia (ver Cometto-Muñiz y Cain, 1984). Esto confirma la hipótesis que se formuló en dicha Discusión cuando dijimos que, en la estimación de las diferencias entre las intensidades percibidas de los distintos estímulos, es la sensación de pungencia y no la de olor la que básicamente permite a los sujetos la construcción de las escalas de magnitud total percibida.

III. DISCUSION GENERAL

La relación entre los estímulos capaces de impresionar nuestros sentidos y la magnitud de las sensaciones provocadas comenzó a investigarse con mayor profundidad cuando los científicos asumieron la posibilidad de que las sensaciones podían ser susceptibles de medición. Esto ocurrió cerca de mediados del siglo pasado. Weber (1834) observó que para cambiar la intensidad de un estímulo en una cantidad apenas perceptible, se debía agregar un porcentaje fijo, no importando el nivel original del estímulo. Es decir, la adición de "diferencias apenas perceptibles" (DAP) es una cuestión relativa. A un estímulo pequeño sólo se necesita agregar una pequeña cantidad para producir una DAP; a un estímulo grande, se necesita agregar una gran cantidad para producir una DAP. Matemáticamente, esta relación, conocida como ley de Weber, puede expresarse como:

$$\frac{\Delta \vartheta}{\vartheta} = c \quad (8)$$

lo que significa que la mínima cantidad en que la intensidad de un estímulo debe ser incrementada o disminuída ($\Delta\vartheta$) para que pueda detectarse un cambio en la sensación, es una fracción constante (c) de la intensidad del estímulo original (ϑ).

Posteriormente, Fechner (1860) retomó la ley de Weber, proponiendo que cada DAP se podía considerar una unidad mínima de sensación, y, más ún, que todas las DAP eran iguales en magnitud percibida. De esta manera, Fechner postuló que cada vez que una DAP se agrega a un estímulo, la sensación se incrementa en un valor constante. Este investigador asumió que, como las DAP correspondían a un cambio sensorial mínimo, podían ser reducidas aún más y expresadas como una diferencial matemática: $\delta\psi$. Fechner tam

bién asumió que la ley de Weber podía ser escrita en términos de diferenciales matemáticas. Por lo tanto, en base a haber asumido que el tamaño subjetivo de las DAP era constante, Fechner pudo escribir:

$$d\psi = c \left(\frac{d\phi}{\phi} \right) \quad (9)$$

expresión que él llamó "Fundamentalformel" o fórmula fundamental. La integración de esta ecuación produce la llamada ley de Fechner:

$$\psi = k \cdot \text{Log} (\phi/b) \quad (10)$$

donde ψ representa la magnitud percibida (sensación); ϕ representa la magnitud física o química del estímulo; b representa la magnitud del estímulo en el umbral absoluto y k es una constante de proporcionalidad. La ley de Fechner puede expresarse diciendo que "razones iguales de magnitud del estímulo producen diferencias iguales en la magnitud de la sensación".

La ley de Fechner se mantuvo prácticamente incólume por casi cien años. A mediados del presente siglo, un investigador de la Universidad de Harvard, S. S. Stevens, desarrolló una serie de ingeniosos métodos que permitían hacer mediciones directas de las sensaciones (S. S. Stevens, 1957). A partir de ese momento, las evidencias experimentales se comenzaron a acumular en favor de una relación de tipo exponencial, en vez de logarítmica, entre la magnitud percibida (ψ) y la intensidad del estímulo (ϕ) (S. S. Stevens, 1961). Esta relación se conoce como ley de Stevens:

$$\psi = k \cdot \phi^\beta \quad (1)$$

donde ψ es la magnitud percibida, ϕ es la intensidad del estímulo, k es una constante de proporcionalidad y β es el exponente, característico de cada sensación. Como se mencionó antes, tomando logaritmo a ambos miembros de la igualdad, se obtiene la ecuación de una recta según:

$$\text{Log } \Psi = \text{Log } k + \beta \cdot \text{Log } \emptyset \quad (2)$$

donde β se convierte en la pendiente.

El surgimiento de la ley de potencia como relación fundamental entre la magnitud percibida y la intensidad del estímulo resultó de la evidencia aportada por los resultados obtenidos en más de dos docenas de contínuos sensoriales (S. S. Stevens, 1961, 1962 a). Algunas de las sensaciones en las que se investigó la aplicabilidad de dicha ley comprenden: sonoridad (S. S. Stevens, 1955), fuerza aplicada sobre la palma de la mano (J. C. Stevens y Mack, 1959), frío y calor (J. C. Stevens y S. S. Stevens, 1960), olor (S. S. Stevens, 1960 a), rugosidad (S. S. Stevens y Harris, 1962), brillo (S. S. Stevens, 1962 b), viscosidad (S. S. Stevens y Guirao, 1964), aceleración rotatoria del propio cuerpo (Clark y Steward, 1968), gusto (S. S. Stevens, 1969), luminosidad (Mattiello y Guirao, 1974), vibración (Guirao y Valciukas, 1975), pungencia nasal y oral (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Como puede apreciarse, se han estudiado sensaciones que cubren las más variadas modalidades sensoriales tales como: audición, presión y tacto, temperatura, olfato, visión, quinestesia, sistema vestibular, gusto, textura, vibración y pungencia, entre otras.

También se observó para distintos contínuos sensoriales, como sonoridad (Scharf y J. C. Stevens, 1959) y brillo (J. C. Stevens, 1967), que se producían desvíos sistemáticos de la ley de potencia cuando se trabajaba a intensidades bajas del estímulo, es decir, cerca del umbral. Se postuló, entonces, una forma más general de la expresión (1) según:

$$\Psi = k \cdot (\emptyset - \emptyset_0)^\beta \quad (11)$$

donde \emptyset_0 es una constante que corresponde al valor del estímulo en el umbral (Ekman, 1956; Luce, 1959; S. S. Stevens, 1959 a; Galanter y Messik,

1961; Calviño, 1982). Cabe mencionar que, desde que la ley de potencia fue postulada, se han sugerido varias modificaciones a dicha expresión para explicar los desvíos que se producen de dicha ley cerca del umbral absoluto (ver Marks y J. C. Stevens, 1968).

De todos modos, es importante destacar que no existe un único exponente de la función de potencia para cada atributo sensorial particular (Marks, 1974). Es así como no hay una única función de estímulo-respuesta para luminosidad, una para gusto, una para sonoridad, una para olor, etc. A lo sumo, se puede hablar de una función de estímulo-respuesta determinada para, por ejemplo, el olor del 1-propanol, pero especificando en detalle toda una serie de otras variables de importancia: método empleado por los sujetos para estimar la magnitud de la intensidad olorosa (Cain y Moskowitz, 1974); forma de dilución y de presentación del odorivector (Cain, 1969); número de inhalaciones (Cain, 1976); duración de las inhalaciones (Cometto-Muñiz y Cain, 1984); tiempo entre la presentación de los estímulos y nivel de adaptación previa de los sujetos antes de cada presentación (Ekman y col., 1967; Cain y Engen, 1969; Cain, 1970; Pryor y col., 1970; Steinmetz y col., 1970; Cain, 1974 b); grado de espaciamiento entre las concentraciones del odorivector; número de estímulos diferentes; rango de concentración empleado (Cometto-Muñiz, 1981), etc. Es por ello que es necesario describir detalladamente las condiciones experimentales en que se obtiene cada función de estímulo-respuesta.

La investigación de las características de la percepción de sustancias pungentes capaces de impactar al SQC es mucho más reciente que en el caso de sustancias que estimulan los otros dos sentidos químicos. Como se ha mencionado en la Introducción, el problema que surge en este tipo de estudios radica en que no es sencillo encontrar compuestos que, presentados vía nasal, sólo estimulen el SQC y no el olfato. Es decir, sustancias que

sólo provoquen pungencia y no olor. Prácticamente todos los irritantes tienen olor y también es cierto que la gran mayoría de los odorivectores, alcanzada cierta concentración, son capaces de provocar sensaciones pungentes. Resultados interesantes se obtuvieron al estudiar sujetos con destrucción unilateral total del nervio trigémino (V par craneano), lo cual les dejaba la mitad de la cara, y, por ende, una fosa nasal, sin sensibilidad al SQC pero con sensibilidad olfatoria normal, mientras que la otra fosa nasal mantenía ambas sensibilidades (trigeminal y olfatoria) intactas (Cain, 1974 a). En dicha investigación se encontró que la magnitud del componente trigeminal alcanzó un tercio de la magnitud total percibida y este efecto se extendió desde la más alta hasta la más baja de las concentraciones exploradas. Las sustancias empleadas como estímulo fueron 1-propanol, 1-butanol y acetato de n-butilo. Estos hallazgos sugieren que, aún concentraciones bajas de algunos odorivectores, incapaces de producir efectos obvios de irritación, son capaces de desencadenar una respuesta trigeminal en circunstancias normales, aunque, a esos bajos niveles, dicho atributo pungente no podría ser abstraído de la sensación total. También se encontró en este trabajo que el sistema quimiorreceptivo trigeminal juega un papel funcional importante en la reducción de la magnitud de la adaptación frente a estímulos de alta y, probablemente, moderada intensidad.

