

INVESTIGACION *y* CIENCIA

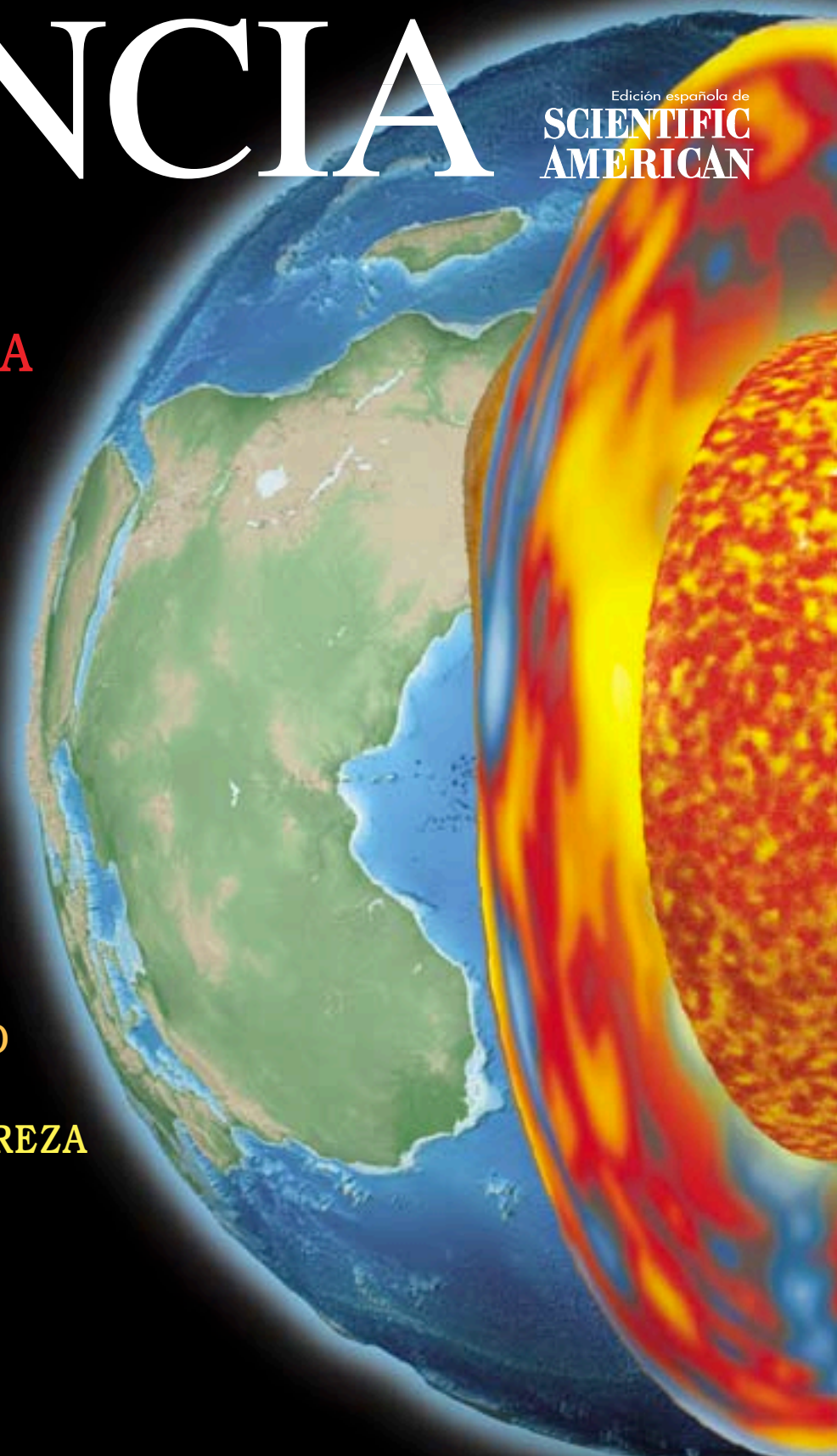
MAYO 2001
800 PTA. 4,81 EURO

Edición española de
**SCIENTIFIC
AMERICAN**

**DINAMICA
INTERNA
Y
CONFIGURACION
DE LA
TIERRA**

EL SENTIDO DEL GUSTO

**GEOGRAFIA DE LA POBREZA
Y LA RIQUEZA**



SECCIONES

3

HACE...

50, 100 y 150 años.

30

PERFILES

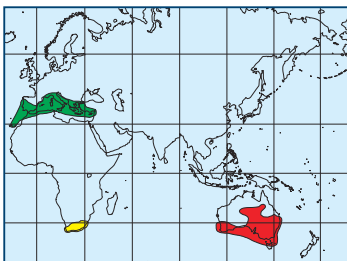
Napoleon Chagnon:
un antropólogo
controvertido.



32

CIENCIA Y SOCIEDAD

Incendios forestales...
Contaminación urbana...
Procesos industriales,
deposición química
en fase vapor...
Avances en bioquímica...
Flora mediterránea,
lobeliáceas.



42

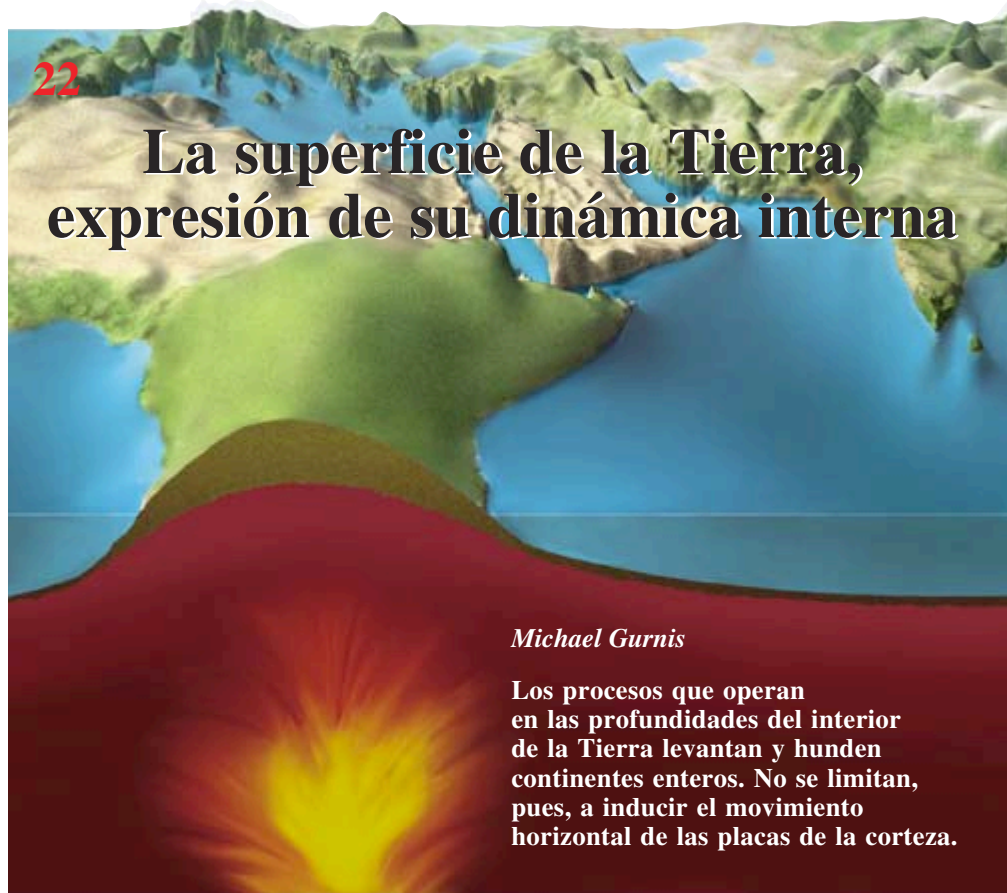
DE CERCA

Dimorfismo sexual
en la gamba.



