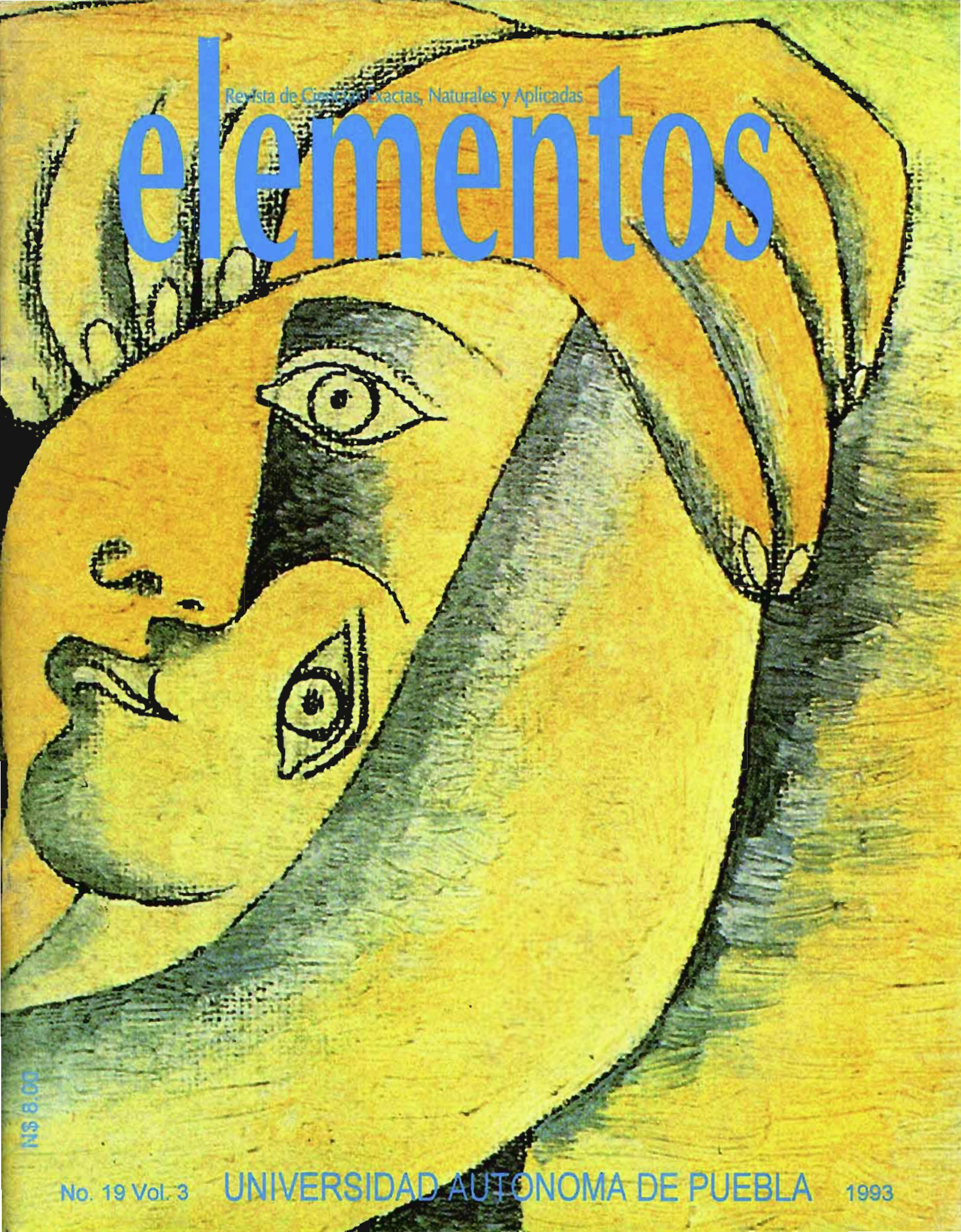


elementos

Revista de Ciencias Exactas, Naturales y Aplicadas

N$ 8.00

No. 19 Vol. 3 UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA 1993

S·U·M·A·R·I·O

ELEMENTOS
Revista de Ciencias Exactas, Naturales y Aplicadas

No. 19, Vol. 3, 1993

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Rector
Lic. José Dóger Corte

Secretario General
Lic. Víctor Espíndola Cabrera

Vicerrector de Investigación y Estudios de Postgrado
M. C. Enrique Dóger Guerrero

Director
Dr. Enrique Soto Eguibar

Consejo Editorial
Beatriz Eugenia Baca
Ma. de la Paz Elizalde González
Enrique González Vergara
Julio Mendoza Alvarez
Hugo Navarro Contreras
Francisco Pellicer Graham
Leticia Quintero Cortés
Jesús Reyes Corona †
Luis Rivera Terrazas †
Raúl Serrano Lizaola
Cristóbal Tabares Muñoz
Gerardo Torres del Castillo

Edición
José Emilio Salceda Ruanova
Gonzalo Fernández

Diseño
Enrique Soto Eguibar

Formación
José Emilio Salceda Ruanova

Portada
Pablo Picasso

Financiada parcialmente por SEP-DGICSA (Convenio 91-04-21-001-465).

Registro en trámite.

Impresa en México por LITOIMPRESORA PORTALES, S. A.de C. V. Tel. 672 85 40.

3
LAS METALOTIONEÍNAS: ¿CESTOS DE BASURA O PROTEÍNAS CLAVE EN EL METABOLISMO CELULAR?
Eduardo Brambila C
Enrique González V

10
LA FLECHA QUE VUELA INMÓVIL
ENTREVISTA CON ÓSCAR DEL BARCO
Diego Tatian

17
ENFERMEDAD DE PARKINSON Y TRANSPLANTE NEURAL
Aida J. Ortega Cambranis

21
J. B. S. HALDANE Y LA BIOLOGÍA CONTEMPORÁNEA
Pedro M. Pruna Goodgall

28
EL SENTIDO DEL OLFATO: UN ENFOQUE BIOPSICOSOCIAL
Amira del Rayo Flores Urbina

32
DE LA GRAN EXPLOSIÓN A LA FORMACIÓN DE LA TIERRA
Gustav Andreas Tammann

46
LOS BOTICARIOS EN NUEVA ESPAÑA (SIGLOS XVII Y XVIII)
EL CASO DE PUEBLA
Ana María D. Huerta Jaramillo

54
LA CIENCIA HOY

54
Usted
Su puesto

55
Probable origen neurofisiológico de la dislexia

56
El cerebro averiado

58
Acumulación de radicales libres en la esclerosis lateral amiotrófica

59
Educación química

60
El desciframiento de la escritura epi-olmeca de la estela de La Mojarra

61
El sueño de Babbage

Con el número 19 de *Elementos* se cierra un ciclo; hace ya un año que reiniciamos la publicación de esta revista. Durante este periodo hemos logrado sostenerla de manera regular y con calidad uniforme. Pero este ciclo es sólo uno entre los muchos otros que constituyen el ciclo de la vida y el gran ciclo de la historia y la cultura.

Es desde esta perspectiva que nos preguntamos por el valor real que tienen publicaciones como *Elementos* y si merece la pena tanto esfuerzo para editar la revista.

La experiencia en la dirección de la revista ha sido excepcional; hemos descubierto aspectos insospechados de nuestro medio académico y cultural, y hemos entablado nuevas y fructíferas amistades. Sin embargo, también hemos encontrado aspectos sumamente desfavorables de nuestra cultura científica, sobre todo, un terrible desprecio de nuestros científicos y académicos por escribir en su propio idioma y, más aún, para reflexionar críticamente sobre sus experiencias. Esto parece debido a deformaciones en la carrera académica en nuestro país, ya que se ha sobrevaluado la publicación en revistas especializadas en detrimento de otras actividades.

Confiamos en que si el esfuerzo que hemos desarrollado para la publicación de *Elementos* se sostiene y las condiciones son favorables, es posible contribuir al desarrollo de una cultura científica que dé valor a la reflexión crítica, a la divulgación científica y utilice también el idioma español como medio de comunicación, contribuyendo a crear una ciencia más independiente y original.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 3-9.

LAS METALOTIONEÍNAS: ¿CESTOS DE BASURA O PROTEÍNAS CLAVE EN EL METABOLISMO CELULAR?

Eduardo Brambila C Enrique González V

Escuela de Ciencias Químicas, Centro de Química del Instituto de Ciencias
Universidad Autónoma de Puebla

En los sistemas biológicos los metales se encuentran en numerosas enzimas y proteínas, así como en otros biopolímeros y moléculas con funciones de regulación o control metabólico.

La unión de los metales a las proteínas varía ampliamente y produce estructuras con especificidad química y biológica. En la actualidad se ha desarrollado mucho el estudio de proteínas y polipéptidos que contienen grupos de iones metálicos; llaman especialmente la atención los agrupamientos de estos elementos en las proteínas denominadas metalotioneínas.

Las metalotioneínas fueron descubiertas en el año de 1957 cuando Margoshes y Vallee las identificaron como proteínas fijadoras de cadmio en la corteza renal de los equinos. Al parecer la presencia de estas proteínas se relacionaba con la acumulación de cadmio en este tejido. Actualmente se reconoce a las metalotioneínas como los únicos compuestos biológicos que "naturalmente" pueden contener este metal.

Además del cadmio, otros bioelementos como el zinc y cobre son susceptibles de ser fijados por las metalotioneínas.

Es importante señalar que mientras el esfuerzo para entender la función del zinc en los mecanismos enzimáticos ha sido un tema bioquímico de gran importancia, desde los años sesenta, el estudio de las metalotioneínas no ha sido desarrollado al mismo nivel, de tal forma que su función precisa permanece desconocida.

Definición y ocurrencia

Las metalotioneínas han recibido esta designación con base en su alto contenido de metales y grupos sulfhidrilo provenientes de cadenas laterales de cisteína; estos últimos contribuyen con aproximadamente el 20% del peso total de la molécula. Las metaloproteínas se presentan en el reino animal, así como en plantas superiores, microorganismos eucarióticos y algunos procariotes. En los mamíferos, las metalotioneínas se encuentran en mayor proporción en hígado, riñón, páncreas e intestinos. Su concentración en los seres vivos varía ampliamente, dependiendo del organismo, tejido, edad, estado de desarrollo, régimen dietético, historia de exposición al metal, así como otros factores aún no completamente identificados.

Las metalotioneínas aisladas y caracterizadas a partir de tejido hepático humano obtenido de autopsias, contienen casi exclusivamente zinc, mientras que las metalotioneínas aisladas de riñón contienen niveles sustanciales de cadmio y cobre. Estas diferencias probablemente reflejan la exposición natural a metales pesados, así como la expresión de diferentes formas moleculares denominadas isoformas o isometalotioneínas. No obstante que las metalotioneínas se localizan básicamente en

el citoplasma, se ha reportado también su presencia en los lisosomas y en el núcleo celular.

Clasificación y polimorfismo

Debido a la falta de una función enzimática conocida, las metalotioneínas se han clasificado en tres clases de acuerdo a sus características estructurales.

La clase I incluye a las metalotioneínas de mamífero y aquellos polipéptidos con las siguientes características:

- Alto contenido de metales pesados (4-12 átomos/mol), unidos exclusivamente a las proteínas por enlaces tiol y formando agrupamientos.
- Alto contenido de cisteínas (típicamente 23-33%) y ausencia de residuos aromáticos e hidrofóbicos.
- Bajo peso molecular (típicamente menor a 10 000 daltones).
- Homología estructural o funcional relacionada con las metalotioneínas de mamíferos.

La clase II comprende a las metalotioneínas que sólo tienen correspondencia muy distante con la estructura primaria de las formas de mamíferos; ejemplos de esta clase incluyen a las metalotioneínas aisladas de erizo de mar, maíz, levadura y ciertos procariotes.

Todas las metalotioneínas de las clases I y II se caracterizan por ser proteínas de cadena sencilla.

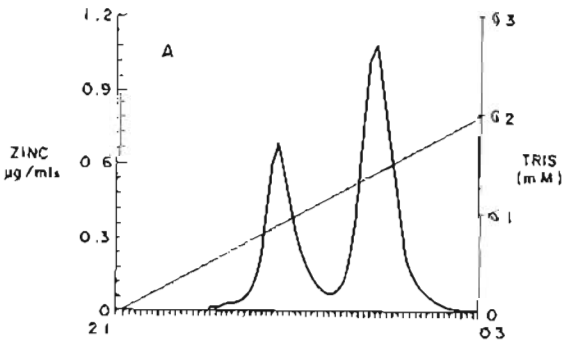
La clase III incluye polipéptidos conteniendo unidades repetidas glutamilcisteinil. Son estructuras oligoméricas formadas por dos o más cadenas polipeptídicas de longitud variable.

Las metalotioneínas de la clase I presentan un polimorfismo genético extremo; los tejidos de mamífero usualmente contienen dos subgrupos denominados metalotioneína I (Mt I) y metalotioneína II (Mt II), basados en sus propiedades cromatográficas de intercambio iónico (véase figura 1). A pH neutro, estas dos fracciones difieren en una sola carga negativa. En ungulados y primates las Mt I y Mt II pueden ser a su vez separadas en varias isoformas mediante cromatografía líquida de alta presión. Las isoformas han sido designadas con letras minúsculas, por ejemplo Mt Ia, Mt Ib, etcétera. El polimorfismo más complejo se encuentra en el humano, en donde se expresan tantos como 10 genes de isometalotioneínas, algunos de ellos característicos de cada tejido en particular. Se ha descrito que las diferentes isoformas exhiben diferencias en sus afinidades de unión aun por el mismo metal.

En general, las metalotioneínas de mamíferos (clase I) son péptidos de 61 a 62 aminoácidos que contienen 20 cisteínas, 6 a 8 lisinas, 7 a 10 serinas y una metionina acetilada en la porción amino terminal. No contienen histidinas ni aminoácidos aromáticos; las metalotioneínas de pollo y erizo de mar contienen 63 y 64 aminoácidos respectivamente. Las metalotioneínas aisladas de invertebrados y algunos hongos presentan cadenas polipeptídicas más cortas que las descritas en mamíferos. Las metalotioneínas obtenidas de un hongo, *Neurospora crassa* contienen 25 aminoácidos.

La característica más sobresaliente de todas las metalotioneínas aisladas es la abundancia del aminoácido cisteína, el cual constituye hasta una tercera parte de la molécula. En las metalotioneínas de la clase I es particularmente

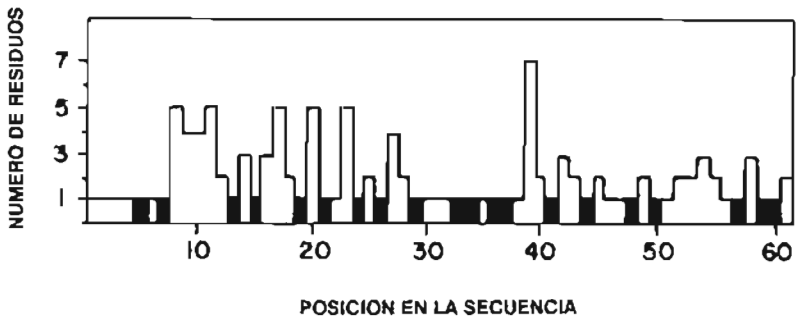
FIGURA 1



Separación de las isoformas de las metalotioneínas I y II de origen hepático mediante cromatografía de intercambio iónico.

notoria la correspondencia en el alineamiento de las cisteínas a lo largo de la cadena polipeptídica; en las proteínas aisladas de mamíferos las 20 cisteínas son invariantes (véase figura 2), además de la conservación en los aminoácidos lisina y arginina, los cuales se yuxtaponen a las cisteínas. Se ha sugerido que estos aminoácidos pueden jugar una función auxiliar en la formación de los complejos metal-apometalotioneína.

FIGURA 2



Variabilidad en la secuencia de aminoácidos. Se muestra el número de aminoácidos diferentes en las secuencias de 30 metalotioneínas aisladas de mamíferos. La posición de las cisteínas conservadas se indica mediante las barras oscuras.

Sitios de unión a metales

En las metalotioneínas los metales están distribuidos en dos distintos agrupamientos polinucleares (véase figura 3). El agrupamiento "A" contiene 11 cisteínas capaces de ligar a 4 átomos de zinc y/o cadmio o de 5 a 6 átomos de cobre. Este agrupamiento está contenido dentro del dominio α carboxilo terminal de la molécula y comprende a los aminoácidos del 31 al 61. El agrupamiento "B" tiene 9 cisteínas, une a 3 átomos de zinc y/o cadmio, o 6 átomos de cobre. Los átomos metálicos están contenidos en el agrupamiento ß amino terminal, extendiéndose desde los aminoácidos 1 al 30.

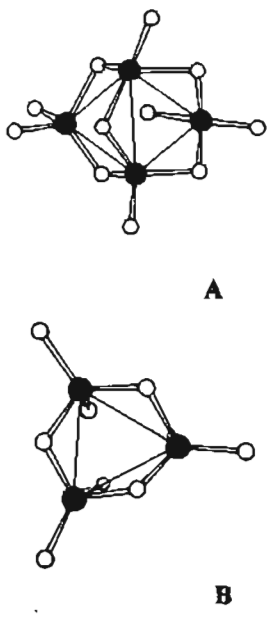
Todos los iones metálicos de las metalotioneínas se coordinan de manera tetrahédrica a cuatro ligantes tiol de las cadenas laterales de cisteínas. En el agrupamiento "A", dos de los átomos metálicos se unen a las cisteínas mediante 3 puentes y un sulfuro terminal y los otros dos por 2 puentes y 2 sulfuros terminales. En el agrupamiento "B", los iones metálicos se unen por 2 puentes y 2 sulfuros terminales.

La estructura de las metalotioneínas-cobre no ha sido resuelta, sin embargo es probable que sea bastante diferente a la producida por el zinc o cadmio. El cobre se une preferencialmente en el estado de oxidación +1 más que en el estado de oxidación +2 y la unión estequiométrica es de 11 a 12 átomos/mol comparado con los 7 átomos de cadmio o zinc. Lo anterior sugiere que en la estructura del complejo metalotioneína-cobre, este metal forma esferas de coordinación bipiramidales más que tetraédricas, lo cual puede alterar la estructura terciaria de la proteína.

Inducción de la síntesis de metalotioneínas

Una de las características biológicas más sobresalientes de las metalotioneínas aisladas de mamíferos es la inducibilidad de su biosíntesis. La inoculación a animales con sales de cadmio, zinc o cobre causa una acumulación de metalotioneínas en hígado y/o riñón. La inducción de metalotioneínas por metales pesados fue descubierta por Piscator en el año de 1964; este investigador encontró niveles elevados de metalotioneínas en el hígado de conejos expuestos a cadmio. La concentración óptima del metal para iniciar el proceso de inducción varía en los diferentes sistemas biológicos, pero ge-

FIGURA 3



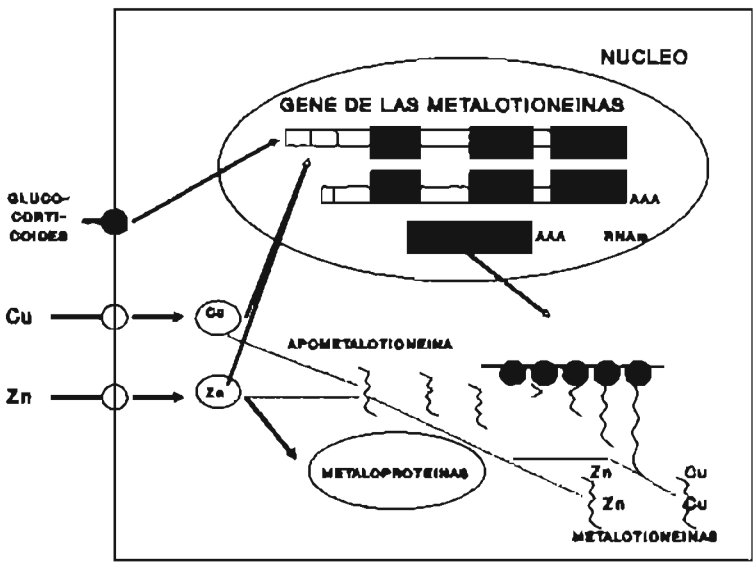
Agrupamientos metálicos en las metalotioneínas de la clase I. Círculos oscuros: átomos metálicos. Círculos claros: cisteínas.

neralmente se presenta justo abajo del nivel que causa la toxicidad celular. Durnam y Palmiter han mostrado que el proceso de inducción es debido a una activación transcripcional (véase nota 1) de los genes de las metalotioneínas por iones metálicos pesados.