Entre los resultados de la Sección I de la presente investigación, se encontró que las funciones estímulo-respuesta para la intensidad total percibida, sobre todo las correspondientes al amoníaco, presentaban una concavidad superior (Figuras 5 y 6). Se postuló que dicha concavidad podría reflejar el cambio de una estimulación predominantemente olfativa a otra predominantemente trigeminal. Sin embargo, cuando en la Sección II se obtuvieron las funciones de estímulo-respuesta para la intensidad de pungencia de ambos irritantes, se volvió a encontrar, principalmente para el amoníaco, dicha

concauidad superior. Los indicios hallados por Cain (1974 a) en el sentido de que, a bajas concentraciones, el atributo trigeminal (pungente) no podía ser abstraído de la sensación total refuerzan la conclusión de que, en el presente trabajo, la imposibilidad de eliminar la concauidad superior de las funciones estímulo-respuesta instruyendo a los sujetos para que evalúen intensidad de pungencia, además de intensidad total, se debe, precisamente, a que los participantes serían incapaces de abstraer la sensación pungente de la total a bajas concentraciones de los estímulos.

Doty (1975) y Doty y col. (1978) confirmaron que sujetos anósmicos eran capaces de detectar por inhalación nasal un alto porcentaje del total de sustancias que se les presentaban. Las funciones de estímulo-respuesta de los compuestos empleados se ajustaban a una función de potencia y, para aquellos compuestos que los anósmicos podían detectar, el exponente de dicha función no presentaba diferencias estadísticamente significativas entre los normales y los anósmicos. Otro hallazgo interesante fue la existencia de una correlación significativa y positiva entre el porcentaje de anósmicos que detectaban una sustancia y el valor del exponente de la función de potencia de dicha sustancia (Doty, 1975). Esto sugería que las sustancias que eran mejor detectadas por los anósmicos eran aquéllas en que la intensidad percibida se incrementaba en forma relativamente rápida con la concentración (es decir, las sustancias que presentaban los exponentes más altos).

Empleando 1-butanol como estímulo, Cain (1976) encontró que la función de irritación percibida de este compuesto crecía más empinadamente que la de olor percibido, y que estos dos atributos se combinaban de una manera casi lineal para constituir la intensidad total percibida del estímulo. También se halló en dicha investigación que la velocidad de respuesta (medida como la recíproca del tiempo de reacción) del olfato era mayor que la del SQC, aunque dicha velocidad de respuesta se incrementaba más rápido en función de la concen-

tracción para la sensación de irritación que para la de olor. En este mismo trabajo, Cain comprobó que inhalaciones repetidas provocaban una ligera disminución del olor percibido pero que, en contraste, provocaban un importante incremento de la irritación percibida.

Los resultados presentados en las Figuras 14 y 15 y en la Tabla IV del presente trabajo de investigación muestran una marcada coincidencia con los hallazgos de otros trabajos (Cain, 1976, 1981; Cometto-Muñiz y Cain, 1982, 1984) en el sentido de que la intensidad de pungencia crece más aceleradamente que la intensidad de olor.

El redescubrimiento de una olvidada observación del filósofo Alexander Bain (1868) sobre la capacidad del CO_2 de inhibir la percepción de olores (ver Cain y Murphy, 1980), alentó la utilización de esta sustancia, virtualmente inodora, como típico estimulante del SQC (Dunn y col., 1982; Cometto-Muñiz y Cain, 1982; García Medina y Cain, 1982; Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Se encontraron diferencias entre varones y mujeres en cuanto al valor del exponente de la función de potencia que describía la percepción de la irritación nasal provocada por el CO_2 (Cometto-Muñiz y Noriega, 1985). Dicho exponente era de 1,6 para varones y de 2,2 para mujeres. Cabe destacar la magnitud de estos valores ya que, típicamente, los exponentes de las funciones estímulo-respuesta para odorivectores excepcionalmente superan el valor de 1,00 (Patte y col., 1975). Estos resultados vuelven a sugerir que cuanto más trigeminal (pungente) es una sustancia, mayor es el valor del exponente de su función de estímulo-respuesta.

En base a las investigaciones mencionadas sobre el funcionamiento comparativo del olfato y del SQC, y en base a los propios resultados aquí presentados, se puede afirmar que existen importantes diferencias entre estos dos canales sensoriales. Las más destacadas son: 1) las sustancias con mar-

cadass connotaciones pungentes (irritantes) y, por lo tanto, capaces de estimular el SQC, presentan funciones de estímulo-respuesta más empinadas (con exponentes mayores) que sustancias odorivectoras con escasa pungencia asociada; 2) el tiempo de latencia para la estimulación del olfato es menor que para la estimulación del SQC; 3) considerando los primeros 4 a 5 segundos de inhalación, la intensidad percibida de olor disminuye con el tiempo de inhalación y el número de inhalaciones, mientras que la pungencia percibida se incrementa.

Estas diferencias funcionales entre ambos sentidos químicos sugerían que la respuesta del olfato y del SQC frente a mezclas de estímulos debían ser distintas. Hemos mencionado que, en las investigaciones sobre la percepción de mezclas de olores, el resultado encontrado, en la inmensa mayoría de los casos, es el de hipoaditividad (Zwaardemaker, 1907; Foster, 1963; Jones y Woskow, 1964; Berglund y col., 1971 c; Berglund y col., 1973 a; Berglund, 1974; Cain y Drexler, 1974; Cain, 1975; Moskowitz y Barbe, 1977; Patte y Laffort, 1979; Laffort y Dravnieks, 1982; Laing y Willcox, 1983). Sin embargo, de acuerdo al tipo de diferencias funcionales encontradas entre olfato y SQC, y teniendo en cuenta el papel clásico que se le asigna al SQC de actuar como sistema de alarma frente a agentes químicos potencialmente nocivos, se sospechó que mezclas de sustancias pungentes o irritantes deberían presentar un grado mayor de aditividad que mezclas de odorivectores no pungentes.

Los resultados presentados en las Figuras 10 y 11 indican que, en la evaluación de mezclas binarias de compuestos pungentes, el tipo de aditividad para la intensidad total percibida de dichas mezclas varía con la magnitud de la sensación total provocada. Es decir, a bajos valores de intensidad total, las mezclas son hipoaditivas; a valores intermedios, las mezclas presentan aditividad simple y, a altos valores, las mezclas son hi-

peraditivas. Por otra parte, si se instruye a los sujetos para que desglosen la intensidad total percibida en intensidad de olor e intensidad de pungencia, se obtienen los resultados mostrados en las Figuras 16 (Partes B y C), 18 y 19. Estos hallazgos muestran que cuando, en la evaluación de muestras binarias, se pide a los sujetos que evalúen intensidad de olor, el tipo de aditividad se mantiene constante, resultando todas las mezclas hipoaditivas. Cuando, en cambio, los participantes evalúan intensidad de pungencia, las mezclas comienzan siendo hipoaditivas para magnitudes muy pequeñas de pungencia, pasando luego a presentar aditividad simple para un gran número de mezclas y llegando, incluso, a la hiperaditividad en la mezcla más pungente. El análisis de los datos obtenidos para la evaluación de la intensidad total en la Sección II (Figura 17) muestra que el resultado es un compromiso entre lo hallado para intensidad de olor y lo hallado para intensidad de pungencia. Esto es así ya que, si bien predomina la hipoaditividad (como en el olor) en las mezclas de intensidades totales bajas e intermedias, ésta se transforma en aditividad simple (como en la pungencia) para las mezclas de intensidades totales altas.

Como se destacó en la Discusión de la Sección II, el perfil del histograma para intensidad total (Figura 17) es mucho más semejante al perfil del histograma correspondiente a la intensidad de pungencia (Figura 19) que al de intensidad de olor (Figura 18). Esto significa que, cuando los sujetos evalúan diferencias entre las intensidades totales de dos estímulos, lo hacen basándose, fundamentalmente, en las diferencias de pungencia entre ambos estímulos. Esta conclusión también surge de los resultados de las funciones de estímulo-respuesta presentadas en la Figura 14 (para el olor) y 15 (para la pungencia). Se muestra allí que la intensidad de olor permanece prácticamente constante en función del incremento en la con

centración del irritante en cuestión. Ello hace que el olor tenga un peso significativo en las funciones de intensidad total (Figura 13) sólo a bajas concentraciones de los irritantes, y, a medida que la concentración aumenta, el olor deja rápidamente paso a la pungencia como componente predominante de la intensidad total.