22

La superficie de la Tierra, expresión de su dinámica interna



Michael Gurnis

Los procesos que operan
en las profundidades del interior
de la Tierra levantan y hunden
continentes enteros. No se limitan,
pues, a inducir el movimiento
horizontal de las placas de la corteza.

El sentido del gusto

David V. Smith y Robert F. Margolskee

¿Cómo identifica la lengua las sensaciones
de dulce, salado, ácido y amargo? La ciencia
está descubriendo las interpretaciones
que realiza el cerebro de esas señales,
traducidas en los distintos gustos.



14

Evolución de los lagartos del Caribe

Jonathan B. Losos

En algunas islas del Caribe, parece que
la evolución ha dado la misma vuelta...
una y otra vez. Una investigación
de los lagartos anolis aclara este misterio
biológico.



44



Anatomía de larga vida

S. Jay Olshansky, Bruce A. Carnes y Robert N. Butler

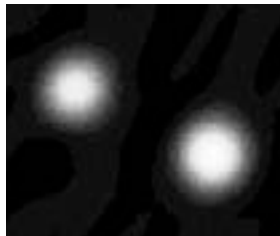
Si los seres humanos hubieran sido contruidos para perdurar, tendríamos un aspecto muy diferente. Por dentro y por fuera seríamos muy otros, si la evolución hubiera diseñado el cuerpo humano para funcionar como la seda no sólo en la juventud, sino también durante un siglo o más tiempo.

50

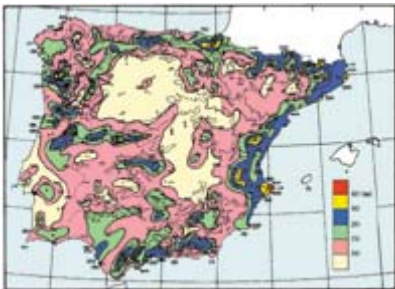
Interferometría estelar

Arsen R. Hajian, y J. Thomas Armstrong

Los nuevos interferómetros ópticos permiten a los astrónomos examinar las estrellas con un detalle 100 veces superior al que facilita el telescopio espacial Hubble.



60



Lluvias torrenciales

Clemente Ramis, Romualdo Romero, Víctor Homar y Sergio Alonso

La influencia determinante de los factores que intervienen en el desarrollo de lluvias torrenciales puede investigarse a través de técnicas de simulación numérica.

70

Geografía de la pobreza y la riqueza

Jeffrey D. Sachs, Andrew D. Mellinger y John L. Gallup

El clima tropical y la falta de acceso al comercio marítimo han perjudicado a las naciones más pobres. Con los nuevos planes de ayuda podría abrírseles el camino hacia la prosperidad.



76



Integración de los bárbaros en la sociedad galo-romana

Michel Kazanski y Christian Pilet

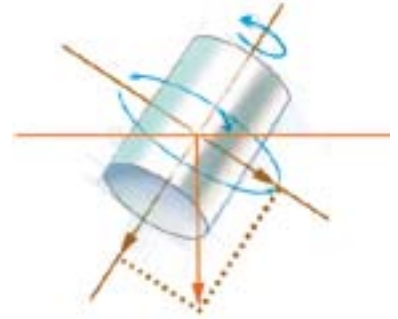
Contrariamente a la creencia popular, los hunos y otros bárbaros venidos de Oriente no eran todos unas hordas sanguinarias. Mercenarios a sueldo de Roma, algunos se integraron en la sociedad galo-romana.

SECCIONES

84

TALLER Y LABORATORIO

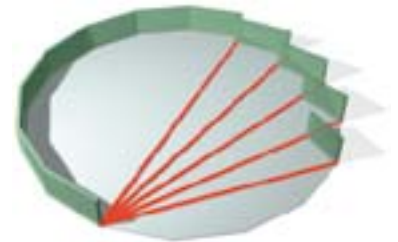
Geotropismo, por última vez, por Shawn Carlson



86

JUEGOS MATEMÁTICOS

En busca de la intimidad poligonal, por Ian Stewart



88

IDEAS APLICADAS

Pistolas de radar, por Mark Fischetti

90

NEXOS

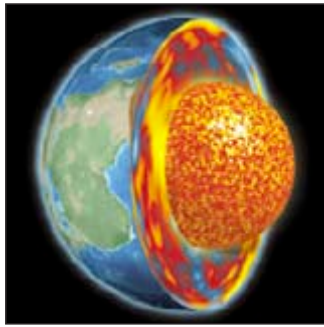
Despedida a la francesa, por James Burke

92

LIBROS

Razón y ciencia. El cuerpo y su representación. Genética molecular





Portada: William Haxby
y Slim Films

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
5	Catherine Ledner Stone
6-7	Keith Kasnot (<i>ilustraciones</i>); Biophoto Associates/Photo Researchers, Inc. (<i>Papila</i>); Photo Researchers, Inc. (<i>Botón gustativo</i>)
8-9	Jared Schneidman Design
10	Edward Bell
11	Laurie Grace
14-15	Roberto Osti
16-17	Roberto Osti (<i>mapa</i>); Jonathan B. Losos (<i>fotografías</i>)
18	Laurie Grace
19	Roberto Osti
22-24	David Fierstein
25	D. Fierstein, fuente: Jeroen Ritsema
26-29	David Fierstein
44-49	Patricia J. Wynne
50-51	Christian A. Hummel <i>USNO/NRL</i> Proyecto de Interferometría Óptica (<i>arriba</i>); Roger Ressemeyer (<i>abajo</i>)
52	Cortesía del grupo astrofísico John Young Cavendish (<i>Betelgeuse</i>); Slim Films (<i>dibujo</i>); Dennis di Cicco (<i>sol</i>)
53	Slim Films
54	Inst. Carnegie de Washington
55	Slim Films (<i>arriba</i>); Michael Collier y Nathaniel White <i>NPOI</i> (<i>abajo</i>)
56	Johnny Johnson, fuente: <i>NPOI</i>
57	Johnny Johnson, fuente: Interferómetro Mark III
60-68	Clemente Ramis, Romualdo Romero, Víctor Homar y Sergio Alonso
70-71	Samuel Velasco, fuentes: The World Bank, <i>The World Factbook</i> (Cia, 1996 y 1997), The Global Demography Project y The Environmental Systems Research Institute
72	R. Janke/ <i>Peter Arnold, Inc.</i>
73	R. Giling/ <i>Peter Arnold, Inc.</i>
74-75	Samuel Velasco, fuentes: The World Bank, <i>The World Factbook</i> (Cia, 1996 y 1997) y Modern Physical Geography, de Alan H. Strahler y Arthur N. Strahler (John Wiley & Sons, 1992)
77	PLS según Michel Kazanski y Hervé Halbout (<i>mapas</i>); Eddy Krähenbühl/Museos de París 1997
78	Patrick David/Museo de Normandía, Caen
79	Christian Pilet/ <i>CRAM (arriba)</i> ; Patrick David/Museo de Normandía, Caen (<i>abajo</i>)
80	C. Pilet/ <i>CRAM (abajo en la figura superior)</i> , C. Bonnet (<i>arriba</i>) y P. David (<i>derecha</i>); Didier Paillard (<i>abajo</i>)
81	P. David (<i>a</i>), Gilles Lecrosnier (<i>b</i> , <i>d</i> , <i>e</i> y <i>f</i>), Museo Nac. Hongrois (<i>c</i>); Eddy Krähenbühl (<i>dibujo</i>)
82	Patrick David