En el genoma de los mamíferos (véase figura 4) existen regiones de control a las cuales se unen factores de transcripción que intervienen en la expresión genética de las proteínas que regulan el metabolismo de metales pesados. La unión de estos factores al genoma señala el sitio y momento en que las RNA polimerasas deben iniciar el proceso de transcripción para las metalotioneínas.

Además de los metales pesados, una variedad de factores fisiológicos y experimentales inducen la síntesis de las metalotioneínas (véase tabla 1). El denominador común de estos factores es el incremento de hormonas glucocorticoides (véase figura 4). Empleando células HeLa crecidas en un medio libre de suero, el grupo del Dr. Hershman demostró que los glucocorticoides inducen la biosíntesis de las metalotioneínas por mecanismos independientes a la inducción debida a los metales pesados. El proceso de inducción ocurre a nivel de la iniciación de la transcripción. El modelo de acción parece iniciarse con la unión de la hormona a su receptor, el cual a su vez estimula la transcripción de las metalotioneínas por interacción directa con las secuencias de control contenidas en el DNA nuclear.

FIGURA 4



Secuencias de control transcripcionales en los genes de la metalotioneína IIa humana. Los primeros dos rectángulos representan las secuencias de control para metales y glucocorticoides.

En general, el proceso de inducción parece involucrar los siguientes pasos:

1. La célula blanco es expuesta a metales o glucocorticoides.
2. Síntesis de RNAm de la apometalotioneína que llega a un estado estacionario a las 4 horas.
3. La síntesis de las metalotioneínas es estimulada, detectándose incrementos entre las 2 y 4 horas.
4. Los niveles máximos de metalotioneínas se acumulan entre las 18 y 24 horas.
5. Si se eliminan los inductores, los niveles de metalotioneína disminuyen con una vida media de 12 a 22 horas (mayor si el inductor es el cadmio).
6. Los niveles basales de metalotioneínas regresan a niveles basales en 48 a 72 horas.

La habilidad para inducir la síntesis de metalotioneínas es mucho mayor para metales (incrementos de 20 a 50 veces) que para glucocorticoides (incrementos de 2 a 4 veces).

Funciones de las metalotioneínas

Aún después de tres décadas del descubrimiento de las metalotioneínas, el significado funcional de estas proteínas permanece como un tópico de discusión. Inicialmente se propuso que, dadas las características biológicas de su inducibilidad por metales pesados, estas proteínas podían constituir un sistema "especial" de detoxificación de los organismos; sin embargo, parece improbable que ésta sea su única fun-

TABLA 1
Factores que inducen la síntesis de metalotioneínas

Fisiológicos	Experimentales
Desarrollo	Cadmio
Zinc de la dieta	Tetracloruro de carbono
Infección	Cobre
Inanición	Diabetes
Estrés	Glucocorticoides
	Zinc

ción, ya que:

• Los iones metálicos no están presentes a niveles elevados en la mayoría de los biotipos, por lo que éstos probablemente no ejercen una presión de selección significativa para explicar la existencia de un sistema especial de detoxificación.

• Si la función de las metalotioneínas fuera puramente protectora, uno esperaría encontrar a estas proteínas sólo después de la exposición a metales tóxicos. En cambio se encuentra que tienen un nivel basal de expresión bastante alto.

Aunado a lo anterior y debido a que el nivel de zinc y metalotioneínas está altamente influido por la dieta, además del hecho de que las metalotioneínas son inducidas en su síntesis por el zinc de la dieta, se ha pensado que estas proteínas juegan un papel de suma importancia en aquellos procesos celulares relacionados con la presencia de iones metálicos.

Los iones metálicos observados "naturalmente" en las metalotioneínas tienen diferentes funciones biológicas. El cadmio es altamente tóxico y no esencial. El cobre, aunque bastante tóxico, es requerido por los sistemas biológicos como cofactor para la actividad de varias enzimas. El zinc es relativamente no tóxico y esencial para un gran número de enzimas relacionadas con múltiples procesos bioquímicos de las células.

Las metalotioneínas se unen a cada uno de los iones con afinidades diferentes: la constante de estabilidad del complejo metalotioneína-cobre es aproximadamente cien veces mayor que la del complejo formado con el cadmio y esta proteína; a su vez, la constante de estabilidad de la metalotioneína con el cadmio es mil veces mayor que la del complejo formado con el zinc. Con base en lo anterior, se ha postulado que las metalotioneínas juegan al menos tres funciones distintas, cada una de éstas relacionada con el metal que contienen.

Cadmio

El cadmio es un componente natural de los minerales de la tierra, por lo que es inevitable que sea absorbido por los organismos vivos. Se ha postulado que la función principal de las metalotioneínas en relación al cadmio, es la de proteger a las células contra la toxicidad de este metal. La alta afinidad de las metalotioneínas por el cadmio y su larga vida media las hacen adecuadas para esta función de detoxificación.

Además del cadmio, las metalotioneínas se han implicado en el secuestro de metales no esenciales como Hg, Pb, Bi, Ag, Au y Pt. La inducción o captación de los metales por las metalotioneínas se ha relacionado, al igual que para cadmio, con la protección de los tejidos de animales preinoculados con estos metales.

Cobre

En los sistemas biológicos el cobre es más abundante que el cadmio, además de que el primero tiene funciones esenciales en los organismos al actuar como cofactor de algunas enzimas involucradas en reacciones de óxidorreducción. El cobre en su forma iónica es un elemento tóxico potente. Se ha propuesto que la función de las metalotioneínas en relación al cobre, es la de mantener concentraciones intracelulares bajas del metal en su forma iónica y al mismo tiempo permitir la activación de enzi-

mas-cobre. Sin embargo, parece ser que las metalotioneínas sólo juegan una función menor en el metabolismo del cobre ya que, bajo condiciones normales, la unión del cobre a las metalotioneínas es demasiado fuerte para permitir una fácil transferencia del metal a las enzimas. Probablemente otros ligantes o proteínas aún sin identificar, son los responsables de la acumulación y el transporte del cobre. Bajo condiciones de alta exposición a cobre, las metalotioneínas inducidas pueden también funcionar como un sistema efectivo de detoxificación.

Zinc

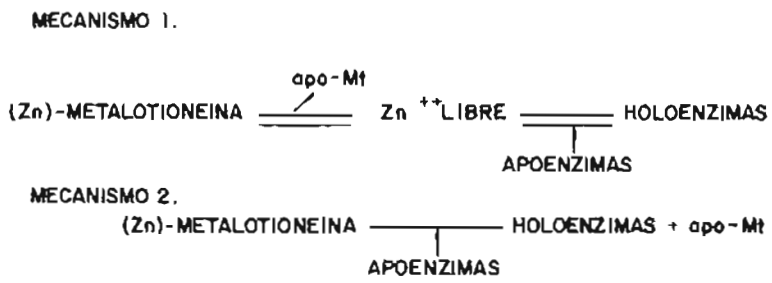
El zinc es un elemento ampliamente distribuido en los sistemas biológicos; es considerablemente menos reactivo y tóxico que el cobre y el cadmio. Las enzimas dependientes de zinc catalizan un rango mucho más amplio de reacciones que las enzimas dependientes de cobre. Algunas se encuentran involucradas en los procesos de transferencia de la información genética. Se ha pensado que las metalotioneínas pueden modular de alguna manera estos procesos. Al parecer las metalotioneínas sintetizadas por el hígado funcionarían como una fuente lábil de zinc, el cual puede ser subsecuentemente utilizado por otros órganos para la activación de enzimas esenciales en el metabolismo. Las metalotioneínas pueden actuar de manera directa con apoenzimas inactivas o indirecta por regulación del zinc disponible en el interior celular. Las bajas constantes de estabilidad del complejo metalotioneína-zinc hacen a las metalotioneínas adecuadas para este propósito.

Lo anterior se ha demostrado en parte por el hecho de que las metalotioneínas-zinc pueden transferir al metal a diferentes apoenzimas *in vitro* bajo condiciones de pH y fuerza iónica similares al medio celular. Las apoenzimas aldolasa y termolisina de levadura, así como la fosfatasa alcalina de *Escherichia coli* y anhidrasa carbónica de eritrocitos de bovino, son reactivadas por la metalotioneína-zinc de hígado de rata, siendo esta reactivación tan buena o mejor que la obtenida usando sales de zinc. Los mecanismos posibles de transferencia de zinc desde las moléculas de las metalotioneínas a las apoenzimas se esquematiza en la figura 5.

En vista de los conocidos efectos del zinc sobre la embriogénesis, de su participación como cofactor en un número de DNA y RNA polimerasas, y su papel como modulador estructural en los llamados dedos de zinc (véase nota 2 y figura 6), se tiene la hipótesis de que las metalotioneínas-zinc tienen funciones importantes en el control de la información genética.

Las metalotioneínas pueden constituir, entonces, un sistema regulador homeostático para el ion zinc. Diferentes isoformas (con diferentes afinidades por el metal) pueden transportar al zinc a los compartimientos intracelulares o interactuar con diversas clases de enzimas o proteínas. Las hormonas pueden controlar la expresión de los genes de las metalotioneínas y así modular estados metabólicos celulares cambiando la distribución y disponibilidad del zinc.

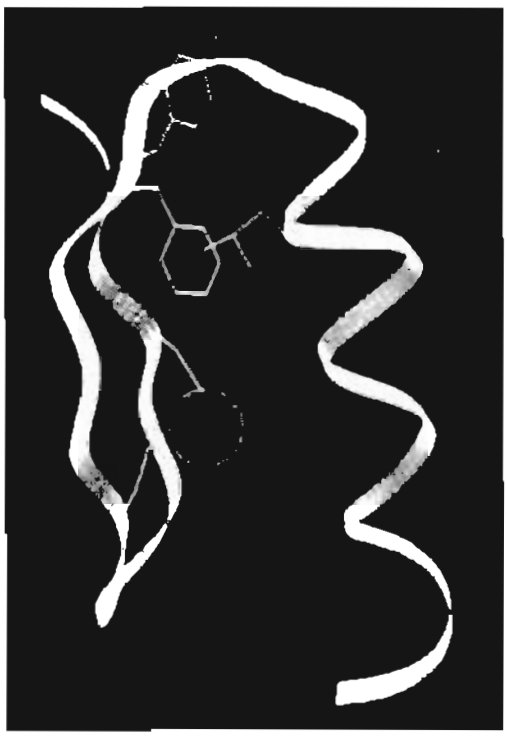
FIGURA 5



Mecanismos probables de transferencia de zinc desde las metalotioneínas-zinc a apoenzimas dependientes de zinc.

El conocimiento actual de las metalotioneínas se debe principalmente a la confluencia de conocimientos provenientes de tres áreas. Los fisiólogos y toxicólogos se han interesado por su función en el metabolismo, así como por su papel detoxificante. Los químicos de proteínas y espectroscopistas por sus características estructurales y, más recientemente, los biólogos moleculares se han interesado en su regulación genética y el uso de las secuencias de los promotores de las metalotioneínas para experimentos de ingeniería genética. No obstante el gran interés que han despertado recientemente las metalotioneínas, aún hace falta conocer una gran cantidad de aspectos bioquímicos relacionados con estas proteínas. Seguramente en un futuro cercano, los avances en su estudio podrán enriquecer los conocimientos actuales de regulación genética y metabólica en los seres vivos.

FIGURA 6



Modelo propuesto para la estructura de un dedo de zinc. La cinta representa el esqueleto carbono nitrogenado de la cadena de aminoácidos. La unión del zinc (representado por la esfera) con cisteínas (a la izquierda) e histidinas (a la derecha) ocurre cerca de la base del dedo (tomado de Rhodes, D. y Klug, A., "Zinc fingers", *Scientific American*, Vol. 268, No. 2, 1993, pp. 56-65).

Notas

[1] Proceso por el cual la enzima RNA polimerasa convierte secuencias de DNA a secuencias de RNA, las que posteriormente van a ser leídas para sintetizar proteínas.

[2] Factores de transcripción formados por secuencias de aminoácidos que en el espacio constituyen estructuras en forma de "asa" alrededor de un átomo central de zinc. El metal actúa favoreciendo el plegamiento de la proteína, lo que le permite interactuar con el DNA.

Lecturas Recomendadas

Cousins, R. J., "Absorption, Transport, and Hepatic Metabolism of Copper and Zinc: Special Reference to Metallothionein and Ceruloplasmin", *Physiological Reviews*, Vol. 65, 1985, pp. 369-372.

Hamer, D. H., "Metallothionein", *Annual Review of Biochemistry*, Vol. 55, 1985, pp. 913-951.

Kagi, J. H., and Shaffer, A., "Biochemistry of Metallothionein", *Perspectives in Biochemistry*, Vol. 1, 1991, pp. 46-52.

Karin, M., "Metallothioneins: Proteins in Search of Function", *Cell*, Vol. 41, 1985, pp. 9-10.

Klaasen, C. D., and Lehman-McKeeman, L. D., "Regulation of the Isoforms of Metallothionein", *Biological Trace Element Research*, Vol. 21, 1989, pp. 119-129.

Onosaka, S., and Tanaka, K., *Metallothionein in Biology and Medicine*. Editores: Klaasen, C. D., Suzuky, K. T. CRC Press, Inc., 1991.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 10-15.

LA FLECHA QUE VUELA INMÓVIL
ENTREVISTA CON ÓSCAR DEL BARCO

Diego Tatian

Consejo de Investigación Científica y Tecnológica de Córdoba, Argentina

Óscar del Barco fue uno de los referentes principales, junto a José Aricó, de la experiencia cultural y política que significó "Pasado y Presente" en la agitada Córdoba de los sesenta.

Actualmente es profesor de Teoría Política en la Universidad Nacional de Córdoba. Además de trabajos de investigación social, ha realizado diversos estudios sobre aspectos de crítica literaria.

• • •

Me gustaría conversar con usted sobre los problemas que se le plantean a los socialistas con la disolución de la Unión Soviética y el derrumbe del llamado "socialismo real".

Me parece que ante todo es necesario desbrozar un poco los términos del problema que planteas. Los países que se autodenominaron socialistas, en ningún momento fueron países socialistas (aunque muchos, entre los que me incluyo, en algún momento lo creímos así). Fueron países duramente totalitarios que apostaron todo a una guerra por el dominio del mundo, la que inevitablemente iba a ser una guerra total, definitiva, cuyo resultado era imprevisible en lo que se refiere a la posibilidad de sobrevivencia del género humano en cuanto tal; los medios ofensivos a utilizar, fundamentalmente atómicos, químicos y bacteriológicos, no permitían forjarse muchas esperanzas respecto a sus resultados. Ahora, una vez desaparecida la amenaza de semejante guerra, esos países debieron y deben enfrentar las consecuencias de su "atraso" en relación con los países capitalistas desarrollados. Un gran atraso económico, técnico, social, cultural, etcétera.

El esfuerzo gigantesco por mantener una maquinaria de guerra que finalmente les resultó inútil, puso al descubierto la realidad oscura y siniestra del sistema soviético: el sometimiento por la violencia y la miseria de una sociedad castigada por dos guerras mundiales y por persecuciones masivas que le habían costado alrededor de cincuenta millones de muertos, llegó a su extremo límite y se derrumbó. Pero ahora el problema se revierte sobre el occidente capitalista. La disolución de la Unión Soviética ha caído como una bomba sobre la economía y la política mundial. Lo que está pasando en Yugoslavia y Georgia puede ser el comienzo de una reacción en cadena.

Si uno trata de hacer una lectura de lo que pasa desde cierta matriz teórica, aquella que con la palabra "socialismo" nombraba un inminente mundo nuevo, nada tiene que ver entonces con lo que ha pasado. Pero en realidad ¿hay "algo más" de lo que los países del Este pusieron en juego? ¿O eso es todo?

Todo depende de lo que uno entienda por socialismo. Si, por ejemplo, uno entiende que el socialismo implica la posibilidad real de participar en la dirección y en la administración de la

sociedad en sus distintos niveles, si implica la desaparición tanto de los explotadores como de los explotados, así como de los dirigentes y los dirigidos; si por socialismo se entiende la puesta en juego actual de lo que Marx llamó el "reino de la libertad", entonces esos países mal llamados de "socialismo real" no sólo no fueron socialistas sino que fueron su antítesis, una pieza más dentro del sistema mundial capitalista.

¿En qué medida un socialismo que tome distancia de lo ocurrido en el Este no es una utopía, algo irrealizable?

Tal vez sea así. No obstante me parece que lo esencial es el reconocimiento del ser humano como un absoluto, un absoluto concreto, aquí y ahora, en cada uno y en todos. Y esto plantea la necesidad de ir más allá del hombre. Pero entendámonos, del hombre en cuanto investido como sustancia, como un ego o sujeto esencialmente distinto al mundo, a la naturaleza y a los otros seres humanos, y que por lo tanto puede considerarse como fuente autónoma de todo sentido, y más aún, de toda realidad. Para mí éste es el punto decisivo, el punto a partir del que se decide todo.

Una ética del ocaso

Esta asunción de cada uno como absoluto no parece menos irrealizable que construir un mundo nuevo. Tal vez no sean cosas distintas y se trate sólo de eso, pero entonces caemos nuevamente en el problema de lo imposible.

Sí y no. Por una parte no hay nada más natural que el estado de absoluto, porque ya no somos eso y no existe ninguna posibilidad de no serlo. Pero simultáneamente no hay nada más difícil que la actualización de su vivencialidad. Y esta dificultad deriva, en gran parte, de nuestra "civilización" que, como es notorio, se funda en la hipertrofia obsesiva del ego, del tener, del poseer; de la creciente alienación en los objetos, de la competencia y la envidia, de la propiedad y el consumo... y de toda la violencia que de ello deriva.

De un mundo "técnico..."

Sí, pero entiendo técnico como mal. Ante todo como escisión entre el hombre, como un ego, y el mundo o la naturaleza como algo externo, ajeno y pasivo, algo que el hombre puede "dominar", "conquistar" y destruir. Esta escisión es lo que Heidegger llamó la esencia de la técnica, y refiriéndose a ella, a su emergencia histórica expresada conceptualmente por Des-

Martin Heidegger (1889-1976).

Friederich Nietzsche (1844-1900).

cartes, es que dijo que "lo peor ya ha pasado". Subrepticiamente la técnica se ha vuelto sujeto (y esto lo mostró muy claramente Marx, quien en este sentido sigue siendo el negativo de Heidegger): es la que domina el todo del hombre mediante una creciente complejización que actúa por sobre lo humano, o, dicho con otras palabras, que convierte a lo humano en una de sus formas. Desde este punto de vista creo que en Heidegger hay una visión limitada de la técnica, pues si bien por una parte, y a pesar del terror que produce la técnica, hay en él una cierta obnubilación, fundada posiblemente en que considera a la técnica, en cuanto culminación de la metafísica, como una época del ser, y que en tanto es así, en ella, precisamente en ese "peligro", puede creer lo que salva, según el verso de Hölderlin que a él lo obsesionó.

Siempre me pareció algo enigmática esa interpretación (que por lo demás Heidegger deja deliberadamente abierta) del verso de Hölderlin con relación a la técnica. ¿Qué podríamos esperar? ¿Qué sería "lo que salva"?

Creo, y doy un paso atrás respecto a tu pregunta, que la técnica ha conducido al mundo a un punto extremo donde lo que está en juego es la sobrevivencia de la especie humana. Y no es casual que este hecho haya llevado a un pensador como Hans Jonas a plantear el problema ético que se deriva del fin de los tiempos y que exige la conciencia y la realización de un acto, en cada uno de nosotros, de salvación. Creo que nadie expresó mejor esta situación que Messiaen en su *Cantata para el fin de los tiempos*, compuesta de memoria en un campo de concentración nazi y cuya extrema belleza no es solamente un bálsamo sino una advertencia. Estamos, y no quiero ser apocalíptico, frente a un punto de no retorno, y de allí, en ese punto, en este punto (estaba por decir en este infierno) es necesario pensar, pensar en un sentido sacro, o podría decir poetizar, o rezar, para señalar que no se trata de un pensamiento "científico" sino de un pensamiento que necesariamente debe producir lo que Nietzsche llamó una "transmutación de todos los valores".

¿Dice "científico" con un énfasis peyorativo?