Si observamos comparativamente los histogramas para la intensidad de olor (Figura 18) y para intensidad de pungencia (Figura 19) de las mezclas binarias, veremos como, al aumentar la concentración de los componentes de las mezclas, la intensidad de olor no sólo aumenta muy tenuemente (primeras 4 barras correspondientes a mezclas del histograma en la parte superior y primeras 8 barras correspondientes a mezclas del histograma en la parte inferior de la Figura 18), sino que hasta detiene su crecimiento cuando se evalúan mezclas de concentraciones altas de los irritantes en estudio (resto de las barras del histograma de la Figura 18). En cambio, la intensidad de pungencia crece mucho más manifiestamente y dicho crecimiento se mantiene aún en las mezclas de concentraciones altas, sugiriendo que la observada detención del crecimiento de la intensidad de olor percibida se produce por un efecto inhibitorio de la pungencia sobre el olor en cada uno de los estímulos representados. A bajas concentraciones de los irritantes mezclados, donde el olor pesa más que la pungencia, se puede vislumbrar, incluso, una ligera tendencia al fenómeno opuesto, es decir una inhibición del olor sobre la pungencia (primeras tres barras correspondientes a mezclas del histograma en la parte superior de la Figura 19). De todos modos, es bien claro que la inhibición del olor provocada por la pungencia es, en las presentes condiciones experimentales, un fenómeno mucho más robusto que su opuesto.

IV. CONCLUSIONES

La discusión y el análisis realizado de los resultados obtenidos nos permiten llegar a las siguientes conclusiones:

a) Las funciones de estímulo-respuesta para los odorivectores irritantes amoníaco y formaldehído, presentados tanto aislados como en distintas mezclas binarias, pueden ser razonablemente aproximadas por una función de potencia del tipo: $\Psi = k \cdot \vartheta^\beta$, donde Ψ es la intensidad percibida; k es una constante de proporcionalidad; ϑ es la concentración del irritante y β es el exponente. Esta función de potencia se ajusta a los resultados experimentales, tanto cuando la respuesta (Ψ) es intensidad total, como cuando es intensidad de pungencia o intensidad de olor, excepto en este último caso, cuando el olor es enmascarado por un alto nivel de pungencia, lo cual sucede cuando el nivel del irritante empleado como "fondo" en la mezcla binaria es intermedio o alto.

b) Se observan desviaciones a dicha función de potencia, manifestadas como una concavidad superior, principalmente para el amoníaco. Dicha concavidad podría deberse a un cambio de una estimulación predominantemente olfativa (a bajas concentraciones) a otra predominantemente trigeminal (a altas concentraciones). Sin embargo, el hecho de que la concavidad no desaparezca al instruir a los sujetos para que evalúen por un lado la pungencia percibida y por otro el olor percibido, podría indicar que los participantes no pueden desglosar perceptualmente en forma completa la intensidad total en intensidad de pungencia e intensidad de olor.

c) Se comprueba que la pungencia percibida crece, en función de la concentración del estímulo, en forma más pronunciada (con exponentes mayores) que el olor percibido, siendo esto válido para ambos irritantes, tan-

to presentados en forma aislada como presentados en distintas mezclas binarias. Por su parte, la intensidad total percibida crece, en función de la concentración del estímulo, en forma menos pronunciada que la pungencia, pero más pronunciada que el olor.

d) Las funciones correspondientes a la intensidad total percibida del formaldehído y del amoníaco, presentados en forma aislada, están caracterizadas por un exponente de alrededor de 0,26 y 0,62, respectivamente, teniendo en cuenta los resultados de las Secciones I y II. Esto indica que, para duplicar la intensidad total nasal provocada por el formaldehído, es necesario aumentar casi quince veces la concentración; mientras que, para duplicar la intensidad total nasal provocada por el amoníaco, sólo se necesita triplicar la concentración. Cuando cada una de estas dos sustancias irritantes se presenta con distintos niveles del otro irritante como "fondo", sus exponentes tienden a disminuir ligeramente, obteniéndose valores (\pm desviación estándar) de: 0,20 (\pm 0,03) para el formaldehído y 0,52 (\pm 0,13) para el amoníaco. Esta leve disminución del exponente, correspondiente a un "achataamiento" de la pendiente de la función en coordenadas logarítmicas, puede ser atribuida a un aumento porcentual mayor provocado por la intensidad de "fondo" sobre la intensidad total percibida de las concentraciones bajas del estímulo que el provocado sobre la intensidad total percibida de las concentraciones altas.

e) No existen diferencias de significación entre varones y mujeres en cuanto al valor de los exponentes de las funciones de estímulo-respuesta para la intensidad total percibida del formaldehído o del amoníaco, ya sean presentados en forma aislada o en distintas mezclas binarias.

f) Las intensidades de olor de las mezclas binarias de formaldehído y amoníaco resultan siempre hipoaditivas.

g) Las intensidades de pungencia de dichas mezclas presentan, en la gran mayoría de los casos, aditividad simple. A intensidades muy bajas de pungencia, se observaron dos casos de hipoaditividad significativa. A intensidades altas de pungencia, se observó un caso de hiperaditividad significativa.

h) Las intensidades totales de las mismas mezclas presentan hipoaditividad a bajas concentraciones de los estímulos (donde predomina el olor) y aditividad simple, llegando incluso a la hiperaditividad, a concentraciones intermedias y altas (donde predomina la pungencia).

i) Hemos mencionado que, para los dos irritantes investigados, las funciones de pungencia percibida presentan exponentes mayores que las de olor percibido. Por otra parte, también se halló que los olores resultan siempre hipoaditivos, mientras que la pungencia es, en la mayoría de las mezclas, aditiva. Puede afirmarse entonces que, en los casos estudiados, el valor del exponente de las funciones de estímulo-respuesta para una determinada cualidad sensorial (intensidad total, olor, pungencia) es un indicador del mayor o menor grado de aditividad que esa cualidad presentará en mezclas binarias: a mayor valor del exponente, mayor grado de aditividad.

V. APENDICENomenclatura y fórmula empírica de los compuestos químicos mencionados en el texto de la tesis

- * Acetato de n-butilo: Acido acético butil éster, etanoato de n-butilo,
 $C_6H_{12}O_2$
- * Acido acético: Acido etanoico, $C_2H_4O_2$
- * Acido cítrico: 2-Hidroxi-ácido 1,2,3-propanetricarboxílico, $C_6H_8O_7$
- * Acido cromotrópico: 4,5-Dihidroxi-ácido 2,7-naftalenedisulfónico,
 $C_{10}H_8O_8S_2$
- * Acido sulfúrico, H_2SO_4
- * Acido tartárico: Acido 2,3-dihidroxibutanedioico, $C_4H_6O_6$
- * Acroleína: 2-Propenal, C_3H_4O
- * Amoníaco, NH_3
- * Benzaldehído, C_7H_6O
- * n-Butanol: 1 Butanol, $C_4H_{10}O$
- * Butirato de n-amilo: Butirato de n-pentilo, ácido butanoico pentil éster,
 $C_9H_{18}O_2$
- * n-Butirato de etilo: Acido butanoico etil éster, $C_6H_{12}O_2$
- * Capsaicina sintética: (E)-N-[(4-Hidroxi-3-metoxifenil)-metil]-8-metil-6-nonenamida, $C_{18}H_{27}NO_3$

- * Cetona almizclada o muskona: 3-Metilciclopentadecanona, $C_{16}H_{30}O$
- * Citral: 3,7-Dimetil-2,6 octadienal, $C_{10}H_{16}O$
- * Clorhidrato de quinina: Clorhidrato de 6'-metoxicinchonan-9-ol,
 $C_{20}H_{25}Cl N_2O_2$
- * Cloruro de amonio, NH_4Cl
- * Cloruro de sodio, $Na Cl$
- * Dióxido de carbono, CO_2
- * Fenil-etil-alcohol: 2-Feniletanol, $C_8H_{10}O$
- * Formaldehído: Metanal, CH_2O
- * Hidróxido de sodio, $Na OH$
- * Ioduro de potasio, KI
- * Ioduro mercúrico, $Hg I_2$
- * Mentol: 5-Metil-2-(1-metiletil) ciclohexanol, $C_{10}H_{20}O$
- * Piperina: (E,E)-1-(5-(1,3 Benzodioxol-5-il)-1-oxo-2,4 pentadienil) piperi
dina, $C_{17}H_{19}N O_3$
- * Piperonal (heliotropina): 1,3 Benzodioxole-5-carboxaldehído, C_7H_6O
- * Propanol: 1-Propanol, C_3H_8O
- * Sacarina sódica: Sal sódica de 1,2-Benzisotiazol-3(2H)-ona 1,1-dioxida,
 $C_7H_4 N Na O_3S$
- * Sacarosa: β -D-Fructofuranosil- α -D-glucopiranosido, $C_{12}H_{22}O_{11}$

* Sulfato de quinina: Sulfato de 6'-metoxicinchonan-9-ol, $C_{20}H_{25}ClN_2O_2$

* Vainillina: 4-Hidroxi-3-metoxibenzaldehído, $C_8H_8O_3$

Los datos de este Apéndice fueron tomados de "The Merck Index", Novena Edición, Merck and Co., Inc., Rahaway, N.J., U.S.A., 1976 (Sexta Impresión, 1981).