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

José M.ª Valderas Martínez: *El sentido del gusto y Nexos*; Joandomènec Ros: *Evolución de los lagartos del Caribe*; Sònia Ambrós: *La superficie de la Tierra, expresión de su dinámica interna*; Cristóbal Pera: *Anatomía de larga vida*; M.ª Rosa Zapatero: *Interferometría estelar*; José Manuel García de la Mora: *Geografía de la pobreza y la riqueza e Integración de los bárbaros en la sociedad galo-romana*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio e Ideas aplicadas*; Luis Bou: *Juegos matemáticos*

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén

EDICIONES José María Valderas, *director*

ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*

PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón

Bernat Peso Infante

SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez

EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)

Teléfono 93 414 33 44 Telefax 93 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie

MANAGING EDITOR Michelle Press

ASSISTANT MANAGING EDITOR Ricki L. Rusting

NEWS EDITOR Philip M. Yam

SPECIAL PROJECTS EDITOR Gary Stix

SENIOR WRITER W. Wayt Gibbs

EDITORIAL DIRECTOR, ON-LINE Kristin Leutwyler

EDITORS Mark Alpert, Steven Ashley, Graham P. Collins, Carol Ezzell,

Steve Mirsky, George Musser y Sarah Simpson

PRODUCTION EDITOR Richard Hunt

VICE PRESIDENT AND MANAGING DIRECTOR, INTERNATIONAL Charles McCullagh

PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER Gretchen G. Teichgraber

CHAIRMAN Rolf Grisebach

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 93 414 33 44
Fax 93 414 54 13

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	8.800 pta. 52,89 euro	16.000 pta. 96,16 euro
Extranjero	11.500 pta. 69,12 euro	21.500 pta. 129,22 euro

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pta. 4,81 euro
Extraordinario: 1.000 pta. 6,01 euro

—El precio de los ejemplares atrasados
es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

LOGISTA, S. A.
Aragoneses, 18 (Pol. Ind. Alcobendas)
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. 91 484 39 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono 93 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, semisótano, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. 91 409 70 45 – Fax 91 409 70 46

Cataluña y Baleares:

Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. 93 321 21 14
Fax 93 414 54 13

Difusión
controlada

Copyright © 2001 Scientific American Inc., 415 Madison Av., New York N. Y. 10017.

Copyright © 2001 Prensa Científica S.A. Muntaner, 339 pral. 1.ª 08021 Barcelona (España)

Reservados todos los derechos. Prohibida la reproducción en todo o en parte por ningún medio mecánico, fotográfico o electrónico, así como cualquier clase de copia, reproducción, registro o transmisión para uso público o privado, sin la previa autorización escrita del editor de la revista. El nombre y la marca comercial SCIENTIFIC AMERICAN, así como el logotipo correspondiente, son propiedad exclusiva de Scientific American, Inc., con cuya licencia se utilizan aquí.

ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocopros reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona
Imprime Rotocayfo-Quebecor, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - 08130 Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

HACE...

...cincuenta años

VIRUS. «Si se contempla la situación médica en Norteamérica o Australia, el cambio actual más importante que se observa es la decreciente relevancia de las enfermedades contagiosas. Los hospitales de infecciosos están desapareciendo o siendo convertidos a otros usos. Con una utilización a fondo de nuestros conocimientos es posible controlar eficazmente las enfermedades infecciosas principales, con la notoria excepción de la poliomielitis. Según yo aprecio, el interés de los virus para la biología reside, sobre todo, en la posibilidad de emplearlos como sonda para estudiar la estructura y el funcionamiento de las células que infectan. —F. M. Burnet, director del Instituto Walter y Eliza Hall de Investigación Médica en Melbourne» [Nota de la redacción: Burnet ganó el premio Nobel de fisiología y medicina de 1960.]

...cien años

EL ELECTRÓN, ACEPTADO. «Si se demostrara por completo la teoría corpuscular del profesor J.J. Thompson, se operaría una revolución en nues-

tra concepción de la química. En reciente conferencia ante la Regia Institución, eligió como tema 'La existencia de cuerpos más pequeños que los átomos'. Al proponer su teoría al mundo científico, hace tres o cuatro años, fue recibida con incredulidad, pero hoy ya la aceptan numerosos científicos. El profesor considera que los átomos químicos están formados por un gran número de cuerpos similares que él llama 'corpúsculos'. Según los resultados de sus experimentos con diferentes sustancias la masa de un corpúsculo negativo es del orden de 1/500 la del átomo de hidrógeno.»

LINGUA FRANCA. «Según informes fechados en Frankfurt el 7 de marzo de 1901, el emperador ha decretado la enseñanza del inglés en los institutos de segunda enseñanza de Alemania, en sustitución del francés, que a partir de ahora será optativo.»

MORADAS EN PEÑASCOS. «En Mesa Verde, en Colorado, hay centenares de ruinas. Pero va a perder su condición de parque público, para detener la explotación comercial de los trabajos de los antiguos habitantes de las cuevas. Descubiertas hará unos

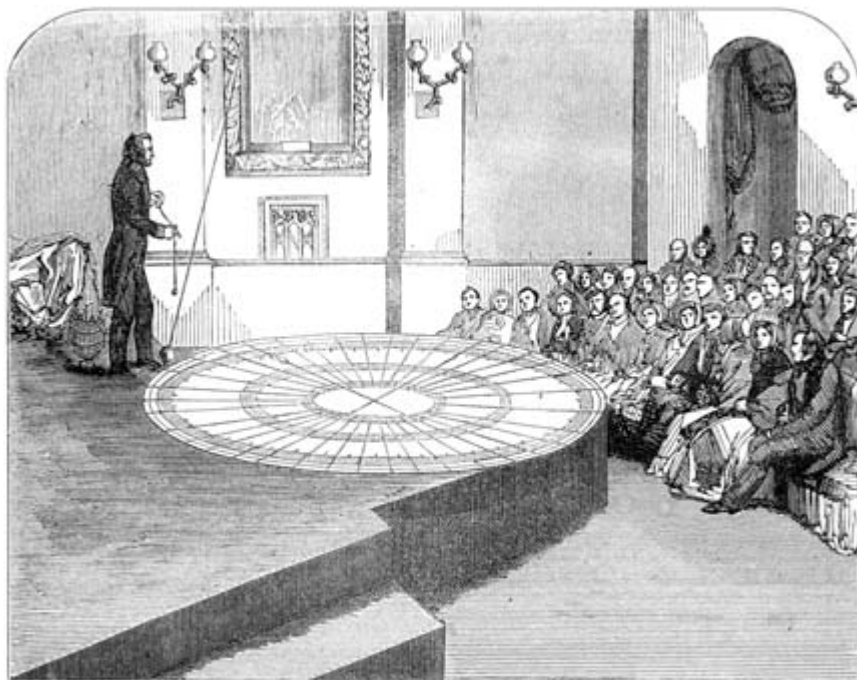
veinticinco años, las ruinas de Mesa Verde permanecieron durante mucho tiempo inmutables e incluso sin visitar, a causa de la inaccesibilidad del lugar. Pero a lo largo de los últimos diez años, los rancheros que habitan en la vecindad descubrieron que los especímenes procedentes de las ruinas poseen un valor comercial, y la actividad comenzó por despojar a los restos de cuanto pudiera ser transportado.»