Digo que la ciencia, al margen obviamente de la voluntad de algunos científicos, está íntima y esencialmente enlazada con la técnica, y que por lo tanto es responsable del estado de enajenación y de terror en que vivimos. Y no me refiero sólo a la desintegración atómica, ni a la posibilidad demoniaca de alterar la especie humana, sino también a la concreta fabricación de virus, al envenenamiento de las aguas, del aire, de la tierra y los frutos, a la extinción de especies y comunidades, a idiocia de la televisión, de la computación, en cuanto generadoras de una "cultura" blanca, lisa, homogénea, donde todo

es y da lo mismo... La responsabilidad de la ciencia, y quien con más fuerza dijo esto fue Einstein, es indiscutible y produce espanto.

Volverse vidente

Estos elementos han conducido a una especie de "muerte térmica" de la política, clásicamente entendida. Quiero decir, se han horadado, respecto de veinte años atrás, casi todas las formas de la iniciativa. ¿Es hoy posible hacer algo?

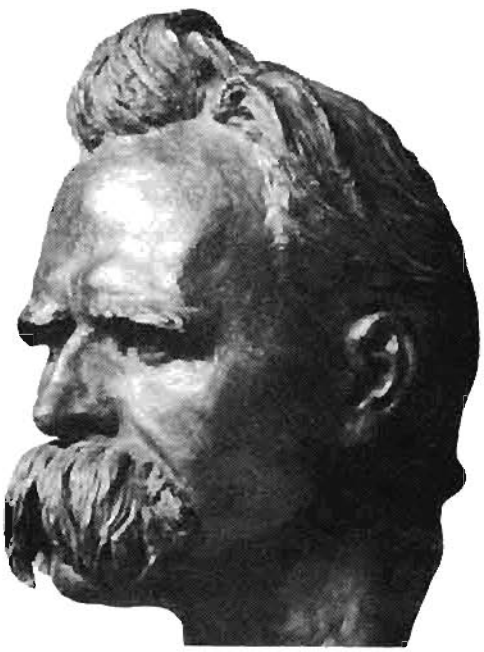
Creo que sí, pero no puedo decir qué. En estos asuntos, mis maestros fueron tres cordobeses: Jorge Bonino, cuya "locura" fue y sigue siendo para mí una bendición; Pancho Aricó, quien me enseñó tantas cosas que no podría decirlas, pero tal vez la más importante haya sido la confianza en cierto espíritu de redención en los hombres; Rodolfo Ortiz, el pintor que me enseñó como bienes cardinales la pobreza, la humildad, y que para lograrlas hay que terminar de una buena vez con el ego y ponerse a pintar, o a vivir, sin porqué y sin para qué; como decía el poeta Angelus Silecius.

¿Qué más le enseñaron sus maestros?

Bueno, ante todo que un verdadero maestro no es un maestro, y que en todos, hasta en el último de los hombres (y no hay ninguno que sea ni primero ni último) hay una "chispa" actual, viviente, de absoluto (o de espíritu, o de vaciedad, como quieras llamarla). Y que si no logramos ser esa chispa que ya somos, todo estará perdido. A partir de ese punto (de ese "pensamiento que es no-pensamiento") es posible vivir en el amor y la compasión, o, mejor dicho, ese punto es amor y compasión. Este reconocimiento, no sólo dicho sino ante todo vivido, produce una transformación total en la vida, que pasa a ser naturalmente un estado de iluminación, o podríamos decir de beatitud, o de serenidad. Luego impregna la vida familiar, de padres, hijos, mujer, hermanos, amigos, con cualidades amorosas; y más allá la vida que podemos llamar social, con los otros hombres, pero también con los árboles, con los animales, con el silencio, con la responsabilidad, con la atención, con las cualidades compasivas que pueden hacer de lo social una forma concreta y humilde de trascendencia.

¿Cómo ubicaría la filosofía dentro de una visión como la que acaba de expresar?

Lo que me interesa es pensar, en la medida de mis fuerzas. Creo que el pensar es un acto amoroso, mientras que la filosofía está cada vez más atrapada por la ciencia: la filosofía como descripción, como análisis del lenguaje, como lógica, como matematización, como epistemología... Wittgenstein, a mi juicio señaló bien la diferencia, que es central para esto que te estoy diciendo, entre la ciencia, que se preocupa por el cómo son las cosas, y el



Nietzche, años después.

pensamiento que se admira de que las cosas sean, es decir, que vos y yo, por ejemplo, estemos aquí y ahora conversando, de que seamos; esto -sigue Wittgenstein- es por una parte algo místico y por otra es justamente "lo que interesa". Esta podría ser la punta de un hilo de pura inmensidad y no de un sistema (esquema) de pensamiento.

Entre los filósofos modernos fue Nietzsche el que planteó, casi obsesivamente, el problema de la intensidad (la "revelación" del Eterno Retorno); y fue Rimbaud el poeta que lo anunció como una exigencia ética fundamental: hay que volverse vidente. Frente a la ética vulgar del "no hagas a otro lo que no quieras que él te haga", ética del intercambio (comercial), Rimbaud planteó como ética la máxima intensidad: hacerse vidente, transformarse, iluminarse... y después -como diría San Agustín- haz lo que quieras.

¿No se trata también aquí, de algo que excede toda posibilidad de realización, por lo menos para el común de los hombres?

Sí, es excesivo. Pero es excesivo de la misma manera en que es excesiva la máxima "Ama al prójimo como a ti mismo" o como el "Hágase tu voluntad" del Padre nuestro. En este orden siempre todo es excesivo pero a su vez es inevitable.

Quiero decir que si no nos hacemos acreedores a esa gracia pareciera que la humanidad se encamina rápidamente hacia su fin (y esto sea dicho con toda sencillez, sin vehemencia): seremos asolados por guerras y enfermedades, abatidos por una naturaleza a la que estamos destruyendo, cosificados por los "medios"...

Más allá del hombre

¿Por qué la palabra "gracia"?

Porque es algo que viene, que sucede, y no algo producido por el querer del "hombre". En este punto lo que ya no hay es hombre.

¿Qué hay entonces?

Hay un lugar sin este hombre, sin este hombre que es una figura temporal, construida como sustancia, como centro y Señor del Universo, hay un lugar donde lo que hay es absoluto: no el lugar de un pequeño homúnculo encerrado en sí mismo y fuente de todos los sentidos y las realidades, sino el lugar de la tonalidad infinita de lo que es diciendo la tonalidad infinita de lo que es (te confieso que no sé como expresarlo).

Pero si es una gracia, un don, entonces no se puede hacer nada y uno está a merced de que se produzca o no dicha gracia...

En el sentido vulgar del hacer no se puede hacer nada: quiero decir que no se puede saltar por sobre la propia sombra. Pero a su vez la disponibilidad del esperar es el supremo hacer, sa-

Olivier Messiaen (n. 1908).

biendo, por supuesto que no hay nada supremo ni no supremo. La espera, la expectativa, el abandono que deja al ser, sin furia y sin apuro. El Tao: dejar que las cosas caminen de acuerdo con su propio camino. Lejos de ser esta una actitud derrotista es una actitud creadora: a partir del no-hacer se puede hacer todo.

¿Y la política?

Me parece que ésta puede ser la única actitud política no técnica. Y conste que esto que digo no niega la búsqueda "política" por parte de los hombres de un mundo "humano", de una legalidad "humana", de una ecología "humana", de una salud "humana". Al contrario, se trata de que el "secreto claro" (como dijeron Murena y Vogelman) sea patrimonio de todos, para así alcanzar la comprensión, el punto del estallido, del fácil-difícil estallido. No se trata de la sobrevivencia por la sobrevivencia misma, sino de la sobrevivencia en y por este punto, por este sentido, entendido sentido en el sentido de una flecha.

¿Nuevamente una filosofía de la historia?

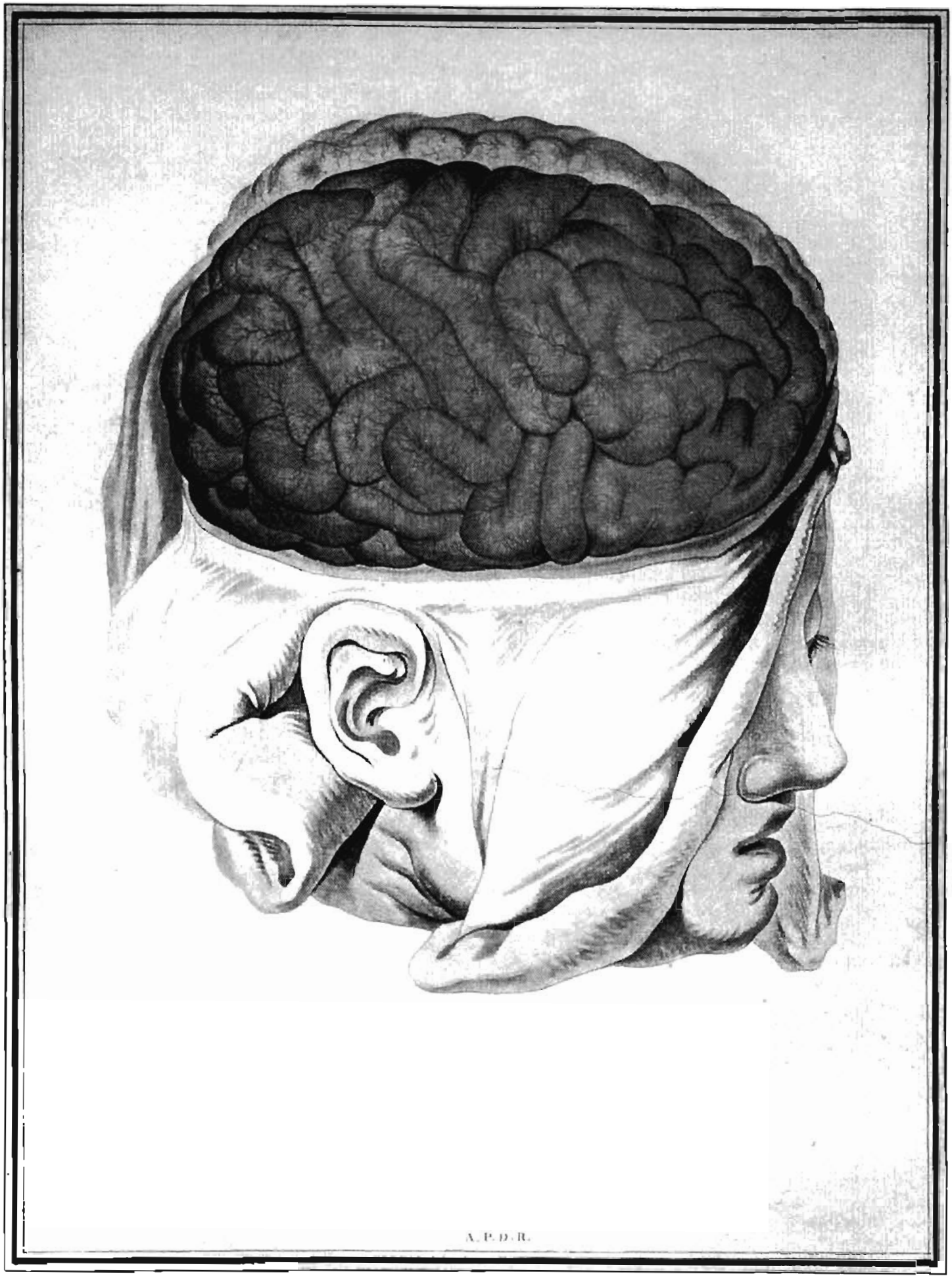
No, porque esto carece de temporalidad: es la flecha que vuela inmóvil, cantada por Valèry. No se trata de que algún día sucederá el estallido y sobreviviremos. Todo es actual. La sobrevivencia, la salvación, la redención, suceden, aquí, ahora. El apocalipsis está aquí, ahora; el Reino está aquí-ahora. Cuando Jehová le preguntó a Adán: ¿Dónde estás?, le estaba preguntando ¿Dónde está tu absoluto en este mismo momento? Y esa pregunta repercute siempre en cada hombre: ¿dónde estoy? ¿qué estoy haciendo aquí, ahora, del don sagrado de la vida? Me parece que no puedo ir más lejos.

• • •

Algunos días después de nuestra conversación, recibí de Óscar del Barco la siguiente nota:

"Diego: me doy cuenta que esta entrevista es imposible, porque soy incapaz de decir lo que quisiera decir. Muchos términos tendrían que ser aclarados porque son confusos; muchas ideas desarrolladas porque son esquemáticas. Tendría que aclarar también algunas aparentes contradicciones, o paradojas, que hacen a la cosa. Lo menor sería hacerlo como lo hacía genialmente Bonino, con ese lenguaje sin-lenguaje que era el suyo, y que cada cual entendía a su manera pero bien, sin posibilidad de equivocarse (pero Bonino se suicidó en el manicomio de Olivia): o como lo hacía Ortiz, pintando; o ser un imán como era Pancho. Pero no tengo esos dones. Debo confesarte que la indebida intromisión mía en aquellos que pudieran leer la entrevista se debe a que me la pediste amistosamente".

Arturo Rimbaud (1854-1891)



A. P. D. R.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 17-20.

ENFERMEDAD DE PARKINSON Y TRANSPLANTE NEURAL

Aida J. Ortega Cambranis
Centro de Ciencias Fisiológicas
Instituto de Ciencias
Universidad Autónoma de Puebla

Durante los últimos años, la idea de transplantar tejido neural al cerebro del adulto se presentó como una interesante y prometedora posibilidad terapéutica en las enfermedades neurodegenerativas, desórdenes caracterizados por la pérdida de poblaciones discretas de neuronas. El prototipo de estos procesos es la enfermedad de Parkinson (o parálisis agitante), caracterizada originalmente por el médico inglés James Parkinson en 1817. Las principales manifestaciones clínicas del mal son: (1) temblor en reposo, (2) rigidez muscular, (3) dificultad para iniciar los movimientos, y (4) reducción en la amplitud y velocidad de los movimientos voluntarios. El conocimiento del sustrato fisiopatológico de tal sintomatología se remonta a finales de la década del 50; para ese entonces, gracias a los estudios de Arvid Carlsson, se sabía que el 80% de la dopamina del cerebro se localiza en los ganglios basales, específicamente en el putamen, el núcleo caudado (llamados, en conjunto, núcleo estriado) y la sustancia nigra, y que su concentración en el cerebro normal es, al menos, tan alta como la de la noradrenalina. Este último hecho sugería que la dopamina no era tan sólo un precursor en la síntesis de la noradrenalina (véase figura 1), sino que podría tener un papel propio de mayor importancia. Poco después, Oleh Hornykiewicz, estudiando cerebros humanos obtenidos postmortem, encontró que, en aquellos que provenían de individuos con enfermedad de Parkinson, los contenidos de dopamina, noradrenalina y serotonina se hallaban anormalmente bajos y que, de las tres aminas biogénicas, era la dopamina la más drásticamente afectada. La enfermedad de Parkinson se convertía, así, en el primer padecimiento neurológico asociado con la deficiencia de un neurotransmisor específico.

Las implicaciones terapéuticas de estos hallazgos eran obvias: Walter Birkmayer y el mismo Hornykiewicz pensaron que los pacientes parkinsonianos mejorarían si la cantidad de dopamina en su cerebro era llevada a sus valores normales. Para ello, administraron a sus pacientes L-DOPA por vía intravenosa. Este aminoácido es el precursor inmediato de la dopamina, pero, a diferencia de ella, es capaz de cruzar la barrera hematoencefálica. Birkmayer y Hornykiewicz lograron una remisión notoria, aunque breve, en la sintomatología de sus pacientes.

Las razones por las cuales la L-DOPA atenuaba las manifestaciones clínicas de la enfermedad de Parkinson nunca fueron claras. La dopamina es sintetizada normalmente en las terminales nerviosas de las neuronas dopaminérgicas (llamadas así precisamente por su capacidad de sintetizar dopamina), cuyos cuerpos celulares se encuentran en la sustancia nigra. Sin embargo, en la enfermedad de Parkinson, un gran porcentaje de estas neuronas degeneran y mueren. Una posible explicación es que la L-DOPA sea capturada por las pocas neuronas dopaminérgicas funcionales que quedan y, en su interior, sea convertida a dopamina.

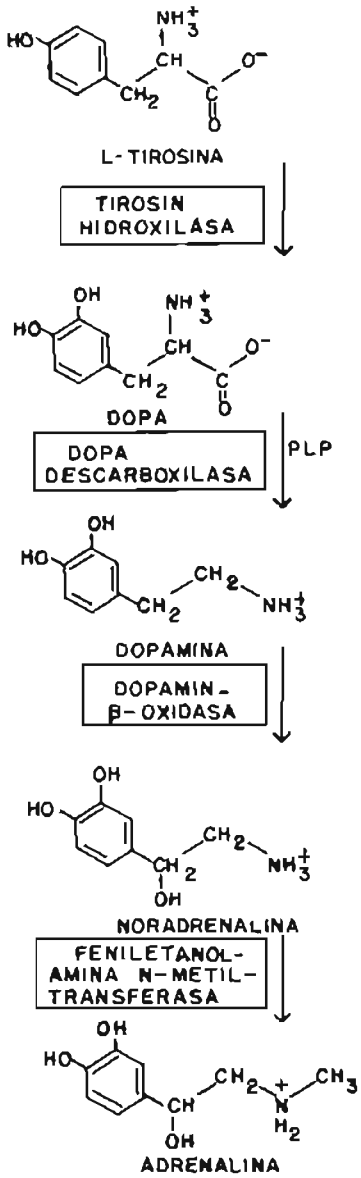
Aunque la terapia con L-DOPA representó un gran avance en el tratamiento de la enfermedad de Parkinson, las expectativas generadas en torno suyo no han sido suficientemente satisfechas. Se esperaba, por ejemplo, que además de disminuir la sintomatología, la L-DOPA fuese capaz de detener e, incluso, revertir en cierto grado la degeneración neuronal de las células dopaminérgicas en la sustancia nigra. Esto no ocurrió. Peor aún: muchos pacientes tratados con el fármaco se hicieron refractarios al tratamiento o padecieron durante años sus efectos colaterales (náuseas, vómitos, arritmias cardiacas, hipotensión, movimientos involuntarios anormales, perturbaciones de la conducta). Se imponía, pues, una nueva aproximación: el reemplazo de las poblaciones neuronales perdidas; esto es, el transplante.

Diversos estudios en modelos animales demostraron que los transplantes de tejido dopaminérgico sobreviven y revierten el déficit funcional observado en la enfermedad de Parkinson; sin embargo, los ensayos clínicos posteriores a estos estudios fueron, en gran medida, decepcionantes. Por ejemplo, el injerto de tejido de médula adrenal (que es un importante sitio de síntesis de catecolaminas y, por tanto, de dopamina) en pacientes con enfermedad de Parkinson no logró una mejoría sostenida sobre el curso de la enfermedad; algunos de los factores involucrados en el fracaso de este tejido son su supervivencia limitada y ciertos fenómenos relacionados con la edad del donador. La infusión intraputaminal de factor de crecimiento nervioso en pacientes con transplante autólogo adrenal (en el cual el tejido injertado proviene del cuerpo del paciente) ha dado buenos resultados en, al menos, un paciente y por un periodo de seguimiento de un año.

El transplante de células dopaminérgicas provenientes de tejido fetal humano es, al parecer, una mejor opción. Sin embargo, la escasa cantidad de tejido disponible y las consideraciones de índole ético y social imposibilitan, por el momento, su uso.

Una alternativa interesante puede ser el transplante de líneas celulares modificadas genéticamente *in vitro*, con el fin de que produzcan dopamina o tirosina hidroxilasa, la enzima limitante en la síntesis de catecolaminas. Por desgracia, en la actualidad, las neuronas no son susceptibles de modificaciones genéticas ya que es muy difícil mantenerlas en cultivo por lapsos prolongados, independientemente de que las técnicas actuales requieren de división celular y las neuronas, como es sabido, no se dividen. Para superar este inconveniente, algunos investigadores han cultivado células periféricas -no neuronas- capaces de replicarse, tales como fibroblastos o células endoteliales; sin embargo, no ha sido posible mantener su expresión transgénica por mucho tiempo, además de que varias líneas celulares, al ser replicantes, han resultado tumorígenas en experimentos con animales. Ambos son obstáculos que ha-

FIGURA 1



Conversión de tirosina a dopamina, noradrenalina y adrenalina en las células neuronales y suprarrenales. PLP, fosfato de piridoxal.

brá que salvar antes de pensar en esta técnica como una opción real para el tratamiento de la enfermedad de Parkinson.