VI. RESUMEN

En esta investigación se ha explorado la respuesta a nivel perceptual de sujetos humanos jóvenes (edad promedio \pm desviación estándar: 22,1 \pm 4,7), de ambos sexos, no fumadores y en buen estado de salud, frente a la estimulación vía nasal con diferentes concentraciones de dos odorivectores irritantes: formaldehído y amoníaco, presentados en forma aislada y en distintas mezclas binarias. Las concentraciones empleadas de formaldehído fueron (ppm): 1,0; 3,5; 6,9 y 16,7; y de amoníaco (ppm): 210; 776; 1.172 y 1.716.

Estas sustancias son capaces de estimular el llamado Sentido Químico Común (SQC), el cual, junto con el olfato y el gusto, constituye el grupo de los sentidos químicos. Los receptores del SQC no son estructuras especializadas, sino terminaciones nerviosas libres, principalmente del nervio trigémino (V par craneano), el cual inerva las mucosas conjuntival, nasal, bucal y faríngea. Las sensaciones químicas comunes, también llamadas trigeminales, se pueden denominar con el término general de pungentes y comprenden: irritación, frescor, ardor, quemazón, punzadura, picazón y cosquilleo, entre otras.

Los participantes realizaron estimaciones numéricas de la magnitud o intensidad total percibida, desglosando, en algunos casos, dicha sensación total en intensidad de olor e intensidad de pungencia. Las estimaciones numéricas se emitieron en base a un número asignado arbitrariamente a la intensidad del primer estímulo, el cual fue tomado como patrón o referencia.

Los resultados obtenidos en una primera serie de experimentos (Sección I) muestran que la relación entre magnitud total percibida y concentración de la sustancia pungente o irritante puede ser descripta con razonable

precisión por funciones de potencia del tipo: $\Psi = k \cdot \phi^\beta$, donde Ψ es la magnitud percibida; k , una constante de proporcionalidad; ϕ , la concentración del compuesto irritante y β , el exponente. No obstante ello, algunas funciones, sobre todo las correspondientes al amoníaco, muestran una marcada concavidad superior. El exponente obtenido para la intensidad total del formaldehído, promediando los valores de todas las condiciones de presentación (aislado y en distintas mezclas binarias) resultó (± desviación estándar): 0,21 (± 0,04). El exponente obtenido para la intensidad total percibida del amoníaco, promediando los valores de todas las condiciones de presentación (aislado y en distintas mezclas binarias), resultó (± desviación estándar): 0,54 (± 0,12).

Cuando un grupo de participantes ($n = 30$) fue dividido en varones ($n = 10$) y mujeres ($n = 20$), no se encontraron diferencias de significación entre los sexos en cuanto al valor de los exponentes de las funciones de estímulo-respuesta para la intensidad total percibida de cada uno de los irritantes, ya sea que fueran presentados en forma aislada o en mezclas.

Se comparó para cada mezcla binaria de los dos odorivectores pungentes en estudio, la intensidad total percibida de la mezcla con la suma de las intensidades totales percibidas de los componentes de dichas mezclas, a la misma concentración, pero presentados aisladamente. Se halló que, a bajas concentraciones de los estímulos (donde, luego, se vio que predomina el olor), las mezclas son hipoaditivas, es decir, la intensidad total percibida de la mezcla es menor que la suma de las intensidades totales percibidas de sus componentes aislados. A concentraciones intermedias de los estímulos (donde, luego, se vio que predomina la pungencia), las mezclas son aditivas, es decir, la intensidad total percibida de cada mezcla no es significativamente distinta de la suma de las intensidades totales

percibidas de sus componentes aislados. Finalmente, a concentraciones altas de los estímulos (donde también predomina la pungencia sobre el olor), las mezclas son hiperaditivas, es decir, la intensidad total percibida de cada mezcla es mayor que la suma de las intensidades totales percibidas de sus componentes aislados.

En otra serie de experimentos (Sección II) los sujetos ($n = 28$) describieron la intensidad total percibida en intensidad de olor e intensidad de pungencia, obteniéndose, de esta manera, funciones de estímulo-respuesta para cada uno de estos tres atributos: sensación total, olor y pungencia. Pudo comprobarse que la pungencia percibida se incrementa, aproximadamente, como una función de potencia de la concentración de cada irritante.

Los resultados revelaron que, para ambos irritantes, tanto presentados en forma aislada como en mezclas, la pungencia percibida crece, en función de la concentración del estímulo, en forma más pronunciada (es decir, con exponentes mayores) que el olor percibido. Por su parte, la intensidad total percibida presenta, en función de la concentración, un crecimiento menos pronunciado que el de la pungencia, pero más pronunciado que el del olor.

Al analizar los datos obtenidos para las distintas mezclas binarias, se encontró que la intensidad de olor resultó siempre hipoaditiva. En contraste, la intensidad de pungencia presentó, en la gran mayoría de las mezclas, un comportamiento aditivo. Incluso, a altas intensidades de pungencia, existió una tendencia hacia la hiperaditividad que alcanzó significación en la mezcla más pungente.

Estas evidencias experimentales nos permiten concluir que la percepción del olor y de la pungencia de odorivectores irritantes tienen propie-

dades distintas. Ellas son reflejos de características de funcionamiento diferentes entre los dos sentidos receptores de dichas sensaciones: el olfato y el SQC, respectivamente. La pungencia percibida, además de incrementarse en forma más pronunciada que el olor en función de la concentración del estímulo, presenta, en mezclas binarias, un grado significativamente mayor de aditividad que el olor percibido.



Enrique Cometto *Op.*

VII. BIBLIOGRAFIA

- ALARIE, Y.: 1966, "Irritating properties of airborne materials to the upper respiratory tract". Arch. Environ. Health 13, 433-449.
- ALARIE, Y.: 1973 a, "Sensory irritation by airborne chemicals". CRC Crit. Rev. Toxicol. 2, 299-363.
- ALARIE, Y.: 1973 b, "Sensory irritation of the upper airways by airborne chemicals". Toxicol. Appl. Pharmacol. 24, 279-297.
- ALARIE, Y. y KELLER, L.W.: 1973, "Sensory irritation by capsaicin". Environ. Physiol. Biochem. 3, 169-181.
- ALLEN, W. F.: 1928, "Effect on respiration, blood pressure and carotid pulse of various inhaled and insufflated vapors when stimulating one cranial nerve and various combinations of cranial nerves. I. Branches of the trigeminus affected by these stimulants". Am. J. Physiol. 87, 319-325.
- ALLEN, W. F.: 1929 a, "Effect on respiration, blood pressure and carotid pulse of various inhaled and insufflated vapors when stimulating one cranial nerve and various combinations of cranial nerves. III. Olfactory and trigeminals stimulated". Am. J. Physiol. 88, 117-129.
- ALLEN, W. F.: 1929 b, "Effect of various inhaled vapors on respiration and blood pressure in anesthetized, unanesthetized, sleeping and anosmic humans". Am. J. Physiol. 88, 620-632.
- ALLEN, W. F.: 1936, "Studies on the level of anesthesia for the olfactory and trigeminal respiratory reflexes in dogs and rabbits". Am. J. Physiol. 115, 579-587.