...ciento cincuenta años

SE ABRE EL PALACIO DE CRISTAL. «Se calcula en más de tres millones de personas el público que en las cercanías de Hyde Park asistió a la inauguración de la Gran Exposición por la Reina y Su Alteza Real.»

CAUCHO DURO. «Patente, a Nelson Goodyear, de Nueva York, por una mejora en la manufactura del caucho de la India: 'Reivindico la combinación del caucho con azufre, con o sin goma laca, para hacer una sustancia dura e inflexible hasta ahora desconocida.'» [Nota de la redacción: Charles, hermano de Nelson, había inventado el proceso para estabilizar el caucho en bruto en 1839. Los fabricantes utilizaban el caucho vulcanizado para productos hechos hoy de plástico, tales como plumas de escribir y componentes eléctricos.]

EL PÉNDULO DE FOUCAULT. «El grabado adjunto muestra al doctor Bachhofer, del Instituto Politécnico de Londres, explicando el experimento de Monsieur Foucault, del mismo modo que en el Panteón de París, para poner de manifiesto la rotación del globo. Fija sobre el suelo hay una tabla circular, de unos cinco metros de diámetro, que supone gira con la Tierra; mientras, una bola de trece kilos de peso cuelga de un cable de 14 metros de largo y vibra [oscila] sobre la superficie de la tabla. El plano de vibración no cambia nunca, pero la rotación de la tabla, y por tanto la de la Tierra, es visible. El experimento es objeto de una gran controversia en Inglaterra, afirmando unos que se trata de un engaño y otros probando lo contrario.»



El sentido del gusto

¿Cómo identifica la lengua las sensaciones de dulce, salado, ácido y amargo? La ciencia está descubriendo las interpretaciones que realiza el cerebro de esas señales, traducidas en los distintos gustos

David V. Smith y Robert F. Margolskee

¿Qué sensaciones se experimentan al morder una pegajosa barra de chocolate y caramelo? Es blanda, dulce, cremosa. Al cerrar la boca para tragar, el aroma levemente amargo del chocolate asciende por los conductos nasales. El sentido del olfato, es cosa archisabida, interviene también en la percepción del sabor; lo puede atestiguar cualquiera que haya sufrido un resfriado.

El sabor es una compleja amalgama de la información sensitiva proporcionada por el gusto, el olfato y la sensación táctil que se tiene de la comida cuando se mastica, característica esta que los estudiosos suelen denominar “sensación bucal”. La palabra gusto se aplica, en sentido estricto, sólo a las sensaciones que provienen de las células especializadas de la boca, a pesar de que el vulgo emplea indistintamente gusto y sabor. En general, los científicos acotan la percepción humana del gusto a cuatro modalidades: salado, dulce, ácido y amargo. Pero algunos han sugerido la posible existencia de otras categorías. Es el caso del *umami*,

variedad gustativa que induce el glutamato, uno de los veinte aminoácidos que forman las proteínas de la carne, del pescado y de las legumbres. El glutamato se utiliza también como potenciador del sabor en el aditivo glutamato monosódico.

Se ha avanzado bastante en la dilucidación del funcionamiento del sentido del gusto. A lo largo de los últimos años, uno de los autores (Margolskee) y otros neurobiólogos han identificado proteínas determinantes para que las células gustativas detecten sustancias dulces y amargas, amén de descubrir que existen proteínas similares implicadas en el sentido de la vista. Otros, entre ellos el grupo dirigido por Smith, coautor del artículo, han observado que las neuronas del cerebro responden a más de un tipo de señal gustativa, de la misma forma que las neuronas que intervienen en el procesamiento de los estímulos visuales originados en la retina pueden reaccionar ante más de un color. Se está haciendo la luz en el mecanismo de operación de uno de los sentidos menos comprendidos.

Salado

Amargo

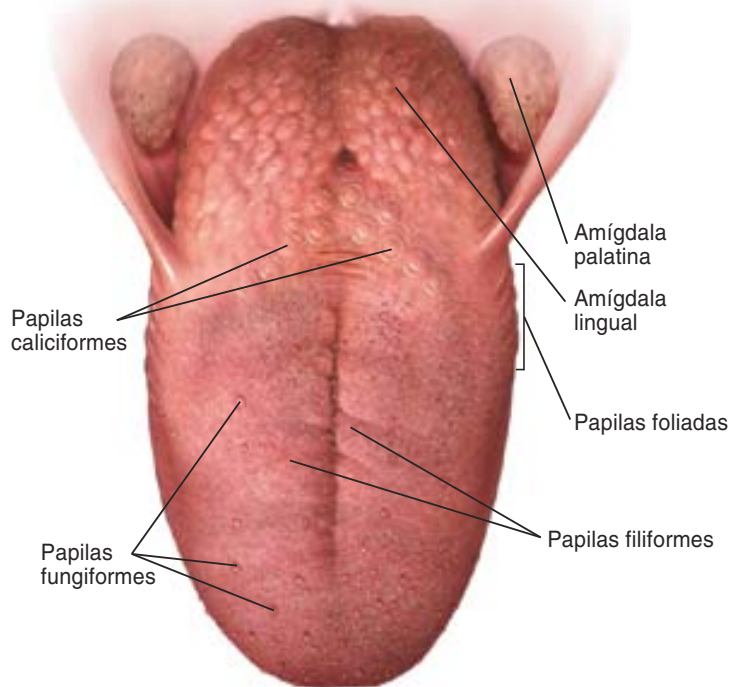
Dulce

Acido

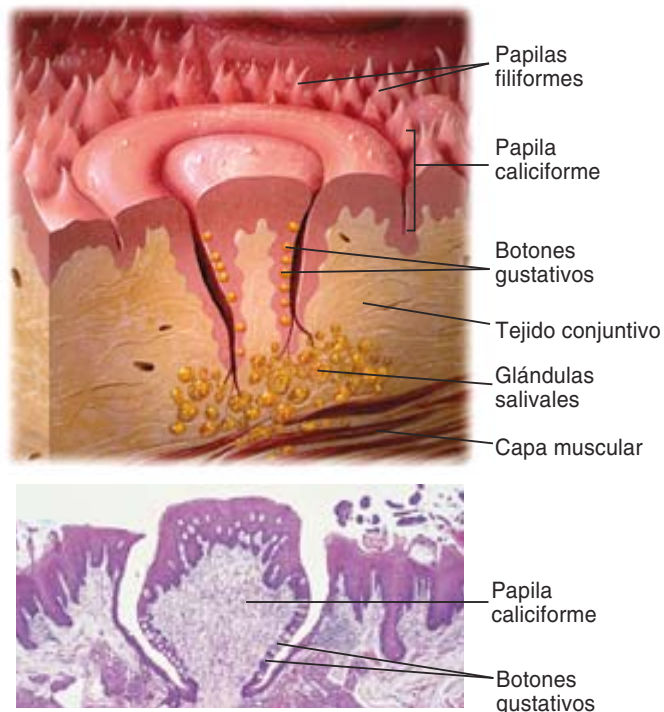
Umami



Lengua



Papila caliciforme



1. ANATOMIA DEL GUSTO. Distinguimos en la lengua hasta cuatro tipos de estructuras prominentes denominadas papilas gustativas. En el centro, a la izquierda, se pueden observar la estructura de una papila caliciforme y detalles de los

tones gustativos humanos. Unicamente en las papilas caliciformes, foliadas o fungiformes hay botones gustativos. Durante la masticación, las sustancias químicas de la comida entran en los poros de los botones gustativos donde interaccionan, en

Los detectores del gusto

Las células del gusto se encuentran en el interior de unas estructuras especializadas. Los botones gustativos, así se llaman éstas, se alojan sobre todo en la lengua y en el paladar blando. En su mayoría, los botones gustativos de la lengua se hallan, a su vez, dentro de las papilas gustativas, prominencias pequeñas de la lengua que le confieren su aspecto aterciopelado y que se clasifican según su morfología. Las papilas fungiformes, que residen en la parte anterior de la lengua, contienen uno o varios botones gustativos. Son fáciles de identificar, sobre todo después de tomar un vaso de leche o poner una gota de colorante en la punta de la lengua. De mayor tamaño son las papilas caliciformes, que, en número aproximado de doce, están en la parte posterior de la lengua, distribuidas en forma de “V” invertida. Las papilas foliadas crean pequeños surcos en los bordes laterales de la parte posterior de la lengua. Las papilas más numerosas son las filiformes, que, sin

embargo, carecen de botones gustativos y están implicadas en la sensación táctil bucal.