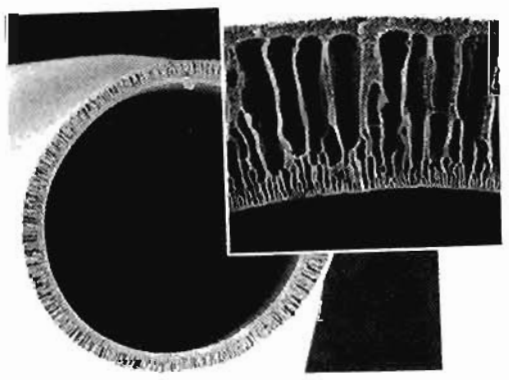
Las experiencias relatadas líneas arriba han mostrado que el tratamiento farmacológico de la enfermedad de Parkinson tiene, cuando menos, dos factores que lo limitan seriamente: por una parte, la administración sistémica de la droga resulta en su distribución hacia receptores dopaminérgicos no relacionados directamente con la fisiopatología de la enfermedad y cuya activación puede producir estados psicóticos y vómito; por la otra, los beneficios de la terapia con L-DOPA son rebasados progresivamente, conforme la enfermedad continúa su curso degenerativo. Por su lado, los transplantes de tejido dopaminérgico ubicados directamente en diversas áreas del cerebro han resultado sólo parcialmente eficaces debido a las dificultades de orden técnico y metodológico mencionadas en párrafos anteriores. Todo ello ha alentado la búsqueda de nuevas soluciones en las que la tecnología moderna juega un papel primordial.

En un reporte reciente de Dwaine F. Emerich y colaboradores, publicado en 1992, se presenta un método que podría, en buena medida, salvar las dificultades inherentes al transplante de tejido fetal humano o al injerto autólogo de médula adrenal; se trata del transplante al núcleo estriado de células secretoras de dopamina encapsuladas en polímero. Las cápsulas utilizadas en dicha técnica se construyen de manera tal que las células quedan rodeadas por una membrana semipermeable e inmunoprotectora. La naturaleza semipermeable de la cápsula permite el flujo bidireccional de compuestos de bajo peso molecular. De esta forma es factible la entrada de glucosa y oxígeno, entre otros nutrientes, y la salida por difusión de la dopamina, la cual puede entonces actuar sobre el tejido circundante. Asimismo, impide el paso de los elementos inmunes del hospedero hacia las células encapsuladas, protegiéndolas del rechazo inmunológico. La técnica permite realizar aloinjertos (transplantes en los cuales el tejido proviene de individuos de la misma especie del receptor) o, incluso, xenoinjertos (en los cuales el tejido proviene de individuos de una especie distinta a la del receptor) sin la necesidad de inmunosuprimir al receptor del transplante. Los ensayos realizados hasta el momento, tanto *in vitro*, como *in vivo*, indican que las células encapsuladas sobreviven y funcionan.

La encapsulación de las células productoras de dopamina puede ser de dos tipos: microencapsulación y macroencapsulación. En la primera, un grupo pequeño de células es rodeado con una película de polímero delgada, esférica y semipermeable. La cápsula es formada por enlaces iónicos o de hidrógeno entre dos polielectrolitos débiles que presentan cargas opuestas. El procedimiento de encapsulación inmoviliza a las células en una matriz cargada negativamente, logrado lo cual, pueden ser cubiertas con una delgada película formada por un policatión como la poli-L-lisina. Esta técnica tiene varias ventajas: no se utilizan solventes orgánicos, permite el uso de alo y xenoinjertos y no es necesario inmunosuprimir al receptor.

Con un control adecuado de la permeabilidad, las microcápsulas son muy efectivas para mantener viables a las células, permitiendo una difusión adecuada del neurotransmisor. Son, sin

FIGURA 2



Microfotografía electrónica de barrido que muestra la estructura tridimensional de las fibras que constituyen la cápsula para la macroencapsulación. El inserto a la derecha muestra la pared de la cápsula a mayor aumento (tomado de Emerich, Winn, Christenson, Palmatier, Gentile y Sanberg, *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol. 16, 1992, pp. 437-447).

embargo, mecánica y químicamente frágiles, además de ser difíciles de recuperar.

En cuanto a la macroencapsulación, se logra utilizando fibras huecas fabricadas de un termoplástico mecánicamente estable y llenándolas con una suspensión celular (véase figura 2). Al igual que la microencapsulación, esta técnica permite el uso de alo y xenoinjertos sin inmunosupresión, ofreciendo, además, una estabilidad mecánica bastante aceptable y la posibilidad de recuperar la cápsula cuando sea necesario. Como desventajas habría que mencionar que sus características internas pueden limitar potencialmente tanto la difusión del neurotransmisor como la viabilidad celular. Por otra parte, la necesidad de implantes múltiples puede producir daño tisular significativo.

Antes de que los implantes de células encapsuladas en polímero puedan ser usados en humanos deben cumplir dos requisitos indispensables: a) supervivencia a largo plazo de las líneas celulares utilizadas y b) eficacia demostrada en modelos de la enfermedad de Parkinson en primates. Por lo que toca al primer punto, algunos estudios han demostrado que ciertas células son capaces de mantenerse funcionales *in vitro* durante periodos superiores a los seis meses. Estudios *in vivo* muestran además que las cápsulas de polímero brindan un efectivo aislamiento inmunológico a las células encapsuladas. En lo que respecta al segundo punto, Aebischer y colaboradores reportan que, aunque las células implantadas fueron muy eficaces en la reversión de los síntomas, hubo un cierto grado de temblor residual que fue imposible revertir con el tratamiento.

Los datos acumulados indican que las células encapsuladas sobreviven, son funcionales y promueven una recuperación conductual satisfactoria tanto en roedores como en primates. Emerich aclara, sin embargo, que existe un número de circunstancias que deben tomarse en cuenta antes de considerar a esta técnica como la panacea en el tratamiento de las enfermedades caracterizadas por disfunción de células secretoras; entre otras: 1) La efectividad de la terapia puede verse comprometida por una difusión limitada de la dopamina. Ello llevaría a la necesidad de realizar implantes múltiples, con el riesgo de daño tisular. 2) Aunque la recuperabilidad de las cápsulas implantadas puede considerarse como una ventaja, el procedimiento para extraerlas puede dejar una ruta potencial para la infección del tejido neural del receptor. 3) La ruptura de la cápsula durante su implante o recuperación puede inducir la respuesta inmune del tejido hospedero y el consecuente daño del mismo.

El uso de células secretoras encapsuladas en polímero puede representar una alternativa de gran importancia en el tratamiento de ciertas patologías neurodegenerativas como la enfermedad de Parkinson. Su aplicación en humanos tendrá que esperar a que sea colectado un mayor número de evidencias respecto de su eficacia, aunque, por los datos disponibles, puede esperarse que esta técnica signifique una opción accesible a corto plazo.

Lecturas recomendadas

Aebischer, P., Winn, S. R., Galletti, P. M., "Transplantation of neural tissue in polymer capsules", *Brain Research*, Vol. 448, 1988, pp. 364-368.

Emerich, D.F., Winn, S. R., Christenson, L., Palmatier, M. A., Gentile, F. T., Sanberg, P. R., "A novel approach to neural transplantation in Parkinson's disease: use of polymerencapsulated cell therapy", *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, Vol. 16, 1992, pp. 437-447.

Horn, A.S., Korf, J., Westerink, B.H.C., "*The neurobiology of dopamine*", Academic Press, New York, 1979.

Madrazo, I., Drucker, R., Díaz, V., Martíne, J., Torres, C., Becerril, J. J., "Open microsurgical autograft of adrenal medulla to the right caudate nucleus in two patients with intractable Parkinson's disease", *New England Journal of Medicine*, Vol. 316, 1987, pp. 831-834.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 21-27.

J. B. S. HALDANE Y LA BIOLOGÍA CONTEMPORÁNEA

Pedro M. Pruna Goodgall
Centro de Estudios de Historia y Organización de la Ciencia
Academia de Ciencias
Cuba

Muchos trabajos contemporáneos manifiestan, de alguna manera, la influencia de John Burdon Sanderson Haldane, más conocido como J.B.S. Haldane, el centenario de cuyo nacimiento conmemoramos en 1992. Tal ascendiente se explica con facilidad si se tiene en cuenta que Haldane laboró en áreas muy diversas dentro de las ciencias biológicas y que en todas ellas nos legó ideas fundamentales o, al menos, previsiones fecundas. La fisiología, la bioquímica y sobre todo la genética estuvieron entre sus intereses primordiales.

Notas biográficas[1]

Haldane realizó sus primeras investigaciones de la mano de su padre, J. S. Haldane (1860-1936), quien fue un notable estudioso de la fisiología de la respiración. El joven investigador introdujo nuevos métodos cuantitativos en los experimentos paternos; en ellos reflejó su temprano talento matemático. Ya a los 19 años, Haldane hijo expuso ante la adusta Real Sociedad de Londres su elaboración estadística de los resultados de ciertas experiencias fisiológicas que realizara junto con su padre.

Su inspirador en el campo de la genética fue William Bateson (1861-1926), creador del nombre mismo que esta disciplina recibe. Bateson suponía que la genética daría origen a una nueva Historia Natural, basada en métodos estadísticos y de hibridación. Por cierto, ambos métodos se combinaron en el primer trabajo sobre la herencia biológica publicado por Haldane.

El texto de este trabajo se hallaba todavía inconcluso cuando su autor fue llamado a filas y destinado al frente de batalla, en 1915. Desde una trinchera en Bélgica, donde terminó de redactarlo, Haldane remitió el manuscrito a Bateson con el ruego de que, si caía en la contienda, auxiliara a preparar el artículo para su publicación póstuma. No andaba errado el joven genetista al valorar la importancia de este trabajo, pues se trataba -en efecto- de uno de los primeros donde se demostraba la existencia de ligamiento genético en un mamífero.

Quizás hubiera sido éste el último artículo de Haldane, de no haberlo llamado de regreso sus superiores militares para que ayudara a su padre en la labor de diseñar máscaras antigases, con el propósito de hacer frente al empleo de armas químicas por las tropas alemanas. Enviado de nuevo al frente para someter las máscaras a prueba. Haldane se convirtió, por propia voluntad, en conejillo de indias de tan arriesgado experimento, costumbre que conservaría durante muchos años. "Soy mi propio conejillo de indias", solía decir.

Las pruebas de estos medios de defensa se ejecutaron con total éxito, pero Haldane resultó seriamente herido mientras las realizaba. Una vez recuperado, fue enviado con su batallón al Oriente Medio, de donde -lesionado nuevamente- se le trasladó a la India, donde permaneció algo menos de dos años. Quedó fascinado por la vida de los habi-

J. B.S. Haldane (1892-1964).

tantes y por la naturaleza de ese inmenso territorio. Se propuso entonces regresar algún día a la India, establecerse en ella, deseo que pudo cumplir solamente al cabo de cuarenta años.

La guerra dejó en Haldane, hombre de imperturbable optimismo y de gran fortaleza física y moral, una indeleble amargura, que su inalterable racionalidad pronto convirtió en una reflexión sobre el porvenir. En su primer libro *Dédalo o la ciencia y el futuro*, compara a la humanidad con el trágico artífice de un laberinto, del cual sólo se podía escapar en alas de la imaginación y de la ciencia.

Por esta misma época, Haldane llega al convencimiento de que la biología era la ciencia predilecta del mañana. Cree incluso inevitable una forma de eugenesia, de niños criados por entero en probetas, idea que encontraremos más tarde en la pesadilla futurista que Aldous Huxley describe en su novela *Un Mundo Feliz* (*Brave New World*).

Para Haldane, sólo las invenciones de índole biológica eran capaces de imbricarse en los hábitos y costumbres de los pueblos. De ahí que la tecnología biológica, por más que comenzara como una "perversión" estaba destinada a incorporarse con relativa facilidad a la vida misma de las comunidades humanas. Ello la diferenciaba de las tecnologías físicas o químicas que eran para él puras "blasfemias".

Aunque estas ideas puede que no parezcan tan extrañas en la actualidad, sí lo eran por aquellos años y le dieron a Haldane cierta fama de excentricidad que -gracias a los aportes fundamentales que había realizado a la fisiología y la genética- no obró en contra de su prestigio científico. Desde 1923, Haldane desempeñó su actividad docente en la Universidad de Cambridge, en 1932 fue elegido miembro de la Real Sociedad de Londres, y en 1933 pasó a ser profesor del *University College*, puesto que ocupó hasta 1957.

Como muchos destacados científicos británicos, contemporáneos suyos, Haldane se sintió atraído por el experimento socialista que tenía lugar en la Unión Soviética. En ello influyó de manera decisiva su propia evolución ideológica; pero algo tuvo que ver también su relación con Nikolai Vavilov, el eminente genetista ruso, a quien había conocido muchos años antes. Haldane visitó la Unión Soviética en 1928, precisamente por invitación de Vavilov. Los avances de la genética en ese país lo impresionaron tan gratamente, como los proyectos sociales que ahí se desenvolvían.

Después de su visita a Rusia, Haldane se convirtió en defensor del sistema soviético y de la ideología marxista. Sus convicciones al respecto se fortalecieron frente al auge del fascismo en Italia y Alemania y aún más durante la guerra de España. Fue asesor del gobierno de la República en variadas cuestiones, y siempre se enorgulleció de haber estado en Madrid el día de Año Nuevo de 1937, cuando el primer asedio franquista a la ciudad fracasó ante la resistencia de los republicanos.

En 1938 Haldane ingresó al Partido Comunista de Gran Bretaña. En el propio año publicó su libro *Herencia y Política*, donde analiza y fulmina las prácticas de esterilización masiva que se llevaban a cabo en Alemania. Dos años más tarde publicó, en los Estados Unidos, la primera edición en inglés de la *Dialéctica de la Naturaleza* de Federico Engels. Esta es, en verdad, la única edición crítica de esta obra, pues Haldane no se limitó a elogiarla, sino que apuntó también aquellas cuestiones que resultaban ya obsoletas a la luz de los avances de la ciencia. Durante toda la guerra publicó en el *Daily*

Worker, órgano del partido al cual pertenecía, numerosos artículos sobre las más diversas materias.

Desde 1939, por encomienda del gobierno inglés, Haldane dirigió todo un conjunto de experimentos destinados a propiciar la salvación de las tripulaciones de submarinos hundidos. De nuevo, como lo había hecho al colaborar con su padre, Haldane, quien se hallaba próximo a los 50 años, se sometió personalmente a riesgosas pruebas, que estuvieron a punto de costarle la vida. Tales experimentos no sólo permitieron la supervivencia de cientos de personas -gracias a lo cual Haldane se convirtió virtualmente en un héroe nacional- sino que incrementaron considerablemente la seguridad de la labor de los buzos y conservan su significación hasta nuestros días.

Los años de la posguerra supusieron una serie de desilusiones en la vida de Haldane. En 1949 abandonó las filas del Partido Comunista Inglés. En ello influyeron varios motivos, pero uno de los principales fue su total desacuerdo con las doctrinas de Lysenko, ajenas y contrarias al avance de la genética, doctrinas que entonces se incorporaban a la versión supuestamente definitiva del marxismo que se desarrollaba en la Unión Soviética. Sin embargo Haldane mantuvo su creencia en el socialismo y su amistad hacia ese país.

Crecía en él, no obstante, el desacuerdo con la política hacia la ciencia que desenvolvían las autoridades británicas, y con las propias acciones que su país desplegaba internacionalmente. La intervención anglo-francesa de 1956 en Egipto, con el propósito de apoderarse del Canal de Suez, colmó su paciencia. Al año siguiente Haldane abandonó Inglaterra para establecerse en la India.

En la tierra de Gandhi y Nehru, vivió los siete últimos años de su vida. Adoptó las costumbres del país e incluso la vestimenta típica de sus habitantes. En 1961 se hizo ciudadano de la India. Aunque sus breves años en la nueva residencia no estuvieron libres de algunos tropiezos y trabas, consiguió reunir a su alrededor un grupo de jóvenes investigadores que debían laborar de acuerdo con una de sus máximas preferidas: "Si tienes una idea, actúa; si no la tienes, busca un aparato". Así pensaba conjugar biometría y genética en una serie de estudios originales y poco costosos para revelar y esclarecer fenómenos desatendidos de la biología tropical.

Falleció el 1° de diciembre de 1964, en los predios del laboratorio que a estos fines fundara en Bhubaneswar, en el estado de Orissa. Había recién cumplido 72 años, pues nació el 5 de noviembre de 1892.

Los grandes temas teóricos[2]

Haldane ocupa un lugar seguro dentro de la historia de la biología gracias a dos trabajos teóricos fundamentales: su artículo de 1929 sobre *El origen de la*

Aldous Huxley (1894-1963).

Shiva, dios hindú. Imagen en bronce, siglo XII o XIII a.n.e.

vida y su libro de 1932 sobre *Las Causas de la Evolución*.

La teoría del origen de la vida que Haldane expuso en 1929 fue una consecuencia de los estudios bioquímicos que emprendió desde 1921. Consiste, en esencia, en la concepción de que la evolución biológica fue antecedida por una evolución abiótica, molecular, cuando la atmósfera terrestre carecía casi totalmente de oxígeno libre y, por ende, de una capa de ozono, por lo que la principal fuente de energía en el proceso de formación de nuevas moléculas era la radiación ultravioleta. La asociación de las moléculas en una determinada estructura precelular, permitió la formación de proteínas y otros compuestos poliméricos y, en definitiva, de los primeros organismos[3].

Haldane elaboró su teoría de manera totalmente independiente de Alexander Oparin, cuyas ideas no conocía; y, sin embargo, se trata en esencia de la misma concepción que Oparin sostenía. J. B. S. reconoció, con singular modestia, la prioridad de su colega ruso, quien había publicado sus tesis al respecto años antes, en un folleto que circuló en la Unión Soviética. La hipótesis de Haldane fue conocida internacionalmente, gracias a una extensa reseña que publicó la revista Nature.

El tema del origen de la vida fue recurrente en la obra de Haldane. Su artículo original sobre este asunto resulta de interés, además, porque contiene sugerencias que son compatibles con la teoría del origen de la célula por asociación de semiorganismos precelulares, la conocida teoría -ya existente entonces- del origen de la célula por simbiosis[4]. También sugirió Haldane cierta analogía entre los virus y los genes, lo cual ha tenido repercusión entre algunos autores contemporáneos.

El segundo gran aporte teórico de Haldane a la biología moderna es su teoría de la selección natural, contenida en una serie de artículos que publicó entre 1924 y 1932 y que resumió, en ese último año, en su libro *Las Causas de la Evolución*[5]. El texto fundamental de esta obra es de divulgación especializada, dirigida sobre todo a los biólogos; pero el libro contiene, como apéndice, la rigurosa exposición de una teoría matemática de la selección natural. Gracias a ella, se considera a Haldane, junto con su compatriota Ronald B. Fisher (1890-1962) y el norteamericano Sewall Wright (1889-1988) como uno de los tres creadores de la genética poblacional.

Varios historiadores de la biología han subrayado la importancia que tuvo el que tres científicos de calibre, poseedores de una buena formación biológica y matemática, coincidieran en tiempo en la elaboración de la teoría matemática de la evolución. La publicación entre 1930 y 1932, de las tres obras básicas donde se formuló en síntesis esta teoría, tuvo la importancia histórica excepcional de dar un viraje a las discusiones entonces imperantes en el campo de los estudios sobre la evolución. En otras palabras, volvió a colocar en un primer plano la selección natural como principal fuerza motriz de la evolución, superando las objeciones que los ortogenetistas y neolamarckistas le habían opuesto y que hacían que muchos dieran al darwinismo por liquidado.

Tal y como había previsto William Bateson, el maestro de Haldane, este gran aporte teórico abrió el camino a una nueva Historia Natural, a la nueva sistemática propugnada por la "teoría sintética de la evolución", elaborada a partir de la publicación en 1937 del libro de Dobzhansky, *La Genética y el Origen de las Especies*, y en obras posteriores de Julian Huxley, Ernst Mayr, George Gaylard Simpson, Iván Schaml-

hausen y otros.