- ALLEN, W. F.: 1937, "Olfactory and trigeminal conditioned reflexes in dogs". Am. J. Physiol. 118, 532-540.
- ALLISON, D. J.; CLAY, T. P.; HUGHES, J. M.; JONES, H. A. y SHEVIS, A.: 1974, "Effects of nasal stimulation on total respiratory resistance in the rabbit". J. Physiol. 239, 23-24.
- ALLISON, D. J. y POWIS, D.A.: 1976, "Early and late hind-limb vascular responses to stimulation of receptors in the nose of the rabbit". J. Physiol. 262, 301-317.
- ANDERSON, P.: 1954, "Inhibitory reflexes elicited from the trigeminal and olfactory nerves in rabbits". Acta Physiol. Scand. 30, 137-148
- ANGELL-JAMES, J.E. y BURGH-DALY, M. de: 1969, "Nasal reflexes". Proc. R. Soc. Med. 62, 1287-1293.
- ANGELL-JAMES, J.E. y BURGH-DALY, M. de: 1972, "Reflex respiratory and cardiovascular effect of stimulation of receptors in the nose of the dog". J. Physiol. 220, 673-696.
- ANGELL-JAMES, J.E. y BURGH-DALY, M. de: 1973, "The interaction of reflexes elicited by stimulating of carotid body chemo-receptors in the nasal mucosa affecting respiration and pulse interval in the dog". J. Physiol. 229, 133-149.
- BAIN, A.: 1868, "The Senses and the Intellect". Longmans Green, London.
- BAKER, R. A.: 1964, "Response parameters including synergism-antagonism in aqueous odor measurement". Ann. N. Y. Acad. Sci. 116, 495-503.
- BARTOSHUK, L. M.: 1975, "Taste mixtures: Is mixture suppression related to compression?". Physiol. Behav. 14, 643-649.

- BARTOSHUK, L. M. y CLEVELAND, C. T.: 1977, "Mixtures of substances with similar tastes. A test of a psychophysical model of taste mixture interactions". Sensory Processes 1, 177-186.
- BARTOSHUK, L. M.; RENNERT, K.; RODIN, J. y STEVENS, J. C.: 1982, "Effects of temperature on the perceived sweetness of sucrose". Physiol. Behav. 28 (5), 905-910.
- BEEBE-CENTER, J. G.; ROGERS, M. S.; ATKINSON, W. H. y O'CONNELL, D. N.: 1959, "Sweetness and saltiness of compound solutions of sucrose and Na Cl as a function of concentration of solutes". J. Exp. Psychol. 4, 231-234.
- BEIDLER, L.: 1962, "Taste receptor stimulation". Progr. Biophys. Biophys. Chem. 12, 107-151.
- BEIDLER, L. M.: 1965, "Comparison of gustatory receptors, olfactory receptors and free nerve endings". Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 30, 191-200.
- BEIDLER, L. M. y TUCKER, D.: 1956, "Olfactory and trigeminal responses to odors". Fed. Proc. 15, 14.
- BERGLUND, B.: 1974, "Quantitative and qualitative analysis of industrial odors with human observers". Ann. N. Y. Acad. Sci. 237, 35-51.
- BERGLUND, B.: 1977, "Quality, intensity and time in olfactory perception". En: Olfaction and Taste VI. Editado por J. Le Magnen y P. MacLeod. IRL Press.
- BERGLUND, B.; BERGLUND, U.; EKMAN, G. y ENGEN, T.: 1971 a, "Individual psychophysical functions for 28 odorants". Percept. Psychophys. 9 (3B), 379-384.

- BERGLUND, B.; BERGLUND, U.; ENGEN, T. y LINDVALL, T.: 1971 b, "The effect of adaptation on odor detection". Percept. Psychophys. 9 (5), 435-438.
- BERGLUND, B.; BERGLUND, U. y LINDVALL, T.: 1971 c, "On the principle of odor interation". Acta Psychol. 35, 255-268.
- BERGLUND, B.; BERGLUND, U. y LINDVALL, T.: 1973 a, "Perceptual interaction of odors from a pulp mill". En: "Proceedings of the Third International Clean Air Congress". Düsseldorf, Octubre 8 - 12, 1973. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- BERGLUND, B.; BERGLUND, U. y LINDVALL, T.: 1976, "Psychological processing of odor mixtures". Psychol. Rev. 83 (6), 432-441.
- BERGLUND, B.; BERGLUND, U.; LINDVALL, T. y SVENSSON, L. T.: 1973 b, "A quantitative principle of perceived intensity summation in odor mixtures". J. Exp. Psychol. 100 (1), 29-38.
- BOYD, E. M.; MACLACHLAN, M. L. y PERRY, W. F.: 1944, "Experimental ammonia gas poisoning in rabbits and cats". J. Ind. Hyg. Toxicol. 26 (1), 29-34.
- CAIN, W. S.: 1969, "Odor intensity: differences in the exponent of the psychophysical function". Percept. Psychophys. 6 (6A), 349-354.
- CAIN, W. S.: 1970, "Odor intensity after self-adaptation and cross-adaptation". Percept. Psychophys. 7 (5), 271-275
- CAIN, W. S.: 1974 a, "Contribution of the trigeminal nerve to perceived odor magnitude". Ann. N. Y. Acad. Sci. U.S.A. 237, 28-34.
- CAIN, W. S.: 1974 b, "Perception of odor intensity and the time course of

- olfactory adaptation", ASHRAE Transactions 80, 53-75.
- CAIN, W. S.: 1975, "Odor intensity: mixtures and masking". Chem. Senses Flav. 1 (3), 339-352.
- CAIN, W. S.: 1976, "Olfaction and the common chemical sense: some psychophysical contrasts". Sensory Processes 1 (1), 57-67.
- CAIN, W. S.: 1977, "Bilateral interaction in olfaction". Nature 268 (5615), 50-52.
- CAIN, W. S.: 1980, "Sensory attributes of cigarette smoking". Banbury Report N° 3: A safe cigarette?. Cold Spring Harbor, N. Y.: Cold Spring Harbor Laboratories, pp. 239-249.
- CAIN, W. S.: 1981, "Olfaction and the common chemical sense: similarities, differences and interactions". En: "Odor Quality and Chemical Structure". Editado por: H. R. Moskowitz y C. B. Warren, American Chemical Society, Washington, D. C., U.S.A., pp. 109-121.
- CAIN, W. S.; COMETTO-MUÑIZ, J. E.; ISSEROFF, R. y RABIN, M. D.: 1984, "Temporal characteristics of the common chemical sense in human beings". Proceedings of the Eighth International Symposium on Olfaction and Taste, Chem. Senses 8 (3), 247.
- CAIN, W. S. y DREXLER, M.: 1974, "Scope and evaluation of odor counteraction and masking". Ann. N. Y. Acad. Sci. 237, 427-439.
- CAIN, W. S. y ENGEN, T.: 1969, "Olfactory adaptation and the scaling of odor intensity". En: "Olfaction and Taste III". Editado por: Carl Pfaffmann. The Rockefeller University Press, New York, U.S.A., pp. 127-141.
- CAIN, W. S. y MOSKOWITZ, H. R.: 1974, "Psychophysical scaling of odor". En:

- "Human Responses to Environmental Odors". Editado por: Amos Turk, James W. Ston, Jr. y David G. Moulton. Academic Press, Inc., New York y London, pp. 1-32.
- CAIN, W. S. y MURPHY, C. L.: 1980, "Interaction between chemoreceptive modalities of odour and irritation". Nature 284 (5753), 255-257.
- CALVIÑO, A. M.: 1982, "Evaluación de la consistencia aparente de la gelatina". Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos 22 (4), 511-521.
- CAMERON, A. T.: 1947, "The taste sense and the relative sweetness of sugars and other sweet substances". Scientific Reports of the Sugar Research Foundation, N° 9, New York.
- CARDELLO, A. V.; BALL, D. H.; ALABRAN, D. M.; MORRILL, A. y POWELL, G. M.: 1984, "The taste, odor and hedonic quality of polyglycerols". Chem. Senses 9 (3), 285-301.
- CARMICHAEL, E. A. y WOOLLARD, H. H.: 1933, "Some observations on the fifth and seventh cranial nerves". Brain 56, 109-125.
- CAUNA, N.; HINDERER, K. y WENTGES, R. T.: 1969, "Sensory receptor organs of the human respiratory mucosa". Am. J. Anat. 124, 607-612.
- CLARK, B. y STEWARD, J. D.: 1968, "Comparison of sensitivity for the perception of bodily rotation and the oculogyral illusion". Percept. Psychophys. 3, 253-256.
- COMETTO-MUÑIZ, J. E.: 1980, "Características de los componentes del sabor". La Alimentación Latinoamericana, Año 14, N° 122, 44-50.
- COMETTO-MUÑIZ, J. E.: 1981, "Odor, taste and flavor perception of some flavoring agents". Chem. Senses 6 (3), 215-223.