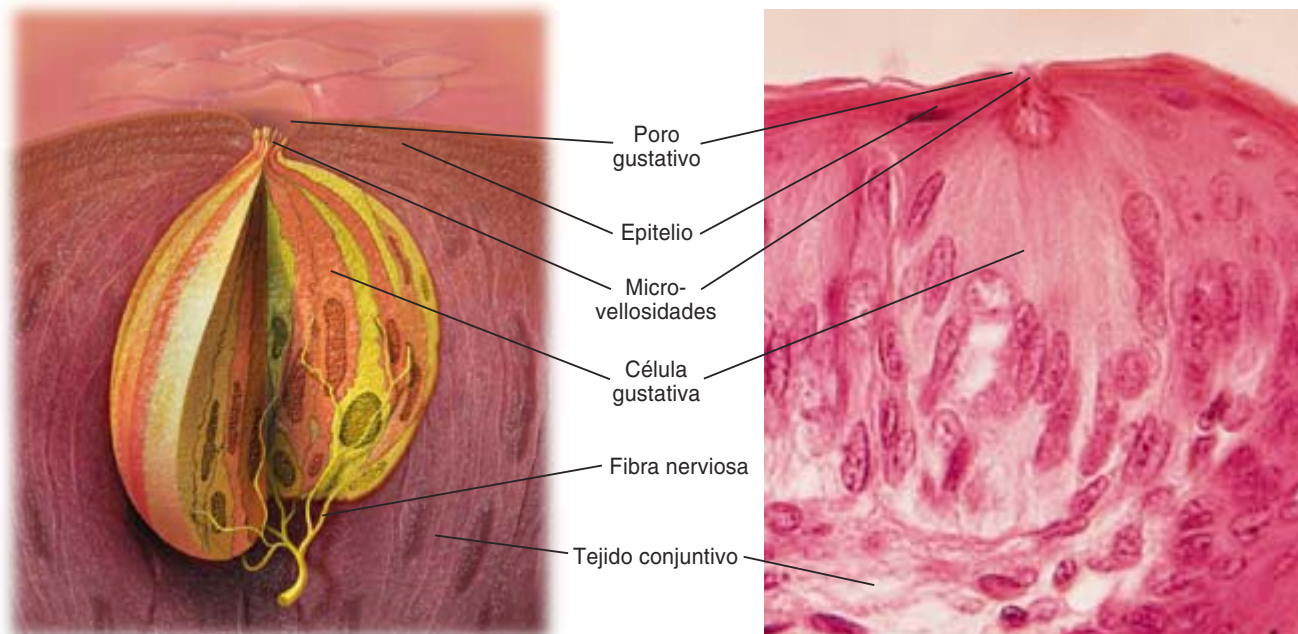
Los botones gustativos son estructuras en forma de bulbo con una apertura en su extremo superior, o poro gustativo. Entre cincuenta y cien por botón, las células gustativas presentan unas proyecciones digitiformes, las microvellosidades, que sobresalen del poro gustativo. Las sustancias químicas de la comida se disuelven en la saliva y entran en contacto con las células gustativas a través del poro gustativo. Allí interaccionan con receptores del gusto (proteínas de la superficie de las células) y con proteínas poriformes, los canales iónicos. Estas interacciones desencadenan cambios eléctricos en las células gustativas, que estimulan la emisión de señales químicas, actividad que se traduce en impulsos enviados al cerebro.

El origen de dichas señales yace en la concentración de átomos dotados de carga eléctrica, o iones. Al igual que las neuronas, las células gustativas presentan en reposo una carga neta negativa en su interior y una carga neta positiva en su exte-

rior. Las sustancias químicas de la comida modifican esta situación a través de distintos mecanismos que incrementan la concentración de iones positivos en las células gustativas. El resultado es la supresión de la diferencia de cargas entre el exterior y el interior celular. A esa despolarización se debe el que las células gustativas liberen al exterior neurotransmisores, moléculas que desencadenan en las neuronas en contacto con las células gustativas la transmisión de mensajes eléctricos.

Los estudios realizados en humanos y animales demuestran el carácter variable de la correlación entre las características químicas de las sustancias y la modalidad gustativa asociada, especialmente en el caso de los compuestos amargos o dulces. Muchos carbohidratos son dulces, pero no todos. Además, existe una multiplicidad de tipos de productos químicos que pueden provocar la misma sensación: el cloroformo y los edulcorantes artificiales como el aspartamo o la sacarina suelen considerarse dulces, a pesar de que su estructura química no tenga nada en común con la del azúcar. Por con-

Botón gustativo



la superficie de unas células gustativas especializadas, con ciertas moléculas de las microvellosidades, procesos digitiformes que se proyectan hacia el exterior. La interacción desencadena una serie de cambios electroquímicos en las células gus-

tativas que se traduce en la transmisión de unas señales; éstas terminan por alcanzar el cerebro. Tales impulsos, junto a la información recogida por el olfato y aún otras sensaciones táctiles, generan los sabores.

tra, los compuestos que provocan gustos salados o ácidos, menos variables, suelen ser iones.

Los productos químicos asociados a los gustos salado y ácido actúan directamente sobre los canales iónicos. En cambio, los responsables del sabor dulce y amargo se unen a ciertos receptores de la superficie celular que desencadenan una cascada de señales en el interior de las células, cuyo resultado final se manifiesta en la apertura y el cierre de los canales iónicos. En 1992, Susan K. McLaughlin y Peter J. McKinnon, colaboradores de Margolskee, identificaron con éste uno de los miembros clave de la cascada. Lo llamaron gustoducina, dada su similitud molecular con la transducina, una proteína de las células retinianas que ayuda a transformar o transducir la señal luminosa que alcanza la retina en un impulso eléctrico constitutivo de la visión.

La gustoducina y la transducina son proteínas G, que se encuentran unidas a la parte interna de distintos tipos de receptores de superficie. (Se le impuso el nombre de proteína G en razón del trifosfato de gua-

nosina, o GTP, que regula su actividad.) Cuando una molécula gustativa genuina se une a una célula gustativa receptora, con la especificidad de una llave en su cerradura, las subunidades de la gustoducina se separan y catalizan una serie de reacciones bioquímicas que desembocan en la apertura o cierre de canales iónicos. De esta manera, el interior de la célula presenta una carga más positiva.