Retomando a los temas que Haldane trata en su obra, lo que más llama la atención es la absoluta actualidad que muchos de ellos conservan. En primer lugar, Haldane se refirió explícitamente a que -a diferencia de lo que afirmaba Darwin- existían, en efecto, especies nuevas que se originaban por un salto. Tal era el caso de los vegetales formados por alopoliploidia. "Cuando ya han surgido -indicaba Haldane- deben justificar su existencia ante el tribunal de la selección natural, pero ésta es ya otra cuestión".[6]

También insistió en que, en contraste con lo que Darwin pensaba, la variabilidad en las poblaciones naturales no se produce en cualquier dirección, sino que "las mutaciones parecen ocurrir solamente siguiendo ciertas líneas, que son similares en especies cercanamente emparentadas, pero que difieren en especies más distantes entre sí".[7]

Su discusión sobre el problema de la adaptabilidad terminaba con el siguiente sumario:

"[...] parecería que la selección natural es la causa principal del cambio evolutivo de la especie como un todo. Pero los pasos reales por medio de los cuales los individuos llegan a diferir de sus progenitores se deben a causas distintas de la selección, y como consecuencia de ello la evolución sólo puede seguir ciertas vías. Estas vías son determinadas por factores sobre los que sólo podemos conjeturar superficialmente. Únicamente el estudio riguroso de la variación esclarecerá nuestra oscuridad al respecto".[8]

En estas frases de Haldane está implícita toda una metodología de análisis que ha sido algo olvidada en la biología moderna; razón por la cual la "ley de la homología" de Vavilov, tan elogiada en su momento, quedó rezagada en un segundo plano; como también quedaron sepultadas en el olvido las advertencias de D'Arcy Thompson, sobre la influencia de fenómenos puramente mecánicos en la determinación de la forma de los organismos. Sólo las obras de Stephen Jay Gould han llamado la atención, recientemente, sobre estos factores que -en efecto- establecen determinadas restricciones a la variabilidad. Se trata de limitaciones que vienen impuestas, en gran parte, por la propia evolución anterior de cada especie; condicionamientos que hacen que los cambios evolutivos sigan lo que parece ser *-a posteriori-* un camino prefijado, aunque en realidad se trate de un haz de rutas posibles, de las cuales sólo unas pocas llegan a realizarse.

En *Las Causas de la Evolución*, Haldane hacía un intento de vincular los factores determinantes de la variabilidad e incluso diferentes tipos de selección natural con los diversos niveles de organización de los cuales se ocupa el biólogo. A esta compleja cuestión dedicó Haldane, una conferencia titulada "El tiempo en la biología". Lo esencial de ella se resume en los siguientes párrafos:

"...muchas de las dificultades de

la biología surgen de la necesidad de pensar simultáneamente en varias escalas de tiempo. Si pensamos demasiado exclusivamente en la tabla de tiempo molecular, seremos guiados al materialismo mecanicista. Si pensamos demasiado exclusivamente en la escala evolucionaria, seremos conducidos a una exagerada teleología. Siempre debemos preguntar cuál es la función de un órgano, más que cómo funciona o cómo se desarrolla en la vida de un individuo. Cuando pensar en nuestra escala favorita de tiempo ya no nos ayuda, empezamos a hablar de misterios insolubles.

Las diferentes escalas de tiempo corresponden a diferentes niveles de organización [...] No hay duda de que la escala de tiempo con la cual un investigador tiene que ver, depende solamente del tipo de organización que a él le interesa''.[9]

Las preocupaciones de Haldane en torno a los diferentes niveles de organización y a las escalas de tiempo que les son peculiares estuvieron hasta hace unos años ''fuera de moda''. La teoría matemática del ''caos'', o -para ser más precisos- de los movimientos irregulares que se describen en términos de ecuaciones deterministas, ha hecho renacer el interés en esta cuestión. En definitiva, la teoría del caos conjuga matemáticamente los diferentes ''modos de existencia'' de un fenómeno oscilatorio, que examinado en una dimensión parecería producirse en torno a un estado de equilibrio, pero visto en otra dimensión corresponde a movimientos irregulares, ''caóticos'', que -por así decir- se hallan presentes, pero ''ocultos'', en las oscilaciones regulares. Debemos recordar que los trabajos de Robert May vincularon la dinámica poblacional con estas explicaciones de lo que hoy se denomina ''teoría del caos''.[10]

Otra cuestión importante, entrelazada sin duda con la de los niveles de organización y escalas temporales, es lo que tiene que ver con las tendencias altruistas o egoístas dentro del proceso evolutivo; tema que resurge hoy cuando se habla de ''genes egoístas'' o de la neutralidad de ciertos caracteres frente a la selección natural. Haldane examinaba esta cuestión, sobre todo, en términos del comportamiento del individuo en cuanto a la especie de que forma parte, y no ignoraba las implicaciones sociales de tal tratamiento del asunto.

Una de sus ideas más interesantes al respecto es que, en las especies que cuentan con una superabundancia de individuos, la competencia intraespecífica, al acentuarse, puede ir en detrimento de la concurrencia con otras especies de la misma comunidad y ello puede conducir a la extinción de las poblaciones más densas de la especie superabundante, cuando no de esa especie como un todo.

Una ciencia ''sin aparatos''

Es harto probable que Haldane haya exagerado al recomendar a sus discípulos: ''Si tienes una idea, actúa; si no la tienes acude a un aparato''. Pero lo cierto es que dedicó los últimos años de su vida a demostrar que se podía hacer buena ciencia con muy pocos recursos materiales. De hecho, sus ideas dieron lugar a investigaciones sobre la ''carga genética'' de las poblaciones, los genes homólogos que -en especies cercanas de mamíferos- dan origen a patrones similares en el pelaje, a estudios de simetría estructural en diferentes organismos y a muchas otras direcciones de investigación que pueden, en efecto, realizarse prácticamente sin instrumentos costosos; aunque sí requieren de un considerable esfuerzo intelectual.

Un ejemplo de ello tiene que ver con la referencia de Haldane a la posible influencia de las enfermedades sobre la evolución. Una epidemia o epizootia puede alterar el curso del pro-

ceso evolutivo; es decir, convertirse en un factor importante de la selección natural. De esto se deriva que las enfermedades endémicas pueden tener un efecto permanente sobre la composición genética de una población. Esta idea sirvió de inspiración a los estudios de Allison[11] sobre el mantenimiento de la anemia falciforme entre las poblaciones humanas de África Occidental. Ellos mostraron que el alelo causante de esta enfermedad molecular endémica, que es mortal si sus portadores son homocigóticos para este gen, se mantiene presente en la población gracias a que otorga cierta resistencia contra el parásito causante del paludismo. Es decir, la selección natural de cierta manera favorece a los individuos heterocigóticos.

En los años sesenta, la genética poblacional estaba siendo criticada desde el punto de vista de que, al ocuparse de caracteres aislados, aun cuando ellos sean de carácter merístico, trata al genoma como un "saco de judías" (*beanbag*), es decir, sin tener en cuenta las interrelaciones que en efecto existen entre los diferentes genes, tanto como unidades estructurales, como en el proceso de su expresión.

En su artículo titulado *En defensa de la genética de saco de judías*, el último trabajo que publicara antes de su fallecimiento, Haldane, aparte de justificar el valor heurístico de este enfoque y de recordar que no se le ha opuesto ninguna alternativa válida, realizó un recuento de sus resultados personales en el terreno de la genética poblacional, y terminaba diciendo:

"Las teorías de la genética poblacional existentes en la actualidad serán sometidas, sin duda, a ulteriores simplificaciones y sistematizaciones. Algunas de ellas poco se apartarán, por su peso específico, de la teoría dinámica elaborada ya en el siglo XIX. Ello no significa que estas teorías sean un juego estéril en el terreno de las construcciones algebraicas. Hay que acudir a muchos medios y posibilidades para alcanzar incluso una pequeña verdad [...]".[12]

Notas y Referencias

1. Hay dos buenas biografías de Haldane: Clark, R., "*The life and work of J. B. S. Haldane*", Hodder and Stoughton, Londres, 1968; Feldman, G. E., John Burdon Sanderson Haldane, Naúka, Moscú, 1968 (en ruso).

2. "*Haldane and modern biology*", John Hopkins Press, Baltimore, 1968, editado por K. R. Dronamraju, es una colección de artículos donde muy destacados investigadores examinan los vínculos de sus propias obras con las de Haldane.

3. Haldane, J. B. S., "*The origin of life*". Rationalist Annual, 1929, p. 3.

4. Una exposición relativamente reciente de esta teoría se halla en el libro de Lynn Margulis, "*Syabiosis in Cell Evolution*", W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1981.

5. Hay una edición reciente de esta obra: "*The Causes of Evolution*", Princeton University Press, Princeton, 1990. Incluye un valioso prólogo e importantes notas de Egbert G. Leigh, Las referencias que siguen corresponden a esta edición.

6. "*The Causes of Evolution*", p. 75.

7. Ibídem. p. 75.

8. Ibídem. p. 77.

9. Haldane, J. B. S., "El tiempo en la biología", *El Mundo Científico* [órgano de la FMTC], Vol. 9(4), 1965, pp.4-11, 30-31. La cita es de las pp. 11 y 30. Es la traducción de la conferencia sobre este tema, pronunciada por Haldane en 1955.

10. Una exposición popularizada de la historia de la teoría del caos es la de: Gleick, James, "*Chaos. Making a new science*". Viking, Nueva York, 1987. Una breve exposición, pero más técnica, de la teoría es el capítulo 12 de *Synergetics*, de Hermann Haken (Springer Verlag, Berlín, 1978, 2da. edición). Los trabajos más importantes de Robert May son: "Will a large complex system be stable", *Nature*, Vol. 238, 1972, pp. 413-414, (anterior a la teoría del caos, pero precursor); "Simple mathematical models with very complicated dynamics", *Nature*, Vol. 261, 1976, pp. 459-467; "Bifurcations and dynamic complexity in simple ecological models", *The American Naturalist*, Vol. 110, 1976, pp. 573-599.

11. Allison, A. C., "*Aspects of polymorphism in man*", Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, Vol. 20, 1955, pp. 239-255. En el libro citado en la nota 2, pp. 179-201, Allison, ofrece un recuento de sus investigaciones.

12. Haldane, J. B. S., "A defense of beanbag genetics", *Perspectives in Biology and Medicine*, Vol. 7, 1964, p. 343.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 28-31.

EL SENTIDO DEL OLFATO: UN ENFOQUE BIOPSICOSOCIAL

Amira del Rayo Flores Urbina
Centro de Ciencias Fisiológicas
Instituto de Ciencias
Universidad Autónoma de Puebla

ODORARE

El hombre es un animal microsmático, ya que el olfato representa sólo una mínima parte de su actividad sensorial y participa de forma secundaria en la regulación de sus acciones, en comparación con los animales macrosmáticos, como el perro, en los cuales, la olfación es un elemento vital para la alimentación y la subsistencia. En cierto grado, esto se refleja en la pequeña área de epitelio olfatorio en el hombre, que no excede de 5 cm^2 en total, comparados con casi el doble en el gato, esto a pesar de su cabeza tan pequeña.

Aun siendo un animal microsmático, la complejidad anatómica y funcional del sistema olfatorio en el hombre es indiscutible. Investigaciones realizadas en el campo de la etología, la neurobiología y la psicobiología del desarrollo, permiten asociar la olfación con complejas funciones de activación y sensibilización de centros nerviosos corticales y subcorticales, que intervienen en la modulación de nuestra vida de relación.

Proyecciones olfatorias centrales

Las proyecciones centrales del sistema olfatorio son múltiples y complejas (véase figura 1). Filogenéticamente, el sistema olfatorio es anterior a otros sistemas sensoriales como el visual y el auditivo, y en muchos animales primitivos una proporción mucho mayor del cerebro está directa o indirectamente relacionada con el olfato. Los animales inferiores dependen mucho más en forma inmediata que nosotros de conocer directamente o a través de sus sentidos si la comida está cerca, si hay que evitar peligros o la proximidad de una pareja para la cópula. En otras palabras, su motivación es esencialmente olfatoria.

Aun en el hombre, las reminiscencias de este sistema básico para la motivación y la emoción (siendo la emoción un correlativo sensorial de la motivación), pueden confirmarse por las proyecciones olfatorias centrales (véase figura 2). Muchas de estas estructuras forman parte del sistema límbico, un grupo de núcleos, regiones corticales y tractos de conexión de gran antigüedad evolutiva que parece estar vinculado precisamente con aquellas funciones más adecuadas para un animal primitivo que está estrechamente relacionado con la estimulación química: motivación, emoción y memoria. De estas estructuras, el hipocampo parece estar relacionado con la memoria motivacional (la capacidad para asociar un estímulo sin interés previo con la

promesa de comida o placer), indicada más directamente por estimulación olfatoria, y reconocer tal estímulo en el futuro como una fuente de motivación por sí mismo.

Lo que parece haber sucedido en el curso de la evolución, es que este tipo de motivación secundaria por estímulos que sólo adquieren su significado a través de la experiencia y el aprendizaje ha aumentado gradualmente en importancia con respecto a la motivación olfatoria primaria. Para el hombre moderno, el dinero es quizás el motivador secundario más poderoso de todos, y dada la elección entre un plato de pescado con papas fritas, y un plato de billetes, no hay duda de cuál causaría el impulso motivacional más grande. Por esta razón, las estructuras límbicas que originalmente fueron útiles a la olfación, ahora no son primariamente olfatorias y el nombre rinencéfalo (''cerebro nasal''), que algunas veces se da al sistema límbico, resulta inapropiado en los animales superiores.

Existen conexiones importantes entre el sistema límbico y el hipotálamo, proporcionando rutas por medio de las cuales los estímulos olfatorios pueden causar tales efectos autonómicos y hormonales obvios, como la excitación sexual y la modificación de los ciclos reproductivos, salivación y otras respuestas secretorias en presencia de alimentos olorosos, y en muchas especies las reacciones instintivas de miedo a olores amenazadores de los depredadores.

Por último, otro indicativo de la conexión fisiológica entre la olfación y las funciones límbicas en el hombre es la manera tan sorprendente como los olores pueden evocar, a menudo con significativa intensidad, experiencias vividas; y es interesante que con frecuencia tales recuerdos no tan sólo revelan circunstancias particulares de un suceso específico, sino también el estado de ánimo o la emoción que se sintió en ese momento, de una manera que rara vez se experimentaría con la estimulación puramente auditiva o visual.

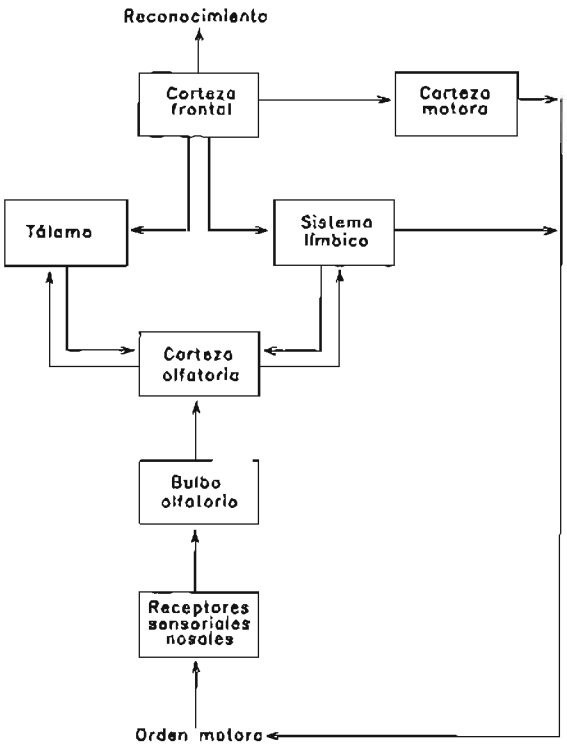
Estudios sobre la olfación en el recién nacido

En los últimos años, el estudio de la olfación ha despertado gran interés, en particular su papel biopsicosocial, ya que existen reportes de que la función olfativa participa en la adaptación e interacción grupal de los individuos.

Es muy sorprendente que desde los primeros días de vida, en el ser humano, se lleve a cabo un reconocimiento de los olores, proporcionándole información del medio que lo rodea. Por medio de este reconocimiento de olores, el recién nacido establece una interacción dinámica con su madre, estableciendo así su primer lazo social.

Los trabajos realizados por T. Engen y L. P. Lipsitt, permitieron demos-

FIGURA 1



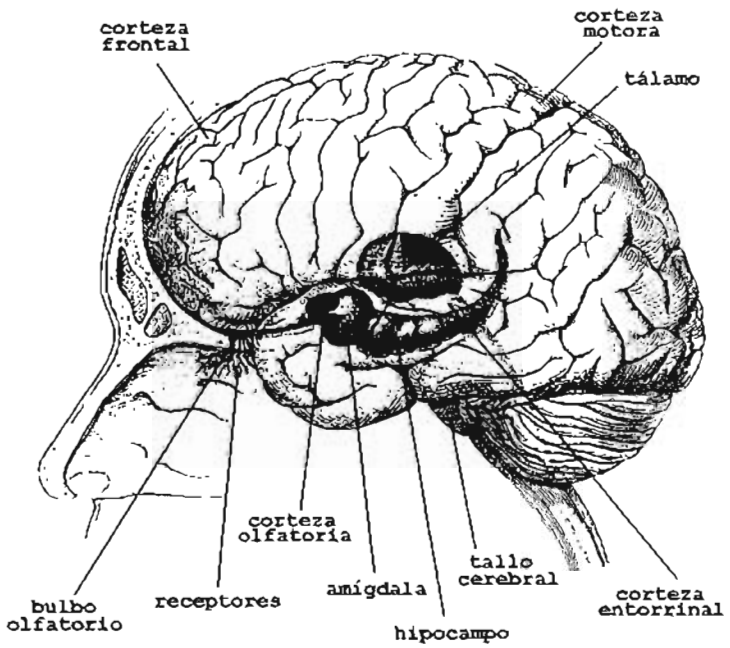
Esquema que ilustra el flujo de la información olfatoria en el cerebro.

trar que el recién nacido tiene la capacidad de reaccionar ante una gran variedad de estímulos olorosos desde los primeros minutos de su vida.

Hay evidencias de que existe una memoria olfativa que permite al recién nacido diferenciar diversas fragancias. Esto se corroboró, a mediados de la década del setenta, a partir de observaciones que relacionaron la actividad de reconocimiento olfatorio del recién nacido y el afianzamiento del vínculo maternal. Se encontró que un recién nacido al que se le acercan prendas impregnadas con olores corporales de distintas personas, es capaz de reconocer, entre todos los olores, el de su madre.

Sin embargo, lo que causa aún mayor asombro es que parece existir una percepción olfatoria en el periodo prenatal, la cual correspondería a un ensayo del aprendizaje que deberá realizarse rápidamente al poco tiempo del nacimiento. Esta nueva hipótesis, que propone un efecto preparatorio de la experiencia olfativa fetal, se apoya en que las características quimiosensoriales del líquido amniótico pueden ser captadas por el feto a través de quimiorreceptores nasales. Evidentemente, para cubrir esta función se requiere de un desarrollo anatomofuncional suficiente del cerebro fetal. Esto resulta creíble, ya que los recién nacidos prematuros responden satisfactoriamente a los estímulos olfatorios, lo cual presupone una actividad similar *in utero*. En el terreno experimental, la función olfatoria prenatal pudo demostrarse en roedores, lo que podría indicar su existencia en otros mamíferos placentados.

FIGURA 2



La interacción entre la corteza olfatoria y el bulbo olfatorio son esenciales para el mantenimiento y control del caos en el sistema olfatorio (tomado de Freeman, J. W., 1991).

Caos en el sistema olfatorio

El sentido del olfato presenta características interesantes y poco comunes, que nos permiten comprender los procesos sensoriales en general.

Con los trabajos de Walter J. Freeman y colaboradores, se llegó a la conclusión de que el reconocimiento y la percepción de los estímulos olfatorios son posibles porque el sistema nervioso funciona caóticamente.

Esto se observó al analizar registros electroencefalográficos, haciéndose evidente que la actividad eléctrica del sistema nervioso es aleatoria, producto de millones de potenciales de acción disparados de manera independiente; pero en realidad existe un orden subyacente, y lo que impresiona como caótico es la tendencia natural de las poblaciones neuronales a modificar sus patrones de actividad, en respuesta a nuevos estímulos. La variabilidad, como rasgo primario de muchos sistemas caóticos, proporciona al sistema nervioso central la flexibilidad necesaria para responder al entorno generando nueva actividad y evocan-

FIGURA 3

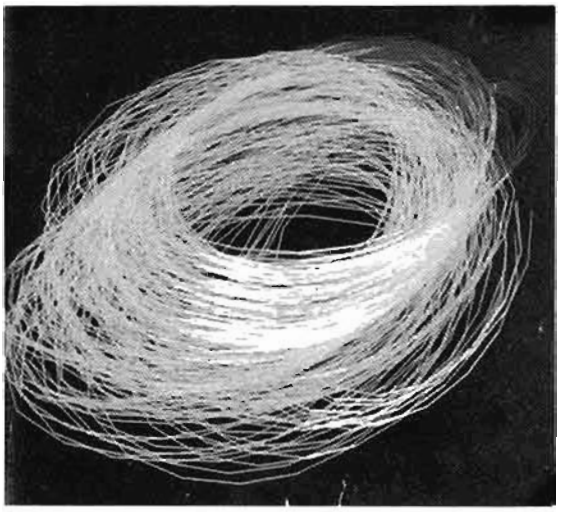


Diagrama de fase realizado de electroencefalogramas generados por un modelo computacional del cerebro, durante la percepción de un olor familiar (tomado de Freeman, J. W., 1991).

do experiencias pasadas.