- COMETTO-MUÑIZ, J. E. y CAIN, W. S.: 1982, "Perception of nasal pungency in smokers and non-smokers". Physiol. Behav. 29 (4), 727-731.
- COMETTO-MUÑIZ, J. E. y CAIN, W. S.: 1984, "Temporal integration of pungency". Chem. Senses 8 (4), 315-327.
- COMETTO-MUÑIZ, J. E.; GARCIA-MEDINA, M. R.; CALVIÑO, A. M. y NORIEGA, G.: 1986, "Interactions between oral pungency and taste". Enviado para su publicación.
- COMETTO-MUÑIZ, J. E. y NORIEGA, G.: 1985, "Gender differences in the perception of pungency". Physiol. Behav. 34 (3), 385-389.
- COON, R. A.; JONES, R. A.; JENKINS Jr., L. J. y SIEGEL, J.: 1970, "Animal inhalation studies on ammonia, ethylene glycol, formaldehyde, dimethylamine and ethanol". Toxicol. Appl. Pharmacol. 16, 646-655.
- CURTIS, D. W.; STEVENS, D. A. y LAWLESS, H. T.: 1984, "Perceived intensity of the taste of sugar mixtures and acid mixtures". Chem. Senses 9 (2), 107-120.
- DAVIS, T. R. A.; BATTISTA, S. P. y KENSLER, C. J.: 1967, "Mechanism of respiratory effects during exposure of guinea pigs to irritants". Arch. Environ. Health 15, 412-419.
- DAWES, C.: 1969, "The effect of flow rate and duration of stimulation on the concentration of protein and the main electrolytes in human parotid saliva". Arch. Oral Biol. 14, 277-294.
- de VRIES, H. y STUIVER, M.: 1961, "The absolute sensitivity of the human sense of smell". En: "Sensory Communication". Editado por: W. A. Rosenblith, MIT/Wiley, Cambridge, Mass., U.S.A., pp. 159-167.

- DOTY, R. L.: 1975, "Intranasal trigeminal detection of chemical vapors by humans". Physiol. Behav. 14 (6), 855-859.
- DOTY, R. L.; BRUGGER, W. E.; JURIS, P. C.; ORNDORFF, M. A.; SNYDER, P. F. y LOWRY, L.D.: 1978, "Intranasal trigeminal stimulation from odorous volatiles: psychometric responses from anosmic and normal humans". Physiol. Behav. 20 (2), 175-185.
- DUNN, J. D.; COMETTO-MUNIZ, J. E. y CAIN, W. S.: 1982, "Nasal reflexes: reduced sensitivity to CO₂ irritation in cigarette smokers". J. Appl. Toxicol. 2 (3), 176-178.
- EKMAN, G.: 1956, "Subjective power functions and the method of fractionation". Report from the Psychological Laboratory, University of Stockholm, N°34.
- EKMAN, G.; BERGLUND, B.; BERGLUND, U. y LINDVALL, T.: 1967, "Perceived intensity of odor as a function of time of adaptation". Scand. J. Psychol. 8, 177-186.
- ELSBERG, C. A.; LEVY, I. y BREWER, E. D.: 1935, "The sense of smell, VI. The trigeminal effects of odorous substances". Bulletin of the Neurological Institute of New York 4, 270-285.
- ELSBERG, C. A.; SPOTNITZ, H. y STRONGIN, E. J.: 1942, "The olfactory parotid reflex". Arch. Neural Psychiatr. 47, 707-717.
- ENGEN, T.: 1961, "Direct scaling of odor intensity". Report N° 106. Psychological Lab., U. of Stockholm.
- FABIAN, F. W. y BLUM, H. B.: 1943, "Relative taste potency of some basic food constituents and their competitive and compensatory action". Food Research 8, 179-193.

- FECHNER, G. T.: 1860, "Elemente der Psychophysik". Leipzig: Breitkopf und Härtel.
- FERGUSON, W. S.; KOCH, W. C.; WEBSTER, L. B. y GOULD, J. R.: 1977, "Human physiological response and adaption to ammonia". J. Occup. Med. **19** (5), 319-326.
- FOSTER, D.: 1963, "Odors in series and parallel". Proc. Sci. Section, Toilet Goods Assoc. **39**, 1-6.
- FRIJTERS, J. E. R.; de GRAAF, C. y KOOLEN, H. C. M.: 1984, "The validity of the equiratio taste mixture model investigated with sorbitol-sucrose mixtures". Chem. Senses **9** (3), 241-248.
- GALANTER, E y MESSICK, S.: 1961, "The relation between category and magnitude scales of loudness". Psychol. Rev. **68**, 363-372.
- GAMBLE, J. F.; McMICHAEL, A. J.; WILLIAMS, T. y BATTIGELLI, M.: 1976, "Respiratory function and symptoms: An environmental-epidemiological study of rubber workers exposed to a phenol-formaldehyde type resin". Am. Ind. Hyg. Assoc. J. **37**, 499-513.
- GARCIA-MEDINA, M. R.: 1981 a, "Flavor-odor taste interactions in solutions of acetic acid and coffee". Chem. Senses **6** (1), 13-22.
- GARCIA-MEDINA, M. R.: 1981 b, "Escalas psicofísicas de sustancias con los cuatro gustos básicos". La Alimentación Latinoamericana **15** (131), 6-18.
- GARCIA-MEDINA, M. R. y CAIN, W. S.: 1982, "Bilateral integration in the common chemical sense". Physiol. Behav. **29** (2), 349-353.
- GILLAN, D. J.: 1983, "Taste-taste, odor-odor, and taste-odor mixtures:

Greater suppression within than between modalities". Percept. Psychophys. 33 (2), 183-185.

GUIRAO, M.: 1980, "Los Sentidos, Bases de la Percepción". Editorial Alhambra, Madrid, España.

GUIRAO, M. y VALCIUKAS, J. A.: 1975, "Perceived vibration and the loudness of low frequency tones". Percept. Psychophys. 17, 460-464.

HARPER, R.; SMITH, E. C. B. y LAND, D. C.: 1968, "Odor Description and Odor Classification". American Elsevier, New York, U.S.A., p. 191.

HARRIS, W.: 1952, "The fifth and seventh cranial nerves in relation to the nervous mechanism of taste sensation". Br. Med. J. 1, 831-836.

HENKIN, R. I.: 1970, "The role of unmyelinated nerve fibers in the taste process". En: "Second Symposium on Oral Sensation and Perception". Editado por: J. F. Bosma. Charles C. Thomas, Springfield, IL, U.S.A., pp 80-99.

HORNUNG, D. E. y ENNS, M. P.: 1984, "The independence and integration of olfaction and taste". Chem. Senses 9 (2), 97-106.

HUGHES, J. R. y MAZUROWSKI, J. A.: 1962, "Studies on the supracallosal mesial cortex of unanesthetized, conscious mammals. II. Monkey. C. Frequency analysis of responses from the olfactory bulb". Electroenceph. clin. Neurophysiol. 14, 646-653.

INDOW, T.: 1969, "An application of the τ scale of taste: Interaction among the four qualities of taste". Percept. Psychophys. 5, 347-351.

JAVORKA, K. y TOMORI, Z.: 1972, "Effect of sympathetic agents on cardiovascular, respiratory and glottal changes during the apnoeic reflex of nasal origin". Physiol. Bohemoslov. 21, 517-525.

- JONES, F. N. y WOSKOW, M. H.: 1964, "On the intensity of odor mixtures".
Ann. N. Y. Acad. Sci. 116, 484-494.
- JONES, M. H.: 1954, "A study of the 'common chemical sense'". Am. J. Psychiatry 67, 696-699.
- KAMEN, J. M.; PILGRIM, F. L.; GUTMAN, N. J. y KROLL, B. J.: 1961, "Interaction of suprathreshold taste stimuli", J. Exp. Psychol. 62, 348-356.
- KANE, L. E. y ALARIE, Y.: 1977, "Sensory irritation to formaldehyde and acrolein during single and repeated exposures in mice". Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 38 (10), 509-522.
- KANE, L. E. y ALARIE, Y.: 1978, "Evaluation of sensory irritation from acrolein-formaldehyde mixtures". Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 39 (4), 270-274.
- KANE, L. E.; BARROW, C. S. y ALARIE, Y.: 1979, "A short-term test to predict acceptable levels of exposure to airborne sensory irritants". Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 40 (3), 207-229.
- KATZ, S. H. y TALBERT, E. J.: 1930, "Intensities of odors and irritating effects of warning agents for inflammable and poisonous gases". U. S. Dept. Commerce Bureau of Mines, Technical Paper, 480, 1-37.
- KEELE, C. A.: 1962, "The common chemical sense and its receptors". Arch. Int. Pharmacodyn. 129, (3-4), 547-557.
- KERR, D. I. B. y HAGBARTH, K. E.: 1955, "An investigation of olfactory centrifugal fiber system". J. Neurophysiol. 18, 362-374.
- KIESOW, F.: 1896, "Beiträge zur Physiologischen Psychologie des Geschmackssines"
Phil. Stud. 12, 255-278.