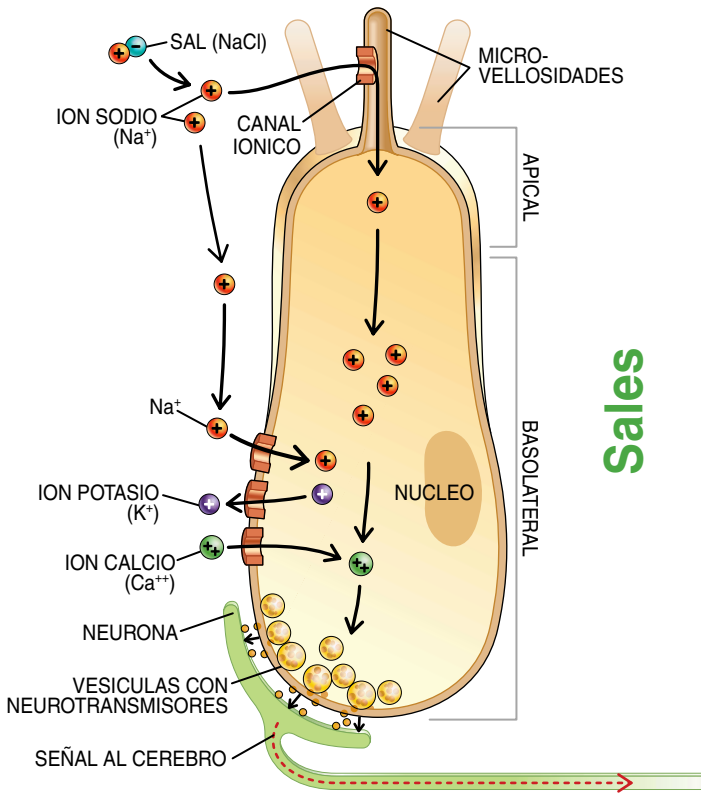
En 1996 Margolskee y dos más de su equipo, Gwendolyn T. Wong y Kimberley S. Gannon, utilizaron ratones modificados genéticamente por ellos mismos a los que faltaba una de las tres subunidades de la gustoducina. Pretendían demostrar el papel crucial de la proteína G en la identificación del gusto asociado a componentes amargos y dulces. A diferencia de los ratones normales, los ratones modificados no preferían los alimentos dulces, ni evitaban los amargos. No bebían con avidez el agua muy endulzada e ingerían soluciones con componentes muy amargos como si de agua corriente se tratara. Los investigadores observaron también, en los ratones que ca-

recían de la gustoducina, una menor actividad eléctrica en los nervios implicados en respuesta a sustancias dulces y amargas. La actividad ante la presencia de productos salados y ácidos se mantenía en la forma habitual.

Dos grupos, liderado uno conjuntamente por Charles S. Zuker, del Instituto Howard Hughes de Medicina en la Universidad de California en San Diego, y por Nicholas J. Ryba, del Instituto Nacional de Investigación Dental y Craneofacial, y el otro por Linda B. Buck, de la facultad de medicina de la Universidad de Harvard, identificaron el año pasado en ratones y humanos los verdaderos receptores vinculados al sabor amargo y que activan la gustoducina. Ambos equipos descubrieron que los receptores T2R/TRB pertenecían a la familia de unos receptores semejantes integrada quizá por entre 40 y 80 miembros.

El grupo de Zuker y Ryba insertó los genes que codifican dos de los receptores gustativos de estos ratones, el mT2R5 y el mT2R8, en células de cultivo y descubrió que las células modificadas se activaban en

Célula gustativa



Sales

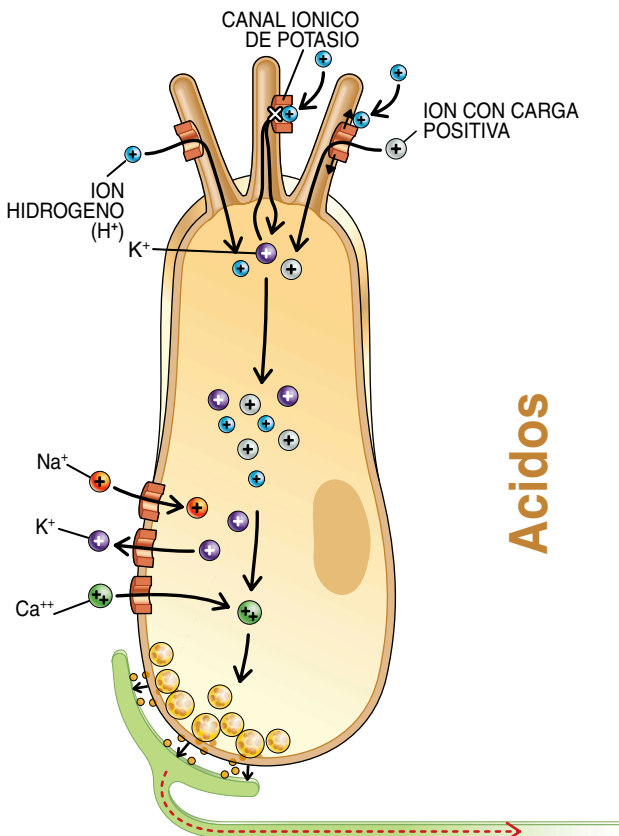
Los sabores básicos

Los estímulos interpretados por el cerebro como modalidades básicas del gusto (salado, ácido, dulce, amargo y, posiblemente, *umami*) desencadenan una serie de reacciones químicas en las células gustativas de los botones gustativos. Las cinco vías bioquímicas asociadas a cada modalidad se muestran por separado y en distintas células gustativas para mayor claridad de exposición. En realidad, las células gustativas no están programadas, diríase afinadas, para un único tipo de estímulo gustativo.

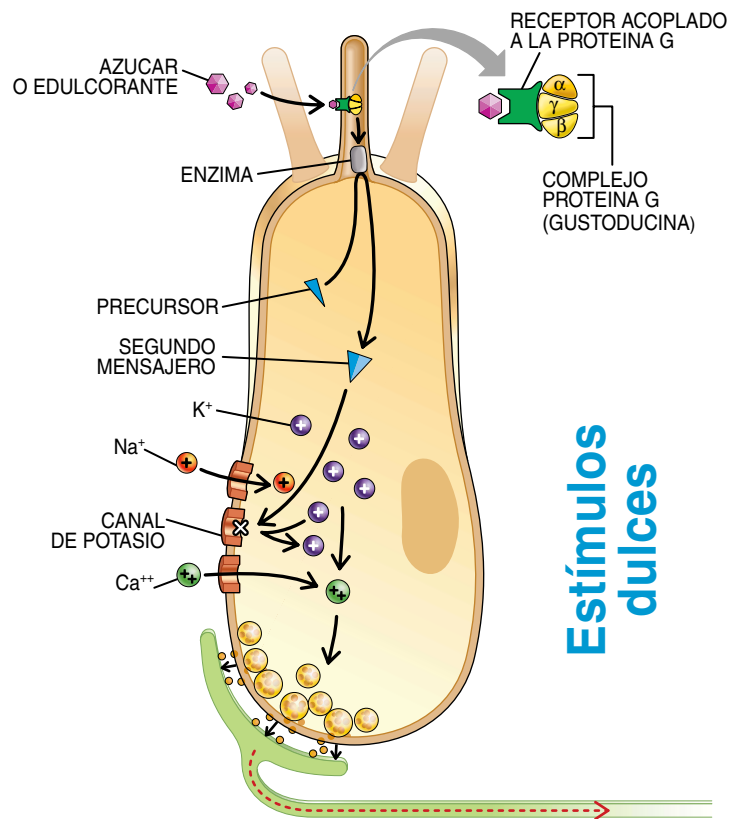
LAS SALES, como el cloruro sódico (NaCl), activan a las células gustativas cuando los iones de sodio (Na⁺) atraviesan los canales iónicos y penetran en las microvellosidades situadas en la superficie apical de la célula. Los iones de sodio pueden también entrar a través de los canales situados en la superficie basolateral de la célula. La acumulación de estos iones provoca un cambio electroquímico, una despolarización, que resulta en la entrada de iones de calcio (Ca²⁺) en la célula. El calcio, a su vez, incita a la célula a liberar neurotransmisores, mensajeros químicos almacenados en vesículas. Las neuronas reciben el mensaje y transmiten la señal al cerebro. Las células gustativas vuelven a su estado previo, se repolarizan, mediante una serie de reacciones; entre ellas, la apertura de canales iónicos de potasio para facilitar la salida de los iones de potasio (K⁺).