Freeman y sus colaboradores pudieron observar la actividad neuronal realizando electroneurogramas del bulbo olfatorio en conejos. En los registros se observó una onda común, que aparecía en medio de la graficación de las respuestas a estimulación olfatoria y en los intervalos de descanso. La señal demostró, en cierta medida, otra característica de los sistemas caóticos: la autoorganización. El caos, como base funcional del sistema neurosensorial, se reprodujo sorprendentemente en modelos computacionales del sistema olfatorio (véase figura 3). Se observó que con un solo pulso, equivalente a la estimulación de unos pocos receptores, se encendía todo el sistema y se mantenía una actividad basal muy parecida a la documentada en los electroneurogramas, aun durante la provocación de pulsos equivalentes a nuevos estímulos y después de ella.

El bulbo olfatorio es mucho más que un simple centro de relevo de la vía olfatoria, su funcionamiento es claramente autoorganizado y su actividad electrofisiológica global es fundamental para la dinámica de la percepción. Existen importantes interacciones entre el bulbo olfatorio y la corteza olfatoria; la evidencia de esto se observa cuando, experimentalmente, se produce una desconexión de las dos regiones y, como consecuencia, el caos desaparece, registrándose una actividad eléctrica anormalmente estable.

Los sistemas caóticos presentan una tercera característica muy importante, que es la de producir variaciones en respuesta a estímulos débiles; estos cambios rápidos de estado son llamados transiciones de fase.

En el ser humano, la presencia de caos es una manifestación de la complejidad del sistema nervioso y, por tanto, implica dos cosas: su gran diferencia con una máquina de inteligencia artificial y la posibilidad de crear permanentemente nuevos patrones de actividad nerviosa, poniéndose de manifiesto su plasticidad.

Lecturas recomendadas

Carpenter, R. H. S., "Olfato y gusto", en *Principios de Fisiología Médica*, El Manual Moderno, México, 1986, pp. 235-239.

Coro, F. A. y Otazo, A. S., "Sistemas sensoriales químicos", en *Fisiología Celular y de los Sistemas de Control*, Pueblo y Educación, La Habana, 1982, pp. 210-214.

Dodd, J. y Castellucci, F. V., "Smell and Taste: The Chemical Senses", en *Principles of Neural Science*, Editores, Kandel, R. C. y cols., Elsevier, Inc., New York, E.U., 1991, pp. 513-518.

Engen, T. y Lipsitt, L. P., "Decrement and recovery of responses to olfactory stimuli in the human neonate", *Journal of Comparative Physiology*, Vol. 59, 1963, pp. 312-316.

Freeman, J. W., "The Physiology of Perception", *Scientific American*, Vol. 264, 1991, pp. 34-41.

Mussen, P. H., Conger, J. J. y Kagan, J., "Desarrollo prenatal", en *Desarrollo de la personalidad en el niño*, Trillas, México, 1985, pp. 87-92.

Shepherd, M. G., "The Olfactory Bulb", en *Encyclopedia of Neuroscience*, Editor, Adelman, G., Birkhauser Boston, Inc., 1987, pp. 879-881.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 32-45.

DE LA GRAN EXPLOSIÓN A LA FORMACIÓN DE LA TIERRA

Gustav Andreas Tammann*
Instituto de Astronomía
Universidad de Basilea

Hace unos 16 mil millones de años, con la así llamada Gran Explosión, comenzó la existencia del Universo. Desde aquel entonces, en que era extremadamente denso y caliente, el Universo se ha estado expandiendo y enfriando. A pesar de esta continua expansión, la materia, que en su origen estaba distribuida uniformemente, bajo la influencia de la gravitación se ha aglomerado localmente formando galaxias y estrellas.

Las primeras estrellas estaban constituidas por los elementos más simples, el hidrógeno y el helio. En el interior de las estrellas se formaron eventualmente todos los elementos más pesados retornando parcialmente al espacio interestelar cuando las estrellas se aproximaban a su muerte. Al formarse el Sol y con él nuestra Tierra, hace 4.500 millones de años, se habían "cocinado" todos los elementos posibles.

Muchos de estos elementos son necesarios para la formación de la vida. Sin embargo, antes de que la vida fuera posible, en la joven Tierra tuvo lugar una cadena de complejos procesos físicos y químicos. La vida terrenal se encuentra, por lo tanto, mucho más estrechamente ligada con los procesos cósmicos que lo que normalmente nos imaginamos.

Introducción

En los últimos setenta años ha habido un esfuerzo sistemático por desarrollar y perfeccionar un modelo físico del Universo en su conjunto. De acuerdo con este modelo vivimos en un Universo que tuvo un comienzo y que crece y evoluciona desde entonces.

Muchas partes de este modelo están más allá de nuestra imaginación. A menudo se ha pensado que ello es una desventaja. En ocasiones el modelo se ha reemplazado por otros "más imaginables". Todos ellos tienen la desventaja de incurrir en contradicciones lógicas, matemáticas o físicas. Un modelo que evite contradicciones es muy superior a todos los otros modelos del universo, aunque carezca de la propiedad altamente subjetiva de ser imaginable.

Si nos pudiéramos imaginar todas las partes del Universo éste sería increíblemente primitivo y aburrido, por no decir feo. Nuestra imaginación está enteramente limitada por nuestra experiencia cotidiana. Si jamás hubiéramos estado en la alta montaña no podríamos imaginarnos el "mal de altura". Quien goza de una visión normal de colores no puede imaginarse que un daltónico no pueda distinguir el rojo del verde. Un ciego de nacimiento no puede imaginarse color alguno. Desde que en el curso de la evolución perdimos nuestro sentido de los campos magnéticos, corrientemente no tenemos mucha sensibilidad frente a las fuerzas magnéticas. Sin embargo, existen peces que pueden localizar su presa gracias a mínimos cambios en el campo magnético que no podemos imaginar.

* Traducido por el Dr. Björn Holmgren a partir de la versión en inglés del Dr. G. Rupprecht.

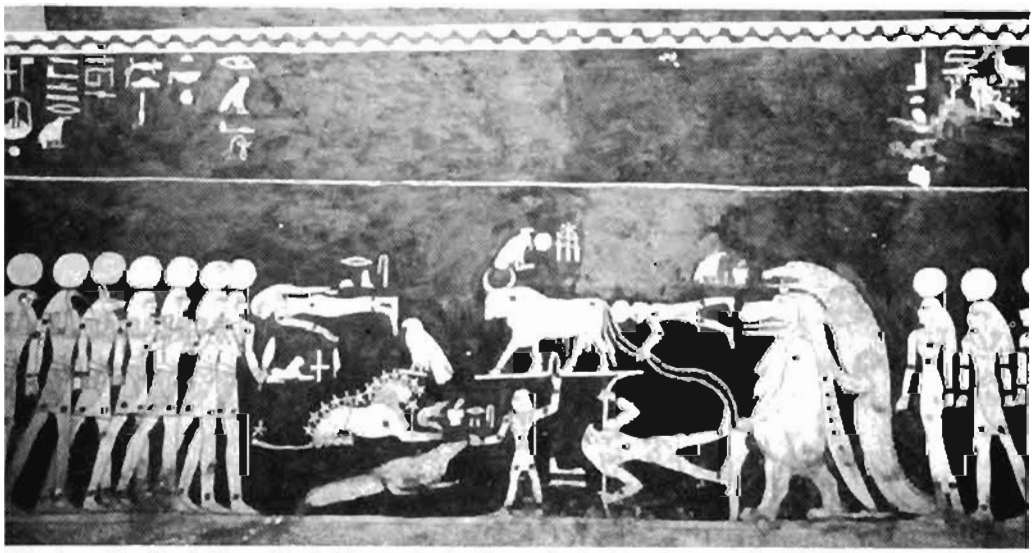
Estos ejemplos muestran que experimentamos la Naturaleza en una forma muy subjetiva e imperfecta. Existen fenómenos reales que usualmente no percibimos y que, por lo tanto, permanecen inimaginables para nosotros. Esto es particularmente cierto cuando pensamos acerca del Universo. Su enorme tamaño es inimaginable, simplemente porque nuestras vidas transcurren a escalas pequeñas. No podemos imaginar las altas temperaturas del centro del Sol o de las estrellas porque sólo podemos sobrevivir dentro de limitados márgenes de temperatura. Nos parecen extrañas las fuerzas gravitacionales enormes porque la materia en nuestro sistema solar no se encuentra en sitio alguno tan densamente compactada como, por ejemplo, en un hoyo negro.

Por ello, no debemos juzgar a un modelo de mundo de acuerdo con su imaginabilidad, sino en función de su carencia de contradicciones. ¿Es la falta de contradicciones la propiedad única y fundamental que debamos esperar de un modelo de mundo? No. Existe otra clave, aún más poderosa, acerca de la corrección de una teoría. Es la predicción correcta de un fenómeno, no observado hasta entonces, pero que es demostrado con posterioridad. El modelo de mundo que se concibe actualmente ha sido capaz de realizar unas cuantas predicciones que se han podido verificar. Esta es la razón principal por la que podemos afirmar con confianza que hoy entendemos algunas propiedades básicas de nuestro Universo y de su evolución.

Pero ello no debe tornarnos arrogantes. Existen muchos fenómenos que aún hoy día no podemos explicar suficientemente, en particular el origen de la vida. Es también posible que cosas que hoy consideramos indudablemente correctas, en el futuro las consideremos sólo como aproximaciones. Seguramente existen leyes importantes en el cosmos que aún no han sido reconocidas como tales. Por lo tanto, debemos estar siempre preparados, si no para demoler del todo nuestros modelos, para revisarlos continuamente. La mejor comprensión del Universo es un desafío permanente para la mente humana.

La Gran Explosión

Ya hemos anotado que nuestro Universo crece de tamaño. El Universo comenzó su existencia en una explo-



Mural en el techo de la tumba del faraón Seti I. Ilustra las intrincadas relaciones entre la astronomía y la mitología egipcias. El alma del faraón era una estrella viviente y su tumba, un vehículo para viajar en los cielos.

sión gigantesca, la Gran Explosión (conocida en inglés como el *Big Bang*). Desde entonces se ha estado expandiendo. Esto se sabe desde 1929, cuando Hubble demostró que todas las galaxias se alejan de nuestra Vía Láctea. La velocidad de alejamiento es tanto mayor cuanto más distantes se encuentran estas galaxias de nosotros. Esta recesión determina que las líneas espectrales de dichas galaxias se desvíen hacia el rojo. La desviación hacia el rojo y, por lo tanto, la velocidad de alejamiento, puede medirse con relativa facilidad y sin dudas mayores. Las mayores velocidades se observan en galaxias muy luminosas que se encuentran a las distancias más extremas (las así llamadas quasares); ellas alcanzan velocidades superiores a los 200 mil km/seg.

Del hecho de que todas las galaxias se alejen de nosotros podríamos concluir que nos encontramos en el centro de dicha expansión. Esta sería una conclusión errónea, que nos muestra cuán propensos somos a que nuestra imaginación nos haga equivocarnos. Una simple consideración geométrica demuestra que la misma ley de Hubble es válida para cualquier observador, en cualquier galaxia. ¡No tenemos que preocuparnos de estar sentados en el centro de la expansión y adheridos a una visión pre-copernicana del mundo!

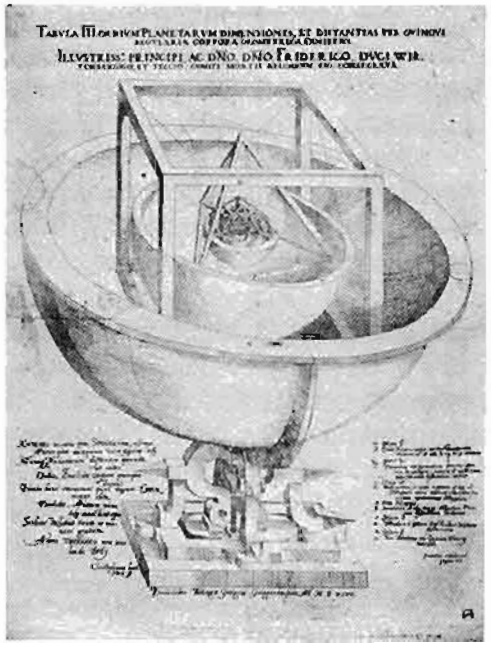
Esta expansión no puede haber estado sucediendo desde un tiempo indefinido, porque en ese caso las distancias entre las galaxias serían ahora infinitas. Por el contrario, conociendo la velocidad actual de expansión (la así llamada constante de Hubble) podemos calcular el tiempo en que todas las galaxias (más exactamente, la materia que constituye las galaxias de hoy) se encontraban reunidas en un punto. Las mejores determinaciones de la constante de Hubble indican que nuestro Universo se ha estado expandiendo durante aproximadamente 20 mil millones de años.

Este valor de 20 mil millones de años no puede ser exacto ya que supone (equivocadamente) que el ritmo de expansión ha sido siempre uniforme. De hecho, la fuerza de atracción gravitacional exige la realización de trabajo durante la expansión. Por ello, la expansión, muy rápida en el comienzo, fue haciéndose más lenta, y el Universo ha alcanzado su tamaño actual en menos de 20 mil millones de años. Se ha invertido mucho esfuerzo en la determinación observacional directa de este frenado, pero hasta ahora sin éxito alguno. Puede hacerse una deducción indirecta estimando la densidad material promedio en el Universo (es decir, en un volumen muy grande que todavía puede observarse) y de dicha estimación calcular el frenado por acción gravitacional. Siguiendo este procedimiento se llega a una edad del Universo de 15 mil millones de años, cuya incertidumbre es de aproximadamente 3 mil millones de años. Esto significa que la Gran Explosión probablemente ocurrió entre 12 y 18 mil millones de años atrás. Por razones de simplicidad, desde ahora en adelante, utilizaremos una edad de 15 mil millones pero recordando siempre que se trata de una cifra que requiere una ligera revisión.

A primera vista, este tiempo de 15 mil millones de años, parecería inimaginablemente largo. Podría incluso dudarse de si es permisible extrapolar nuestro vocablo "tiempo" para extenderlo a estos eones tan largos. Sin embargo, este tiempo es muy corto si lo comparamos con la edad de nuestro planeta Tierra. Las rocas más antiguas de la Tierra tienen una edad de 4 mil millones de años. Es muy impresionante que la edad del Universo sea apenas cuatro veces mayor que la de algunas piedras que podemos encontrar en la superficie de la Tierra. La juventud de nuestro Universo es tanto más sorprendente considerando lo desamparado y perdido que se encuentra nuestro planeta en el espacio. Nuestro Universo obser-

vable es trillones de veces mayor que el diámetro de la Tierra, pero su tiempo ha sido apenas cuatro veces mayor a la edad de la Tierra. Cabe preguntarse: ¿Cómo pudo el Universo dar origen a un cuerpo tan complejo y diverso como la Tierra en tan corto tiempo? A menudo la gente se pregunta por qué hubo una Gran Explosión. Aunque nos sorprenda, quizás los científicos jamás puedan responder a tal interrogante. Parece paradójico que podamos señalar la fecha de la Gran Explosión sin ser capaces de describir el estado del mundo en aquel momento. La razón de ello es que la materia en ese joven Universo, indefinidamente denso y caliente, existía en estados energéticos completamente desconocidos para nosotros, respecto a los cuales la física de hoy no tiene ni la más mínima idea. En el momento en que el Universo tenía la edad de sólo 1 segundo (t = 1 s) era extremadamente caliente y denso, pero su estado físico puede describirse porque dichas temperaturas y densidades aún pueden producirse experimentalmente en grandes aceleradores de partículas como el del Centro Europeo de Investigación Nuclear (CERN) en Ginebra , Suiza. A t ≈ 0.1 s la situación ya es más difícil, y las dificultades crecen exponencialmente a medida que uno se aproxima al centésimo, milésimo o millonésimo de segundo de la Gran Explosión. Finalmente, a t = 10^{-35} segundos la densidad es tan alta que la materia obedece a leyes totalmente nuevas. Muchos teóricos trabajan hoy en dichas leyes, pero como no se pueden realizar experimentos ni observaciones relativas a época tan temprana y remota, la situación sigue cargada de especulaciones. Se podría argumentar que el Universo se originó a partir de una fluctuación cuántica accidental, pero entonces estaremos enfrentados a la pregunta de si las leyes de la mecánica cuántica ya existían a t = 0.

Las teorías de hoy acerca del Universo neonato favorecen la idea de una



En 1596, Johannes Kepler (1571-1630) publicó este esquema de las órbitas planetarias basado en la combinación de la idea de Platón de los cinco poliedros irregulares, con la hipótesis de los planos esféricos en los cuales se suponía viajaban los planetas.

así llamada fase de inflación. De acuerdo con estas teorías la expansión del Universo durante los primeros 10^{-35} no fue lineal como lo es hoy día, sino muchísimo más rápida. Esta fase exponencial o inflacionaria podría explicar causalmente algunas propiedades del Universo de hoy, que de otro modo debieran aceptarse como accidentales. Más aún, el modelo inflacionario predice la existencia de más materia en el Universo que la observada en las estrellas y galaxias luminosas. Esto significa que debe haber más materia oscura que hasta ahora no es observable. Esta es una clara predicción de la teoría de la inflación que debiéramos ser capaces de comprobar con instrumentos modernos. Es realmente posible abrigar alguna esperanza de poder verificar o rechazar nuestros conceptos acerca del Universo a la edad de 10^{-35} segundos. Pero será siempre imposible ofrecer una descripción exacta del Universo a la edad precisa de 0 segundos.

El Origen de los primeros elementos

Cuando el Universo contaba con una edad de sólo una fracción de segundo,

la materia existía en una forma que no podemos imaginar. Los teóricos hablan de partículas exóticas a las que llaman "bosones" o "partículas de Higgs". Que estos conceptos no son del todo absurdos lo demuestra la predicción de los así llamados bosones W y Z (cuyo descubrimiento fue honrado con el premio Nobel de Física de 1984, otorgado a C. Rubbia y a S. van der Meer, del CERN). Las propiedades de estas partículas, que nos parecen un tanto locas, son responsables de una buena parte de las enormes y finalmente insuperables dificultades que hemos mencionado en la sección anterior.

Una vez que el Universo había alcanzado la edad de un minuto, habiéndose enfriado hasta unos mil millones de grados, ya era comparativamente simple. En ese entonces toda la materia que más tarde habría de condensarse en estrellas y galaxias existía en forma de partículas nucleares normales (protones y neutrones). Hoy estamos acostumbrados a su combinación en los núcleos de los elementos químicos. Sin embargo, a temperaturas superiores a los mil millones de grados, dichas partículas se desplazan a tales velocidades que cualquier tendencia a combinarse se hace obsoleta debido a una colisión subsiguiente. Sin embargo, si la temperatura cae bajo este límite se pega un protón con un neutrón para formar el deuterio (^{2}D), isótopo del hidrógeno. Si otro protón se une a este núcleo se forma Helio liviano (^{3}He) y con otro neutrón adicional, Helio normal (^{4}He).

Estas reacciones son tan bien conocidas para un físico atómico moderno que él puede calcular exactamente las velocidades de formación de ^{2}D, ^{3}He y ^{4}He. El resultado es una mezcla de 76% de protones puros (que se combinan más tarde con electrones para formar hidrógeno normal), 24% de Helio (^{4}He), y las partículas intermedias ^{2}D y ^{3}He constituyen solamente una fracción minúscula. La primera síntesis de elementos ha terminado tres minutos después de la Gran Explosión.