- KOSTER, E. P.: 1969, "Intensity in mixtures of odorous substances". En: "Olfaction and Taste III". Editado por Carl Pfaffmann. The Rockefeller University Press, New York, U.S.A., pp 142-149.
- KRATSCHEMER, F.: 1870, "Über Reflexe von der Nasenschleimhaut auf Athmung und Kreislauf". Sitz. Acad. Wiss. Wien. 62, 147-170.
- KROEZE, J. H. A.: 1982, "After repetitious sucrose stimulation saltiness suppression in Na Cl-sucrose mixtures is diminished: implications for a central mixture suppression mechanism". Chem. Senses 7 (1), 81-92.
- KROEZE, J. H. A.: 1983, "Successive contrast cannot explain suppression release after repetitious exposure to one of the components of a taste mixture". Chem. Senses 8 (2), 211-223.
- KULLE, T. J. y COOPER, G. P.: 1975, "Effects of formaldehyde and ozone on the trigeminal nasal sensory system". Arch. Environ. Health 30, 237-243.
- LAFFORT, P. y DRAVNIKS, A.: 1982, "Several models of suprathreshold quantitative olfactory interaction in humans applied to binary, ternary and quaternary mixtures". Chem. Senses 7 (2), 153-174.
- LAING, D. G. y WILLCOX, M. E.: 1983, "Perception of components in binary odour mixtures". Chem. Senses 7 (3/4), 249-264.
- LANE, H. L.; CATANIA, A. C. y STEVENS S. S.: 1961, "Voice level: Autophonic scale, perceived loudness and effects of sidetone. Journal of the Acoustical Society of America 33, 160-167.
- LAWLESS, H.: 1979, "Evidence for neural inhibition in bittersweet taste mixtures". J. Comp. and Physiol. Psychol. 93, 538-547.

- LAWLESS, H.: 1982, "Adapting efficiency of salt-sucrose mixtures". Percept. Psychophys. 32, 419-422.
- LAWLESS, H.: 1984, "Oral chemical irritation: Psychophysical properties". Chem. Senses 9 (2), 143-155.
- LAWLESS, H. y STEVENS, D. A.: 1984, "Effects of oral chemical irritation on taste". Physiol. Behav. 32, 995-998.
- LUCE, R. D.: 1959, "On the possible psychophysical laws". Psychol. Rev. 66, 81-95.
- MARKS, L.: 1974, "Sensory Processes. The New Psychophysics". New York y London: Academic Press.
- MARKS, L. E. y STEVENS J. C.: 1968, "The form of the psychophysical function near threshold". Percept. Psychophys. 4 (5), 315-318.
- MASSION, J.; MEULDERS, M. y GIJBELS, J.: 1954, "Etude des reflexes respiratoires provoqués par l'excitation de la muqueuse nasale". Arch. Int. Physiol. 62, 127-129.
- MATTIELLO, M. L. F. y GUIRAO, M.: 1974, "Direct estimation of lightness of surface colors". J. Opt. Soc. Am. 64, 206-209.
- McBURNEY, D. y PFAFFMAN, C.: 1963, "Gustatory adaptation to saliva and sodium chloride". J. Exp. Psychol. 65, 523-529.
- McRITCHIE, R. J. y WHITE, S. W.: 1974, "Role of trigeminal, olfactory, carotid sinus and aortic nerves in the respiratory and circulatory response to nasal inhalation of cigarette smoke and other irritants in the rabbit". Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci. 52, 127-140.

- MEISELMAN, H. L.: 1971, "Effect of presentation procedure on taste intensity functions". Percept. Psychophys. 10 (1), 15-18.
- MEISELMAN, H. L.: 1980, "Variables affecting the psychophysical function for taste". En: "Olfaction and Taste VII". Editado por H. van der Starre. I.R.L. Press, Londres y Washington D. C.
- MEISELMAN, H. L.; BOSE, H. E. y NYKVIST, W. E.: 1972, "Effect of flowrate on taste intensity responses in humans". Physiol. Behav. 9, 35-38.
- MONCRIEFF, R. W.: 1955, "A technique for comparing the threshold concentrations for olfactory, trigeminal, and ocular irritations". Q. J. Exp. Psychol. 7, 128-132.
- MONCRIEFF, R. W.: 1967, "The Chemical Senses", Leonard Hill, Londres.
- MORINO, T. y LANGFORD, H. G.: 1978, "Salivary sodium correlates with salt recognition thresholds". Physiol. Behav. 21, 45-48.
- MOSKOWITZ, H. R.: 1970, "Ratio scales of sugar sweetness". Percept. Psychophys. 7 (5), 315-320.
- MOSKOWITZ, H. R.: 1971, "Ratio scales of acid sourness". Percept. Psychophys. 9 (3B), 371-374.
- MOSKOWITZ, H. R.: 1972, "Perceptual changes in taste mixtures". Percept. Psychophys. 11, 257-262.
- MOSKOWITZ, H. R.: 1973 a, "Models of sweetness additivity". J. Exp. Psychol. 99, 88-98.
- MOSKOWITZ, H. R.: 1973 b, "Effects of solution temperature on taste intensity in humans". Physiol. Behav. 10, 289-292.

- MOSKOWITZ, H. R.: 1974 a, "Models of additivity for sugar sweetness". En: "Sensation and Measurement: Papers in Honor of S. S. Stevens". Editado por: H. R. Moskowitz, B. Scharf y J. C. Stevens. Dordrecht, The Netherlands: Reidel, pp 379-388.
- MOSKOWITZ, H. R.: 1974 b, "Sourness of acid mixtures". J. Exp. Psychol. 4, 640-647.
- MOSKOWITZ, H. R. y BARBE, C. D.: 1977, "Profiling of odor components and their mixtures". Sensory Processes 1 (3), 212-226.
- MOSKOWITZ, H. R.; DRAVNIIEKS, A.; CAIN, W. S. y TURK, A.: 1974, "Standardized procedure for expressing odor intensity". Chem. Senses and Flavor 1 (2), 235-237.
- MOSKOWITZ, H. R.; DRAVNIIEKS, A. y KLARMAN, L. A.: 1976, "Odor intensity and pleasantness for a diverse set of odorants". Percept. Psychophys. 19 (2), 122-128.
- MOULTON, D. G.: 1967, "The interrelations of the chemical senses". En: "The Chemical Senses and Nutrition". Editado por: M. R. Kare y O. Maller. The Johns Hopkins Press, Baltimore, U.S.A., pp 249-261.
- MURPHY, C. y CAIN, W. S.: 1980, "Taste and olfaction: Independence vs. interaction". Physiol. Behav. 24 (3), 601-605.
- MURPHY, C.; CAIN, W. S. y BARTOSHUK, L. M.: 1977, "Mutual action of taste and olfaction". Sensory Processes 1 (3), 204-211.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL: 1979, "Odors from Stationary and Mobile Sources". National Academy of Sciences, Washington, U.S.A., p. 491.
- NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health: 1973, "Manual of Analytical Methods", pp 125-1 - 125-9, 2nd. Ed. Vol. 1. Washington

D. C.: U. S. Government Printing Office, U. S. Dept. Health, Education and Welfare.

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health: 1974,

"Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Ammonia", HEW Publication No. (NIOSH) 74-136, U. S. Dept. Health, Education and Welfare.

NORWICH, K. H.: 1984, "The psychophysics of taste from the entropy of the stimulus". Percept. Psychophys. 35 (3), 269-278.

PANGBORN, R. M.: 1960, "Taste interrelationships". Food Research 25, 245-256.

PARKER, G. H.: 1922, "Smell, Taste and Allied Senses in Vertebrates". Lippincott, Philadelphia, PA, U.S.A., p. 192.

PATTE, F.; ETCHETO, M. y LAFFORT, P.: 1975, "Selected and Standardized values of suprathreshold odor intensities for 110 substances". Chem. Senses Flav. 1 (3), 283-305.

PATTE, F. y LAFFORT, P.: 1979, "An alternative model of olfactory quantitative interaction in binary mixtures". Chem. Senses Flav. 4 (4), 267-274.

PFAFFMANN, C.: 1951, "Taste and Smell". En: "Handbook of Experimental Psychology" Editado por S. S. Stevens, John Wiley and Sons Inc., pp 1143-1155.

PRYOR, G.; STEINMETZ, G. y STONE, H.: 1970, "Changes in absolute detection threshold and in subjective intensity of suprathreshold stimuli during olfactory adaptation and recovery". Percept. Psychophys. 8 (5B), 331-335.