LOS ACIDOS ofrecen tal sabor porque generan iones de hidrógeno (H⁺) en disolución. Estos iones actúan de tres maneras en la célula gustativa: entran directamente en la célula gustativa, bloquean los canales de potasio (K⁺) de las microvellosidades y se unen a los canales de las microvellosidades produciendo su apertura para permitir la entrada de otros iones con carga positiva. La acumulación de cargas positivas despolariza la célula y desencadena la liberación de neurotransmisores.

LOS ESTIMULOS DULCES, como el azúcar o los edulcorantes sintéticos, no entran en las células gustativas, pero desencadenan cambios en el interior de las mismas. Se unen a unos receptores, situados en la superficie de la célula gustativa, que están conectados a proteínas G. Cuando esto sucede, las subunidades (α, β y γ) de la proteína G se escinden en dos subunidades funcionales α y βγ que activan una enzima próxima. Seguidamente, la enzima convierte a ciertas moléculas precursoras del interior de la célula en lo que se conoce como segundos mensajeros que, de forma indirecta, cierran los canales de potasio.



Acidos



Estímulos dulces

DAVID V. SMITH y ROBERT F. MARGOLSKEE estudian el sentido del gusto desde ángulos complementarios. Smith es profesor y subdirector del departamento de anatomía y neurobiología de la facultad de medicina de la Universidad de Maryland desde 1994 y miembro del programa de neurociencia. Margolskee, adscrito al Instituto Howard Hughes de Medicina, enseña fisiología y farmacología en la facultad de medicina de Mount Sinai.

presencia de dos compuestos amargos.

Los investigadores hallaron que, en determinadas cepas de ratones, una versión del gen *mT2R5* tendía a transmitirse conjuntamente con la capacidad de percibir el gusto amargo propio del antibiótico cicloheximida, un indicio más de que los genes de los receptores T2R eran responsables de la identificación de las sustancias amargas. Se buscan ahora los

receptores que reconocen sustancias dulces.

Se estudia, además, el posible receptor responsable de un gusto que los japoneses llaman *umami*, de difícil traducción, tal vez carnoso o sustancioso. En 1998 Nirupa Chaudhari y Stephen D. Roper, de la Universidad de Miami, aislaron en tejido de rata un receptor que se une al glutamato y postularon que era el responsable de la modalidad del gusto *umami*.

Otros investigadores observan con escepticismo que el *umami* sea el quinto sabor básico, tan significativo como el dulce, el salado, el ácido y el amargo. Pese a que el sabor del glutamato pueda ser una sensación única, sólo los japoneses tienen una palabra para designarlo.

Pero el sentido del gusto es mucho más complejo que unos simples receptores para los cuatro (o cinco) sabores básicos y las interacciones químicas que generan en las células gustativas. A pesar de nuestra tendencia a identificar la informa-

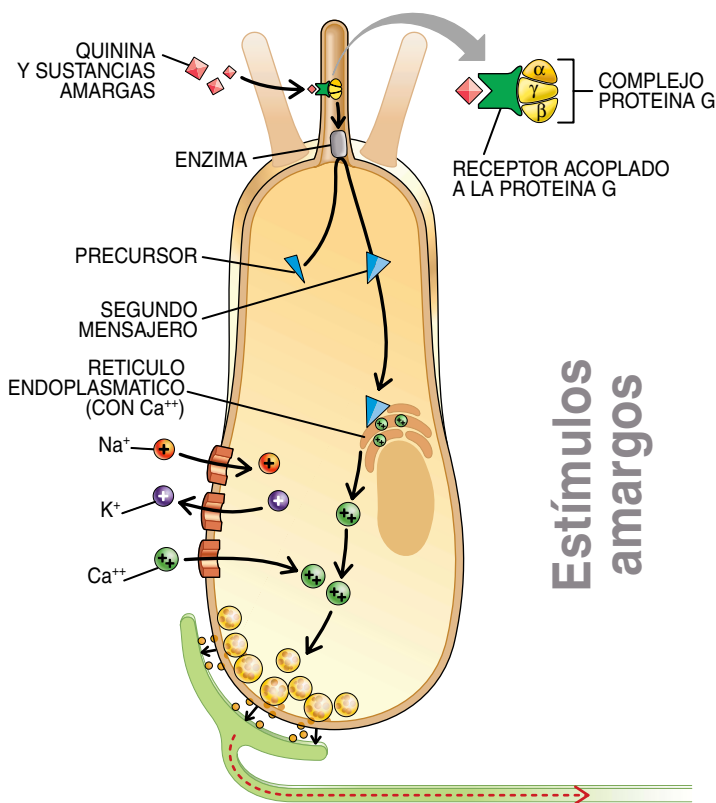
ción del gusto en términos de modalidades (salado, ácido, dulce y amargo), el sistema gustativo también interpreta otros atributos derivados de los estímulos químicos. Un sabor intenso puede ser placentero, desagradable o neutro. Las neuronas de la vía del gusto registran estos atributos de forma simultánea, a la manera en que el sistema visual representa la figura, el brillo, el color y el movimiento. Con harta frecuencia, las neuronas del gusto responden también a estímulos táctiles y térmicos.

Sentido del gusto y cerebro

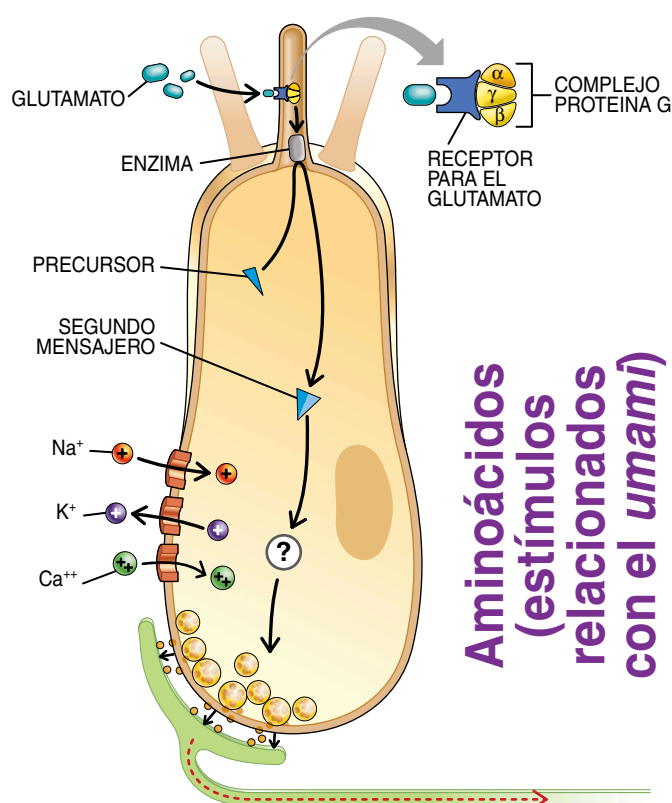
Durante mucho tiempo fue objeto de debate si las neuronas estaban programadas de suerte tal que cada una de ellas reaccionara frente a una única sustancia, como la sal o el azúcar —identificando así una sola variedad gustativa—, o si se requería la actividad de cada neurona para la percepción de más de una varie-

LOS ESTIMULOS AMARGOS, como la quinina, también actúan a través de los receptores de acoplamiento de la proteína G y de segundos mensajeros. En este caso, sin embargo, los mensajeros secundarios instan la liberación de iones de calcio del retículo endoplasmático. La acumulación de calcio resultante en la célula conduce a la despolarización y subsiguiente liberación de neurotransmisores.