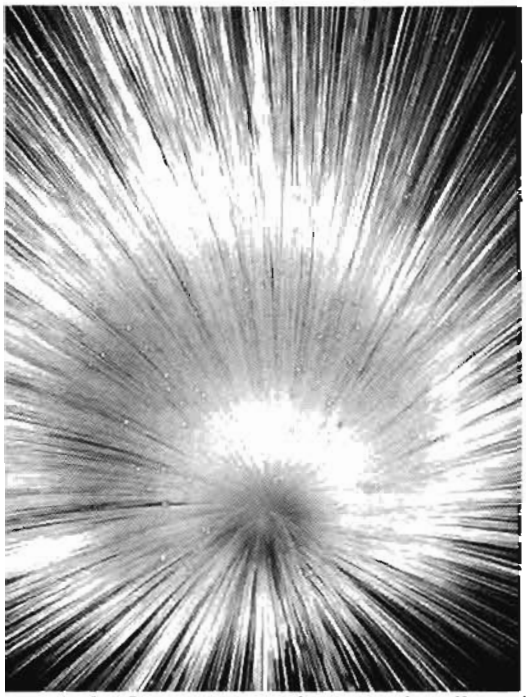
Este escenario lleva a la predicción de que las nebulosas gaseosas entre las estrellas (cuya composición química original se ha alterado sólo muy levemente) consisten esencialmente en un 76% de hidrógeno y 24% de helio. Esta predicción está muy bien confirmada por observaciones de nebulosas brillantes tanto de nuestra Vía Láctea como de otras galaxias externas. Los espectros observados incluso demuestran las cantidades calculadas de ^{2}D y ^{3}He. El caso del deuterio es particularmente importante porque parece imposible producir este frágil isótopo en las fases posteriores del Universo. Las observaciones actuales de los elementos más simples y livianos requieren ineludiblemente de una fase temprana, extremadamente densa y caliente del Universo. Esto debiera llevar a la conclusión de la necesidad de una Gran Explosión aunque todavía no se hubiera observado expansión alguna.

Para comprender mejor la síntesis de los elementos más livianos tenemos que considerar dos cuestiones adicionales. La primera: ¿por qué hay un exceso de 76% de protones (vgr. hidrógeno), y por qué no se transformó toda la materia en helio en las fases iniciales del Universo? Esto se explica por el hecho de que son necesarios dos protones y dos neutrones para la formación de un átomo de helio; sin embargo, los dos tipos de partículas no son igualmente abundantes. El neutrón es ligeramente más pesado que el protón; por consiguiente, se requiere más energía para crearlo, originándose menos neutrones que protones en el campo energético del joven Universo. La abundancia de helio es, por lo tanto, una simple consecuencia de las diferentes cantidades de protones y neutrones.

La segunda pregunta se refiere a por qué se detuvo la síntesis inicial de elementos en el helio y todos los protones y neutrones disponibles no se combinaron para formar los demás ele-

mentos hasta el (^{56}Fe). Esto habría sido atractivo, porque se habría liberado energía. Pero el átomo que consiste en cinco partículas es, "por azar", altamente inestable, decae antes de que se pueda unir otra partícula. Lo mismo es válido para un átomo formado por ocho protones/neutrones. La inestabilidad de estos dos átomos constituyó una barrera infranqueable para la formación de los elementos más pesados.

El hecho de que la síntesis temprana de elementos, también llamada síntesis primordial de elementos, deje una gran fracción de protones libres, es de máxima importancia para la evolución ulterior del Universo. La mayor parte de la luminosidad de las estrellas se produce por conversión del hidrógeno en helio en el centro de las mismas. Nuestro Sol se gana la vida de igual modo. Si todo el hidrógeno del Universo se hubiera transformado en helio a los tres minutos de la Gran Explosión, el Universo habría carecido de su principal fuente de energía y habría permanecido en la oscuridad. Del hecho de que el neutrón es ligeramente más pesado que el protón ha surgido una de las incontables condiciones para la existencia de la vida en la Tierra.



El Universo se torna transparente

En la sección anterior describimos que el Universo se había enfriado suficientemente como para hacer posible que los protones y los neutrones se combinaran formando los elementos más simples. Pero estaba aún demasiado caliente para que los electrones pudieran entrar en órbitas alrededor de los núcleos atómicos. A t = 3 minutos volaban aún libremente en el Universo y chocaban continuamente con cuantos de luz (fotones). Ello impedía que la luz se propagara haciendo que el Universo joven fuera opaco.

Después de aproximadamente medio millón de años, con la expansión correspondiente, la temperatura del Universo había caído a unos cuantos miles de grados; era suficientemente fría como para que los electrones entraran a los sitios que hoy ocupan. La materia del Universo, que hasta entonces estaba ionizada, se hizo neutra y la luz pudo propagarse libremente en el Universo.

Esta conclusión debe entenderse literalmente: si se supone que los fotones, es decir la luz, emitidos por el Universo a una temperatura de unos 3 mil grados, viajan libremente desde esa época, algunos de ellos debieran llegar a la Tierra hoy. Ello implica que debiéramos ser capaces de observar un "punto caliente" - la Bola de Fuego Primordial en el cielo.

De esto surge de inmediato una primera pregunta: ¿En qué dirección debemos mirar para observar esta Bola de Fuego? Tendremos la respuesta si consideramos que mirar hacia esta lejana distancia significa que estamos mirando hacia el pasado, debido a la velocidad finita de la luz (300 mil km/s). A los objetos distantes no los vemos como son hoy, sino como eran cuando emitieron la luz que hoy vemos en nuestros telescopios. Vemos a nuestras galaxias vecinas con el aspecto que te-

nían hace un millón de años; las más distantes se nos aparecen como eran hace mil millones de años, y los quasares más distantes nos dan cuenta sobre el estado original de galaxias que existieron hace más de 10 mil millones de años. No importa en qué dirección aparezcan. Miramos hacia el pasado en todas direcciones. Cuando queramos ver a la Bola de Fuego Primordial, que existió hace unos 15 mil millones de años sólo tenemos que mirar hacia el pasado; la dirección no es importante. Por el contrario: la Bola de Fuego Primordial debe verse igual en todas las direcciones.

La siguiente pregunta no se hace esperar: ¿Por qué todo el cielo de noche (y también de día) no resplandece de rojo como correspondería a una temperatura de 3 mil grados? La razón es simple. La expansión del Universo estira a las ondas de luz en su largo viaje a través del espacio y el tiempo. Ellas nos llegan con longitudes de onda muchísimo mayores que cuando fueron emitidas por la Bola de Fuego Primordial. Hablando en términos de fotones, ellos han perdido la mayor parte de su energía. Esperamos entonces que el cielo resplandezca como un cuerpo cuya temperatura se encuentre a algunos grados sobre el cero absoluto (-273° C). Por lo tanto debemos buscar a estos fotones primordiales no en la región visible del espectro sino mediante una antena de radio, en la región de longitudes de onda de milímetros.

Estos conceptos fueron vagamente reconocidos por George Gamow en 1946. Él predijo que los fotones de la Bola de Fuego Primordial debieran ser observables en el rango de las longitudes de onda de milímetros. En 1965 Arno Penzias y Robert Wilson tuvieron éxito en demostrar la existencia de la así llamada Radiación Cósmica de Fondo (RCF) (en inglés *Cosmic Background Radiation*, CBR). Con ello se confirmó el modelo de la Gran Explosión y su descubrimiento fue honrado con el premio Nobel de 1978.

Actualmente se invierten muchos esfuerzos en medir con precisión la RCF. Se encuentra en operación un satélite, el COBE, cuyo único objetivo es medir dicha radiación. La RCF corresponde a un cuerpo radiante a una temperatura de sólo 2.75° Kelvin (es decir, 2.75 grados sobre el cero absoluto), pero hay increíblemente muchos fotones de fondo. A una densidad de aproximadamente 400 fotones por centímetro cúbico el número de fotones de la RCF sobrepasa con mucho a otras fuentes de "luz" en el Universo. Esta es una de las razones básicas por las cuales es imposible explicar la RCF de otro modo que como resultado de la Bola de Fuego Primordial. Mas aún, la RCF tiene las propiedades que se le habían predicho: un espectro que corresponde exactamente al de un "cuerpo negro" y el de ser completamente independiente de la dirección de observación, es decir de ser "isótropa". Su intensidad permanece uniforme, en diferentes direcciones, hasta una precisión de un cienmilésimo. Volveremos a este punto más adelante.

El origen de las estructuras

Tal como vimos en la sección anterior, el Universo es transparente desde hace 500 mil años. La transición desde ser opaco a ser transparente no tuvo consecuencias para su expansión. El Universo continuó expandiéndose, lo que llevó necesariamente a ulterior enfriamiento y enrarecimiento de la materia en él contenida. Como ya hemos visto, esta materia consistía casi exclusivamente de hidrógeno y de helio (podemos aquí ignorar la posible existencia adicional de materia exótica). Sin embargo, estos dos elementos no pueden formar entre sí compuesto químico alguno, lo que en otras palabras significa que el Universo en aquel entonces, desde el punto de vista de un químico, habría sido de lo más aburrido. Más

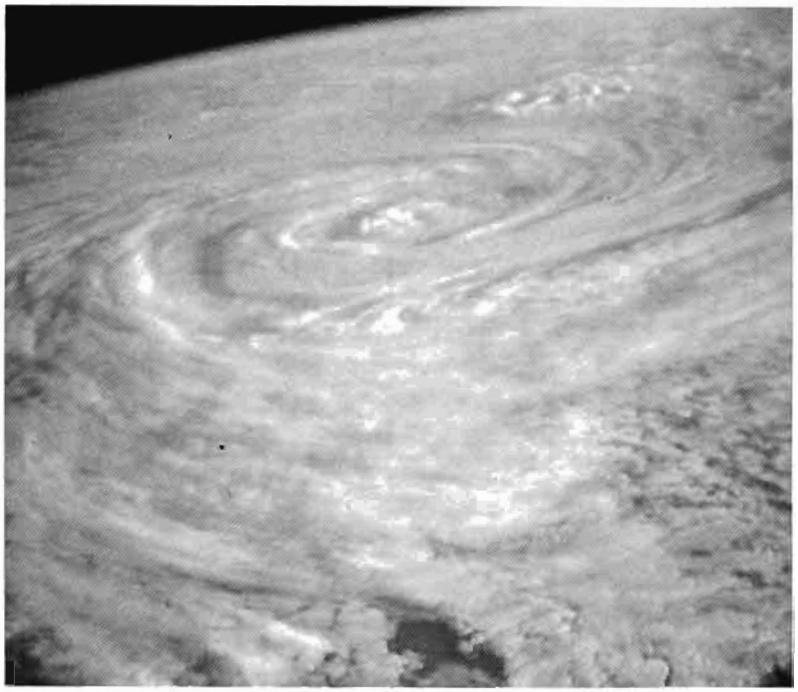
aún, el hidrógeno y el helio se encontraban distribuidos "regularmente" en el espacio y cada vez más diluidos. ¿Cómo podría la materia condensarse formando objetos del tamaño de una bola de tenis, una estrella o incluso una galaxia?

La respuesta a esta pregunta estriba en el hecho de que en realidad la materia no estaba distribuida regularmente, es decir, de acuerdo a reglas estrictas, sino de acuerdo al azar. Esto significa que había sitios en que la densidad era mayor que el promedio y otros en que la densidad era menor que el promedio. En las áreas relativamente más densas, una fuerza gravitatoria adicional se ejercía permanentemente en contra de la expansión, produciendo finalmente una contracción local. Por lo tanto, es muy factible que se formen condensaciones locales aun en un gas en expansión global. Uno puede simular en grandes computadoras la formación de condensaciones o "estructuras", como yo las llamaré de ahora en adelante.

El principal problema para comprender el origen de las estructuras consiste, sin embargo, en que se dispone de un tiempo menor que el calculado de acuerdo con el modelo. Veremos inmediatamente por qué hay sólo 2 mil millones de años disponibles para la formación de las galaxias y las primeras estrellas. Pero parece que las condensaciones no crecen suficientemente rápido en el computador. Debieran existir procesos adicionales no lineales, más complejos, que aceleren la formación de estructuras. Aquí podría ser de alguna ayuda la antes mencionada "materia exótica". Esta es otra razón por la que a muchos astrofísicos les gusta creer en la existencia de esta materia, aún no demostrada. Para ser honestos: debemos aceptar que todavía no entendemos la fase de formación de estructuras en todos sus detalles.

Otra observación nos muestra, sin embargo, que nuestra visión actual acerca de la formación de estructuras es correcta, por lo menos en su concepto básico. Si el gas, que originalmente se encontraba distribuido en forma regular, se aglomerara lentamente en condensaciones mayores, esto ocasionaría alteraciones sustanciales en el ritmo de expansión. Debieran incluso existir sitios en que la materia no se está expandiendo sino confluyendo. Uno de los éxitos de los últimos años ha sido la observación de la disminución en la velocidad de fuga de las galaxias en la vecindad de grandes cúmulos de galaxias. Nuestra Vía Láctea, por ejemplo, debería tener una velocidad de recesión relativa al cúmulo de Virgo, que es el gran cúmulo de galaxias más cercano, de 1200 km/seg, de acuerdo con su distancia de 22 Megaparsec (= 72 millones de años luz). Sin embargo se observa una velocidad de sólo 980 Km/seg. La gravedad adicional del cúmulo de Virgo, por lo tanto, nos desacelera en 220 km/seg. ¿Nos atrapará finalmente el cúmulo de Virgo? El cálculo nos demuestra que esto no sucederá, porque aunque Virgo nos atrae continuamente, la desaceleración disminuye, lo que nos da una oportunidad de escapar de Virgo. Sin embargo, muchas de las galaxias situadas entre nosotros y el cúmulo de Virgo serán eventualmente tragadas por éste.

Vemos que la gravedad es una fuerza increíblemente poderosa. Parece que nunca será capaz de conquistar a la expansión en su conjunto, pero domina en la determinación de fluctuaciones de densidad. Pero ¿hasta donde alcanzará la contracción gravitacional? ¿Hasta el colapso total, es decir a la etapa del hoyo negro? Aunque pareciera que los hoyos negros pudieran originarse bajo circunstancias especiales, generalmente hay otras fuerzas que se oponen a la contracción, balanceando al cuerpo en contracción. En los cúmulos de galaxias esta fuerza resulta del calentamiento causado por la contracción. Esto significa que las gala-



xias vuelan girando en un cúmulo tanto más rápido cuanto mayor es la contracción del cúmulo. De acuerdo con la ley de conservación de la energía, las galaxias tienen sus máximas velocidades cuando vuelan hacia el centro de sus cúmulos. Por lo tanto no hay peligro de que se queden pegadas en el centro. Las galaxias en contracción están siendo balanceadas por su rotación: una galaxia que está disminuyendo de tamaño comienza a rotar cada vez más rápido como un patinador realizando una pirueta sobre el hielo. En las estrellas y, por lo tanto también en nuestro Sol, es la energía nuclear producida en su centro la que actúa oponiéndose a la contracción ulterior. Finalmente, en "piedras frías", como nuestra Tierra, la gravedad está balanceada por la repulsión de electrones cargados negativamente que circundan a los núcleos atómicos. Vemos que la Naturaleza tiene a varios oponentes de la gravedad que pueden evitar o, por lo menos, posponer el colapso gravitacional total. Podemos considerarnos muy afortunados; de otro modo se habrían formado puros hoyos negros en vez de estructuras, y las estrellas nunca se hubieran encendido.

Ahora bien, ¿por qué se ha dispuesto de sólo 2 mil millones de años para la formación de estructuras? Simplemente porque nuestra Vía Láctea tiene una edad de 13 mil millones de años. Debe haberse formado ya a 2 mil millones de años de la Gran Explosión. La diferencia de 2 mil millones de años es todavía bastante incierta: puede tratarse de mil o 4 mil millones de años. En todo caso el tiempo invertido en la formación de estructuras es muy corto. El problema se agrava por el hecho de que la RCF primordial es tan isótropa. Si las semillas para la formación de galaxias y cúmulos de galaxias ya hubieran estado presentes a t = 500 mil años, seríamos capaces de reconocerlas como una suerte de "granulosidad" en la bola de fuego primordial. La uniformidad (isotropía) de la RCF nos obliga a concluir que en aquel tiempo a lo sumo habrían mínimas fluctuaciones de densidad. Esto complica mucho las cosas: a t = 500 mil años las fluctuaciones de densidad serían despreciablemente pequeñas. ¡A los 2 mil millones de años nuestra Vía Láctea ya había nacido!

Conocemos la edad de nuestra Vía Láctea con bastante confiabilidad con base en observaciones de sus objetos más antiguos, los así llamados cúmulos de estrellas globulares. Varios métodos permiten asignarles una edad de unos 13 mil millones de años. La edad de nuestra Vía Láctea determinada de este modo es tanto más importante cuanto nuestras galaxias vecinas también contienen cúmulos globulares muy

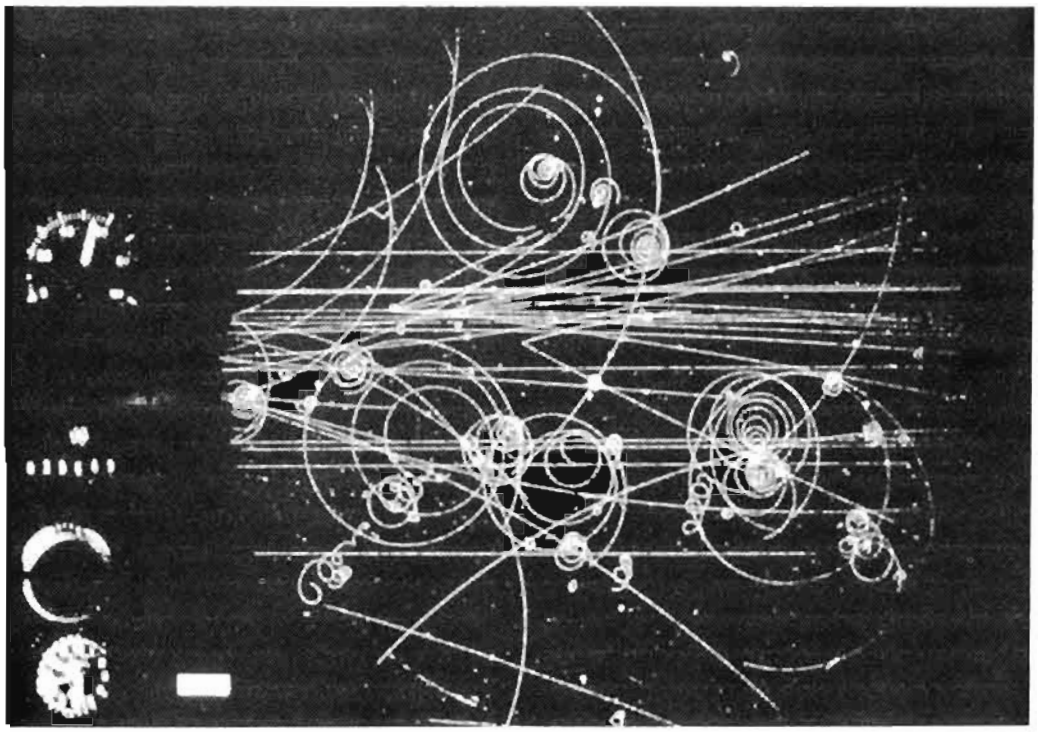
semejantes. Éstos están tan distantes como para ser resueltos en estrellas individuales, pero sus propiedades globales coinciden tan bien con los de nuestra Vía Láctea que por lo menos algunos de ellos deben tener aproximadamente la misma edad. Otras observaciones apoyan la idea de que una gran parte de todas las galaxias se formaron en un margen de tiempo relativamente corto. Este resultado concuerda razonablemente con el cuadro que hemos bosquejado de la formación de estructuras.

Una consecuencia del hecho de que las galaxias y sus estrellas se formaron alrededor de 2 mil millones de años después de la Gran Explosión es la siguiente: si miráramos suficientemente lejos al interior del Universo -lo que significa que miramos suficientemente lejos hacia el pasado- debiéramos ver al Universo en un estado en que aún no contenía galaxias luminosas. Por lo tanto no debemos ver galaxia alguna más allá de una cierta distancia límite (correspondiente a una edad del Universo de 2 mil millones de años). Es fascinante darnos cuenta que posiblemente ya hemos alcanzado este límite.

Como hemos mencionado anteriormente, los quasares pueden observarse en gran número y hasta distancias enormes. Sin embargo, hasta ahora no ha sido detectado, a pesar de todos los esfuerzos que se han hecho, ni un solo quasar con una desviación hacia el rojo correspondiente a una velocidad de recesión equivalente a más del 90% de la velocidad de la luz. El "tiempo de la mirada al pasado" hasta este límite corresponde justamente a los 13 mil millones de años esperados. Una de las tareas más importantes para la nueva generación de telescopios con espejos de diámetros superiores a los 10 m será el de decidir si este límite es real o ha sido simulado por efectos de selección no controlados. En todo caso ¡este límite debe encontrarse en algún lugar en el pasado!