- PUNTE, C.L.; OWENS, E. J.; GUTENTAG, P. J. y ARSENAL, E.: 1963, "Exposures to ortho-chlorobenzylidene malononitrile". Arch. Environ. Health 6, 72-80.
- ROSEN, A. A.; PETER, J. B. y MIDDLETON, F. M.: 1962, "Odor threshold of mixed organic chemicals". J. Water Pollut. Contr. Fed. 35, 7-14.
- ROZIN, P.; MARK, M. y SCHILLER, D.: 1981, "The role of desensitization to capsaicin in chili pepper ingestion and preference". Chem. Senses 6, (1), 23-31.
- SCHARF, B. y STEVENS, J. C.: 1959, "The form of the loudness function near threshold". Proceedings of the 3rd. International Congress on Acoustics. Editado por L. Cremer, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, pp 80-82.
- SCHWARTZ, H. G. y WEDDELL, G.: 1938, "Observations on the pathways transmitting the sensation of taste". Brain 61, 99-115.
- SEM-JACOBSEN, C. W.; PETERSEN, M. C.; DODGE, H. W. Jr.; JACKS, Q. D.; LAZARTE, J. A. y HOLMAN, C.B.: 1956, "Electric activity of the olfactory bulb in man". Am. J. Med. Sci. 232, 243-251.
- SILVER, W. L. y MARUNIAK, J. A.: 1981, "Trigeminal chemoreception in the nasal and oral cavities". Chem. Senses 6 (4), 295-305.
- SILVER, W. L. y MOULTON, D. G.: 1982, "Chemosensitivity of rat nasal trigeminal receptors". Physiol. Behav. 28, 927-931.
- SILVERMAN, L.; WHITTENBERGER, J. L. y MULLER, J.: 1949, "Physiological response of man to ammonia in low concentrations". J. Ind. Hyg. Toxicol. 31 (2), 74-78.

- SIM, V. M. y PATTLE, R. E.: 1957, "Effect of possible smog irritants on human subjects", J.A.M.A. 165 (15), 1908-1913.
- SMITH, D. V.: 1971, "Taste intensity as a function of area and concentration: Differentiation between compounds". J. Exp. Psychol. 87 (2), 163-171.
- STEINMETZ, G.; PRYOR, G. T. y STONE, H.: 1970, "Olfactory adaptation and recovery in man as measured by two psychophysical techniques". Percept. Psychophys. 8 (5B), 327-330.
- STEVENS, J. C.: 1957, "A comparison of ratio scales for the loudness of white noise and the brightness of white light". Doctoral Dissertation, Harvard University.
- STEVENS, J. C.: 1967, "Brightness function: Binocular versus monocular stimulation". Percept. Psychophys. 2, 451-454.
- STEVENS, J. C. y MACK, J. D.: 1959, "Scales of apparent force". J. Exp. Psychol. 58, 405-413.
- STEVENS, J. C. y MARKS, L. E.: 1965, "Cross-modality matching of brightness and loudness". Proceedings of the National Academy of Sciences, United States 54, 407-411.
- STEVENS, J. C. y MARKS, L. E.: 1980, "Cross-modality functions generated by magnitude estimation". Percept. Psychophys. 27 (5), 379-389.
- STEVENS, J. C. y STEVENS S. S.: 1960, "Warmth and cold: dynamics of sensory intensity". J. Exp. Psychol. 60, 183-192.
- STEVENS, S. S.: 1955, "The measurement of loudness". Journal of the Acoustical Society of America 27, 815-829.
- STEVENS, S. S.: 1957, "On the Psychophysical Law", Psychol. Rev. 64, 153-181.

- STEVENS, S. S.: 1959 a, "Tactile vibration: Dynamics of sensory intensity". J. Exp. Psychol. 57, 210-218.
- STEVENS, S. S.: 1959 b, "Measurement, psychophysics and utility". En: "Measurement: Definitions and Theories". Editado por: C. West Churchman y Philburn Ratoosh. John Wiley and Sons, New York, pp 18-63.
- STEVENS, S. S.: 1960 a, "Subjective intensity of coffee odor". Am. J. Psychol. 73, 424-428.
- STEVENS, S. S.: 1960 b, "Ratio scales, partition scales and confusion scales". En: "Psychological Scaling: Theory and Applications". Editado por: H. Gulliksen y S. Messick. Wiley and Sons, New York, pp 49-66.
- STEVENS, S. S.: 1961, "The psychophysics of sensory function". En: "Sensory Communication". Editado por: W. A. Rosenblith, Cambridge, Mass.: The M.I.T. Press, pp 1-33.
- STEVENS, S. S.: 1962 a, "In Pursuit of the Sensory Law". Second Public Klopsteg Lecture, Technological Institute, Northwestern University, Evanston, Illinois, U.S.A.
- STEVENS, S. S.: 1962 b, "The surprising simplicity of sensory metrics". Am. Psychologist 17, 29-39.
- STEVENS, S. S.: 1969, "Sensory scales of taste intensity". Percept. Psychophys. 6 (5), 302-308.
- STEVENS, S. S.: 1970, "Neural events and the psychophysical law". Science 170, 1043-1050.
- STEVENS, S. S.: 1975, "Psychophysics: Introduction to its Perceptual, Neural

and Social Prospects". New York: Wiley and Sons.

- STEVENS, S. S. y GUIRAO, M.: 1964, "Scaling of apparent viscosity". Science 144, 1157-1158.
- STEVENS, S. S. y HARRIS, J. R.: 1962, "The scaling of subjective roughness and smoothness". J. Exp. Psychol. 64, 489-494.
- STONE, H.; CARREGAL, E. J. A. y WILLIAMS, B.: 1966, "The olfactory-trigeminal response to odorants". Life Sci. 5, 2195-2201.
- STONE, H. y OLIVER, S. M.: 1969, "Measurement of the relative sweetness of selected sweeteners and sweeteners mixtures". J. Food Sci. 34, 215-222.
- STONE, H y REBERT, C. S.: 1970, "Observations on trigeminal-olfactory interactions". Brain Res. 21, 138-142.
- STONE, H.; WILLIAMS, B. y CARREGAL, E. J.: 1968, "The role of the trigeminal nerve in olfaction". Exp. Neurol. 21, 11-19.
- TOMORI, Z. y WIDDICOMBE, J. G.: 1969, "Muscular, bronchomotor and cardiovascular reflexes elicited by mechanical stimulation of the respiratory tract". J. Physiol. 200, 25-49.
- TUCKER, D.: 1961, "Physiology of olfaction". Am. Perfumer 76, 48-53.
- TUCKER, D.: 1963, "Olfactory, vomeronasal and trigeminal receptor response to odorants". En: "Olfaction and Taste I". Editado por: Y. Zotterman, Pergamon Press, New York, U.S.A., pp 45-69.
- TUCKER, D.: 1971, "Non-olfactory responses from the nasal cavity: Jacobson's organ and the trigeminal system". En: "Handbook of Sensory Physiology. Vol. IV, Chemical Senses, Part I, Olfaction". Springer-Verlag, Berlin,

- FRG, pp 151-181.
- ULRICH, C. E.; HADDOCK, M. P. y ALARIE, Y.: 1972, "Airborne chemical irritants. Role of the trigeminal nerve". Arch. Environ. Health 24, 37-42.
- WALSH, R. R.: 1956, "Single cell spike activity in the olfactory bulb". Am. J. Physiol. 186, 255-257.
- WEBER, E. H.: 1834, "De Pulsu, Resorptione, Auditu et Tactu: Annotationes Anatomicae et Physiologicae". Leipzig: Koehler.
- WEIL, A.: 1976, "Hot! Hot! - 1: Eating chilies". J. Psychodelic Drugs 8, 83-86.
- WHITE, S. W. y McRITCHIE, R. J.: 1973, "Nasopharyngeal reflexes: Integrative analysis of evoked respiratory and cardiovascular effects". Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci. 51 (Pt.1), 17-31
- WOOD, R. W.: 1979, "Behavioral evaluation of sensory irritation evoked by ammonia". Toxicol. Appl. Pharmacol. 50, 157-162.
- YAMAGUCHI, S.; YOSHIKAWA, T.; IKEDA, S. y NINOMIYA, T.: 1970, "Studies on the taste of some sweet substances. II. Interrelationships among them". Agr. and Biol. Chem. 34, 187-197.
- ZWAARDEMAKER, H.: 1907, "Über die Proportionen der Geruchs Kompensation". Arch. Anat. Physiol. (Leipzig) 31, Suppl., 59-70.