LOS AMINOACIDOS, como el glutamato, responsable de la variedad gustativa conocida como *umami*, se unen a los receptores de acoplamiento de la proteína G y activan a los segundos mensajeros. No se conocen aún las reacciones en cuya virtud los segundos mensajeros conducen a la liberación de los paquetes de neurotransmisores.



Estímulos amargos



Aminoácidos (estímulos relacionados con el umami)

De gustos y conductas

La información sensorial de las células gustativas es clave para ayudarnos a detectar y a responder de forma adecuada a nuestras necesidades nutritivas. El sabor dulce de los azúcares, por ejemplo, potencia la ingesta de carbohidratos. Las señales gustativas provocan también respuestas fisiológicas, como la liberación de insulina, que facilita una utilización efectiva de los nutrientes ingeridos. Ante la falta de sodio, animales y humanos buscan en su ingesta las fuentes de sodio. De acuerdo con los resultados experimentales, las personas y los animales con deficiencias dietéticas tienden a ingerir alimentos con alto contenido en vitaminas y minerales.

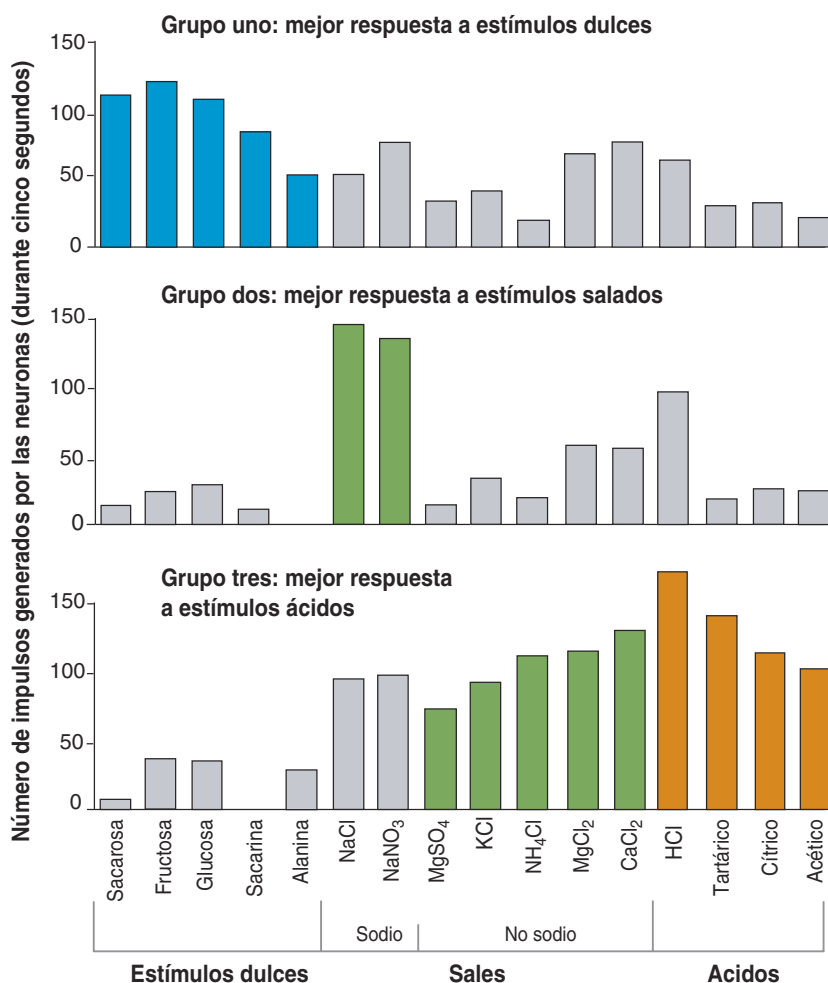
La evitación de sustancias dañinas reviste, cuando menos, idéntica importancia que la ingesta de alimentos apropiados. El carácter universal del rechazo que provocan las moléculas intensamente amargas demuestra la estrecha conexión entre gusto y repugnancia. Los compuestos tóxicos, como la estricnina y otros alcaloides comunes entre las plantas, muestran a menudo un fuerte sabor amargo. De hecho, muchas plantas han desarrollado dichos componentes para protegerse de los herbívoros. El sabor ácido propio de los alimentos estropeados contribuye a su rechazo. Todos los animales rechazan en general las sustancias de sabor ácido o amargo, salvo en concentraciones mínimas.

Las intensas reacciones de placer y repugnancia provocadas por las sustancias dulces y amargas ya están

presentes en el momento del nacimiento y parecen depender de conexiones nerviosas del tronco encefálico inferior. Tanto en neonatos anencefálicos, que carecen de prosencéfalo, como en animales a los que el prosencéfalo se ha desconectado de otras estructuras nerviosas mediante cirugía, se observan las respuestas faciales que se asocian con el placer y la repugnancia frente a estímulos dulces y amargos, respectivamente.

El sólido nexo entre gusto y placer es la base del fenómeno del aprendizaje a la aversión a ciertos sabores. Los animales, incluidos los humanos, aprenden rápidamente a evitar un alimento nuevo si causa, o se relaciona con molestias gastrointestinales. El aprendizaje de la aversión gustativa, sea natural o inducido de forma experimental, puede derivar de una asociación de sustancia y enfermedad, aun cuando medie un lapso de varias horas entre ambas. Uno de los efectos secundarios de los tratamientos con radiación y quimioterapia en los pacientes cancerosos es la pérdida del apetito. En gran medida, se debe a aversiones gustativas más condicionadas que favorecidas por las molestias gastrointestinales producidas por estos tratamientos. Por culpa de ese mecanismo ha resultado harto complicado desarrollar un veneno efectivo para el control de las ratas, especialmente diestras a la hora de asociar sabores nuevos y sus consecuencias fisiológicas.

Medida de las preferencias de las neuronas gustativas



dad gustativa. Son muchos los estudios, como los realizados por uno de los autores (Smith), que demuestran que las neuronas gustativas periféricas y las centrales responden de una manera característica ante más de un tipo de estímulo. Si bien cada neurona responde de un modo más intenso ante una sustancia determinada, en general suelen observarse respuestas ante estímulos relacionados con variedades gustativas distintas.

¿Cómo puede entonces interpretar el cerebro las distintas modalidades gustativas, si cada neurona responde a varios estímulos de sabores diferentes? Muchos investigadores están convencidos de que la diferenciación sólo es posible a partir de los diversos patrones de actividad de un nutrido conjunto de neuronas.

Este planteamiento conduce a los investigadores del sentido del gusto a recuperar una teoría antigua. Los primeros estudios electrofisiológicos de neuronas sensoriales gustativas

2. LOS EXPERIMENTOS sobre la actividad neuronal han demostrado que las neuronas gustativas se excitan en presencia de distintos tipos de estímulos gustativos —ya sean dulces, salados, ácidos o amargos—, a pesar de que las células suelen responder con mayor intensidad a un tipo. No se muestran los estímulos amargos.