La síntesis de los elementos pesados

Las galaxias que se formaron alrededor de 2 mil millones de años después de la Gran Explosión por supuesto estaban constituidas casi exclusivamente por hidrógeno y helio. Las primeras estrellas en las galaxias estaban formadas a partir de estos gases, como ya lo hemos visto en el caso de los cúmulos globulares. Extrañamente, el ritmo de conversión del gas en estrellas fue muy diferente en distintas galaxias. En algunas galaxias prácticamente la totalidad del gas se condensó rápidamente en innumerables estrellas; éstas son las galaxias a las que hoy, por su aspecto, denominamos "elípticas". En muchas galaxias menores la fuerza gravitatoria sólo lentamente logró formar estrellas a partir de nubes gaseosas únicas; a éstas las denominamos galaxias "irregulares". Las nubes magallánicas, en nuestra inmediata vecindad, son ejemplos típicos de galaxias irregulares. En estas galaxias existe aún abundante gas disponible para la formación de estrellas. Las galaxias espirales, una clase a la que pertenece nuestra Vía Láctea, forman parte de un grupo intermedio,



Trazos dejados en una cámara de niebla por las partículas resultantes de la colisión de dos núcleos atómicos.

en las que alrededor de un 10% de su masa se encuentra en forma de gas, lo que permite que en ellas se formen estrellas, aunque a un ritmo reducido.

No parece que un 10% de materia prima para formar nuevas estrellas sea mucho. ¿Es que las galaxias espirales están cerca de su fin? La respuesta es que no, y que incluso en las galaxias espirales, hoy carentes de gas libre, no se puede excluir la posibilidad de que aún haya cierta generación de estrellas. La razón para ello es que el envejecimiento y la muerte de las estrellas hace retornar parte de su masa al espacio interestelar. Parte de la materia que hoy vemos ligada a las estrellas es devuelta al reservorio original, del cual pueden nacer futuras generaciones de estrellas. La fracción de masa estelar que retorna es fuertemente dependiente de la masa original. Estrellas más livianas o tan pesadas como nuestro Sol se llevan la mayor parte de su masa a sus tumbas, es decir, a su estado de estrellas enanas blancas. Las estrellas más pesadas, sin embargo, pueden devolver la mayor parte de su masa. Una estrella siete veces más pesada que el Sol devuelve alrededor del 80% de su masa original antes de convertirse en una enana blanca. Además, estas estrellas masivas devuelven su material con rapidez, porque agotan su "combustible" muy violentamente y sufren una muerte prematura.

El aspecto más importante es que el material retornado es cualitativamente diferente al material de construcción original. Ya hemos mencionado que las estrellas reponen la mayor parte de sus pérdidas energéticas por la transformación de ^{1}H (hidrógeno) en ^{4}He (helio). Esto significa que el ^{4}He se acumula primero en el centro de la estrella y más tarde también en sus capas exteriores, a expensas del ^{1}H, del que finalmente no quedará nada. La estrella entonces encenderá su núcleo, consistente en su totalidad por ^{4}He, y en esta fase de ignición tres núcleos de ^{4}He se combinan para formar ^{12}C (carbono). Fijaciones adicionales de núcleos de ^{4}He forman, paso a paso los elementos más pesados ^{16}O (oxígeno), ^{20}Ne (neón), ^{24}Mg (magnesio), ^{28}Si (silicio), ^{32}S (azufre) y más allá, hasta el ^{56}Fe (fierro). En cada paso se libera algo de

energía, lo que pospone la muerte de la estrella. Pero ninguno de estos pasos es completo, lo que significa que al término de su vida la estrella contendrá remanentes sustanciales de los diversos elementos nombrados. Lo mismo vale para las "cenizas" que la estrella devuelve al espacio interestelar y que se mezclan con los gases originales ^{1}H y ^{4}He. Con ello se modifica la química de la galaxia total, aumentando su contenido de elementos más pesados.

Salta a la vista que la serie de elementos arriba enumerada contiene sólo núcleos cuyo número de partículas constituyentes es divisible por cuatro. Especialmente llama la atención que el ^{14}N (nitrógeno), que es crucial para la vida, no esté siendo producido. Este elemento, así como muchos otros, son producidos por procesos nucleares en estrellas de la segunda generación que desde su comienzo contenían no sólo ^{1}H y ^{4}He sino, además, algunas de las cenizas de la primera generación. El hecho de que nuestro Sol y todos los planetas del sistema solar contengan prácticamente todos los elementos de la tabla periódica significa que por lo menos dos generaciones de estrellas tienen que haber retornado sus cenizas al espacio interestelar antes de que pudiera formarse nuestro Sol (hace 4,550 millones de años, como veremos más adelante). Esto es de máxima importancia para la vida terrestre.

Este escenario no vale para los elementos más pesados que el ^{56}Fe, porque su formación no aporta, sino que demanda energía. Esta energía en exceso sólo aparece disponible bajo condiciones extremas, como las que prevalecen en el interior de algunas explosiones de supernovas. Las supernovas son estrellas muy masivas, con masas mayores a ocho masas solares, que no pueden encontrar una muerte pacífica como enanas blancas, sino que explotan cuando se agota su combustible. Ellas no sólo forman los elementos pesados hasta el ^{238}U (uranio), sino que sacuden al medio interestelar asegurando una buena mezcla de elementos.

Por supuesto que los astrónomos querrían encontrar en nuestra Vía Láctea las primerísimas estrellas que contengan exclusivamente ^{1}H y ^{4}He, pero hasta ahora no han tenido un éxito convincente. Obviamente la formación de estrellas muy masivas se vio favorecida, durante la fase temprana de la Vía Láctea, por alguna razón desconocida. Estas estrellas devolvieron su material procesado (cenizas) casi inmediatamente al medio interestelar y hoy son apenas observables como estrellas enanas blancas. Otras observaciones también dan apoyo a la idea de que la química de la Vía Láctea evolucionó mucho más rápidamente en sus comienzos que en sus fases más tardías. La explicación de esto en detalle sigue siendo una tarea para el futuro.

Los elementos más pesados que los ^{1}H y ^{4}He primordiales juegan un papel fundamental en nuestra Tierra y en la vida que en ella se sustenta. Por lo tanto, la síntesis nuclear previa es una condición básica para su mera existencia. El silicio contenido en un peñasco, así como el fierro que usamos para hacer clavos o el oro del anillo que usted porta en algún dedo, se formaron en el interior de una estrella. La energía depositada por una supernova en el uranio podemos hoy liberarla por fisión nuclear. De hecho, como seres humanos, aparte del hidrógeno proveniente de la Gran Explosión, consistimos sólo de materia elemental preparada una vez en las estrellas.

El origen del sistema solar y de la Tierra

Alrededor de 10 mil millones de años después de la Gran Explosión, es decir, hace aproximadamente 5 mil millones de años, había una nube en el lugar en que hoy se encuentra nuestro sol, y que consistía en su mayor parte

de hidrógeno y helio. Esta nube ya estaba enriquecida con todos los elementos pesados que se formaron gracias a los procesos descritos en la sección anterior. Accidentalmente comenzó a predominar la gravedad en esta nube, y ella comenzó a contraerse, transformándose en una bola de gas cuya densidad creció y su temperatura se elevó debido a esta misma contracción. Finalmente la temperatura en el centro de esta bola de gas alcanzó el valor necesario para la ignición y conversión del ^{1}H ardiente en ^{4}He. La bola de gas se convirtió en una brillante estrella. Nuestro Sol había nacido. La contracción del sol primordial enfrentó un problema substancial. Originalmente la nube gaseosa estaba rotando lentamente; los físicos dicen que poseía momento angular. Debido a una ley fundamental de conservación, el momento angular no puede simplemente desaparecer, por lo que una nube de gas que se está encogiendo tiene que rotar cada vez más rápidamente. Finalmente, el sol primordial, en su proceso de contracción y rotación perdió sus capas más externas, las cuales contribuyeron a formar los planetas del sistema solar. Físicamente, el sentido de los planetas es hacerse cargo del exceso de momento angular. De hecho, el 90% del momento angular total del sistema solar está contenido en el movimiento orbital de los planetas.

El problema del momento angular es un problema general durante la formación de las estrellas. Muchas de ellas lo resuelven formando pares, las denominadas estrellas dobles o binarias. Sin embargo, muchas estrellas únicas probablemente lo resolvieron formando planetas, como fue el caso del Sol. Por lo tanto, probablemente los planetas no son una rareza en nuestra Vía Láctea. Se especula mucho si pudiera haberse formado vida también en estos planetas. Nuestros conocimientos actuales, de que no hay vida en ningún otro planeta, ni en las numerosas lunas que existen en el sistema solar, nos muestran que para el origen de la vida, en todo caso, es necesario algo más que un simple y frío cuerpo celestial.

Aunque la formación de los planetas ocurrió en época relativamente reciente y en nuestra inmediata vecindad, aún no la entendemos completamente; creemos hoy que los planetas no se desprendieron del sol primordial como objetos únicos; probablemente hubo al comienzo un gran número de fragmentos, llamados planetésimos, que chocando entre sí formaron cuerpos mayores -los actuales planetas y lunas.

Es claro que estos pequeños planetésimos enfrentaban problemas para la conservación de sus elementos gaseosos más livianos. Tan pronto como el Sol empezó a brillar, su radiación contribuyó al escape de sus elementos volátiles. En aquel tiempo la materia que habría de convertirse más tarde en nuestra Tierra, perdió la mayor parte de su hidrógeno y su helio. Esto explica porqué dichos elementos no abundan hoy en la Tierra, aunque sigan siendo, y con mucho, los elementos más abundantes del Universo, a pesar de las síntesis nucleares en las estrellas. También explica por qué los planetas más cercanos al Sol (Mercurio, Venus, Tierra y Marte) son pequeños y densos, mientras que los externos (Júpiter y los demás) pudieron conservar mucho de su material volátil siendo, por lo tanto, grandes y de baja densidad.

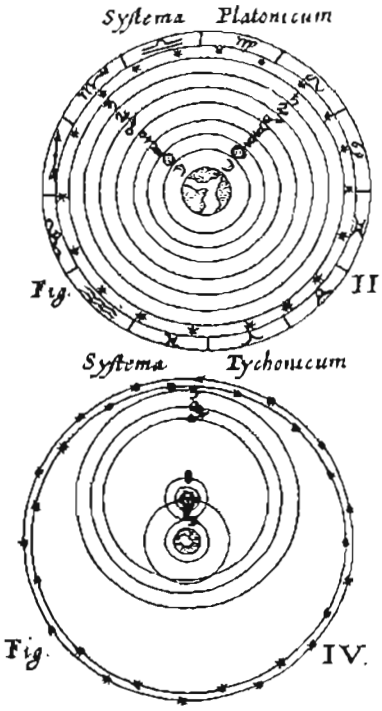
Después de que los planetésimos se combinaron para formar nuestra Tierra, ella constituía, al comienzo, una masa fundida y caliente, en la cual pronto se formó una corteza dura. En esta corteza también encontramos los elementos muy pesados, como el ^{238}U, ^{232}Th (torio) y todos los demás, hasta el ^{207}Pb (plomo). Sabemos que estos elementos se formaron en una o más supernovas que estallaron antes de que el Sol se condensara separándose del medio interestelar. Más aún, los elementos más pesados son inestables: por

decaimiento radioactivo se transforman gradualmente en plomo. El hecho de que aún haya elementos radioactivos en la Tierra es una demostración obvia de que la edad de la corteza terrestre es finita. Ya que conocemos exactamente la vida media típica de los elementos radioactivos y podemos determinar las cantidades de estos elementos y de sus productos de degradación, se puede determinar con mucha precisión que la edad de la corteza de la Tierra es de 4,550 millones de años. Esta es exactamente la misma edad determinada para las rocas que se trajeron de la Luna y de los meteoritos que caen sobre la Tierra. Por lo tanto sabemos cuándo los cuerpos del sistema solar comenzaron a solidificarse. El tiempo cuando el Sol comenzó a contraerse debe ser un poquito más temprano.

Se puede presumir que la superficie de la Tierra ya era apropiada para la vida hace 4,550 millones de años. Pero esto no es verdad. Fueron necesarios numerosos procesos físicos y químicos, especialmente los referentes a la formación de los océanos, de la atmósfera y de la capa de ozono (que tenemos y necesitamos hoy), antes de que la Vida pudiera originarse. Es muy impresionante ver cómo la Tierra se convirtió en un planeta habitable al cabo de la primera mitad de su existencia gracias a una multitud de procesos que fueron totalmente diferentes en los otros planetas. La evolución biológica completa, desde los microorganismos más simples hasta las formas de vida más complicadas, ha transcurrido en solamente 2 mil millones de años.

El cuadro que aquí hemos bosquejado nos muestra que el Hombre está íntimamente conectado con procesos cósmicos muy antiguos y muy distantes. Nuestra misma existencia requiere de que una Gran Explosión diera origen, hace por lo menos 10 mil millones de años, a un Universo en expansión durante un margen de tiempo suficientemente largo para la generación de galaxias y estrellas, para la producción de los elementos químicos y su transporte a un lugar tibiamente calentado por el Sol, y para los procesos subsecuentes que convirtieron a la Tierra en un planeta habitable.

Si la meta del Universo hubiera sido producir las moléculas orgánicas más complicadas, y capaces de contemplar su propia existencia, por lo menos en un lugar del Universo, no cabe duda de que fue muy generoso en el uso del espacio y de la materia. El Universo ha sido, en realidad, muy eficiente en el uso del tiempo.



Cosmologías de Platón y Tycho Brahe.

Lecturas recomendadas

Ferris, T., "*Galaxies*", Sierra Club, San Francisco, 1980.

Gribbin, J., "*Génesis*", Biblioteca Científica Salvat, No. 48, Barcelona, 1986.

Harrison, E. R., "*Cosmology*", Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

Longair, M. S., "*The origins of our universe*", Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Silk, J., "*The Big Bang. The creation and evolution of the universe*", Freeman, New York, 1989.

Weinberg, S., "*Los tres primeros minutos del universo*", Alianza Editorial, Madrid, 1991.

Elementos, No. 19, Vol. 3, 1993, pp. 46-53.

LOS BOTICARIOS EN NUEVA ESPAÑA (SIGLOS XVII-XVIII) EL CASO DE PUEBLA

Ana María D. Huerta Jaramillo
Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades
Universidad Autónoma de Puebla

"...y juraron por dios nuestro Señor y la señal de la Sta. Cruz en forma de derecho usarlo vien y fielmente como deven y son obligados viendo y reconociendo todas las medicinas simples y compuestos de dichas voticas"[1]

Al referirse a los siglos XVI y XVII europeos, Lewis Mumford señala que, con la magia, el experimentador reconoció que se debía disponer de un cierto material antes de poder transformarlo en otro; si el oro jamás salió del plomo en los experimentos de los alquimistas, sólo queda felicitarles por su audacia: "su imaginación olfateó la presa en una cueva en la que no podían penetrar, pero sus ladridos y su mostrar la caza finalmente trajeron a los cazadores del paraje."[2] Algo más interesante que el oro quedó de aquellas investigaciones: la retorta, el horno y el alambique.

Al manipular mediante trituración, molienda, fuego, destilación, disolución, fueron apareciendo diversos y valiosos aparatos que permitieron la realización de verdaderos experimentos. Los alquimistas confiaron en lo que sus ojos podían ver y sus manos podían hacer con la ayuda del mortero, del almirez y del horno. Nunca se encontró la piedra filosofal, pero surgió la ciencia de la química, que enriqueció y fue más allá de los sueños para encontrar oro. "El herborizador, en su ardiente busca de plantas medicinales y de panaceas, mostró el camino para las intensivas exploraciones del botánico y del médico".[2]

Los boticarios en Nueva España

Con la llegada de los españoles a América, esas vivencias se conjugaron con los adelantos indígenas. El asombro manifestado por los españoles ante la flora y la fauna mexicanas aumentó cuando descubrieron los profundos conocimientos que los indígenas alcanzaron sobre ellas. Cortés, Acosta, Fernández de Oviedo, Bernal Díaz, Motolinía, Mendieta y Torquemada mostraron interés por los procedimientos terapéuticos y por los remedios vegetales empleados por los indígenas. Uno de los textos que muestra un tratamiento sistemático de la flora mexicana es el *Herbario* escrito por Martín de la Cruz y Juan Badiano. La obra es un producto de la medicina original nahua y es una versión directa y sin contaminación del estado en que se encontraban los conocimientos botánicos y terapéuticos al llegar los conquistadores.

El *Herbario*, que contiene 184 ilustraciones de plantas, demuestra cómo los europeos y los indígenas aprendieron, independientemente, a diferenciar ciertos síntomas, agrupándolos dentro de cuadros clínicos definidos, a la vez que supieron utilizar drogas curativas que aplicaban en forma de polvos, pociones, ungüentos, emplastos o parches. De tal forma que hacia el siglo XVI los

pacientes eran tratados de manera muy semejante en el Viejo Mundo y en el Nuevo Continente.

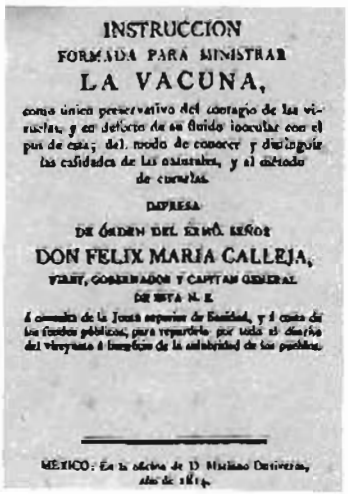
La mayor parte de los remedios que se indicaban poseían una eficacia tal que tenían un valor medicinal y otros producían efectos farmacológicos. Entre esos remedios se incluían narcóticos, eméticos, purgantes, diuréticos, hemostáticos, expectorantes, antipiréticos, astringentes, antiespasmóticos y galactóforos. Aunque el manuscrito no menciona explícitamente encantamiento, algunos de los remedios son completamente mágicos, como es el caso de ciertas piedras preciosas y partes de animales cuyo uso corresponde más a la hechicería que a la medicina.

Además del *Herbario*, otros textos semejantes se produjeron durante los dos siglos siguientes.[3] A través de las epidemias y malestares de la población se hizo patente la necesidad de preparadores de medicinas, ungüentos y pócimas que materializaran el saber de todas aquellas recopilaciones que no sólo fueron escritas. "El saber médico indígena se traduce en conseja de abuelas, en agüeros compartidos por las clases sociales o da origen a curiosas costumbres colectivas de colonos y criollos".[4] Sin embargo, para la elaboración de las medicinas se requería tener conocimiento de la botánica, medicina y de técnicas de laboratorio. Estos conocimientos los reunía el boticario. "El boticario fue el antecesor del químico farmacéutico y, en algunas ocasiones, también hacía la función de médico. La carencia de una institución que preparase a las personas para ejercer esta actividad hacía que se mezclasen prácticas un tanto no muy sanas para la profesión".[5]

De tal manera se puede coincidir en que "no siempre han existido las mismas profesiones, ni se han concebido en la misma forma" ya que todas "surgieron de alguna habilidad útil o necesidad específica que se fue delimitando". Desde fecha temprana en México se intentó controlar el ejercicio de las profesiones, ya por las autoridades o por los mismos gremios o corporaciones que las agrupaban.[6]

Respecto a la reglamentación para el ejercicio de los boticarios, en España, en el año de 1422, se creó el Tribunal de Alcaldes Examinadores y, en 1498 los reyes católicos mandaron "que los Protomédicos y Alcaldes Examinadores Mayores, que de Nos tuviere poder, lo sean en nuestros reynos... para examinar... ensalmadores y boticarios, y especieros y herbolarios..."[7] En la Nueva España, el Cabildo de la ciudad de México expidió en 1526 la ordenanza y arancel de boticas que determinaba los honorarios que podían percibir los médicos. Los boticarios adquirían el oficio más en funciones de relación gremial que en instituciones educativas. Los médicos, con quienes los boticarios compartieron los propósitos sanitarios de sus conocimientos necesitaban, para serlo, cubrir un conjunto de estudios durante años. Una vez acreditada su formación, los candidatos a médico presentaban un examen ante el Real Tribunal del Protomedicato instituido en la Nueva España, por Real Cédula, en 1646. Ese mismo Tribunal examinaba a los barberos (sangradores), parteras, cirujanos, boticarios y también visitaba las boticas.

Más adelante, en 1751, se intentó dividir al Protomedicato en Audiencias separadas para cada facultad, como después se llegó a hacer en España en el año de 1780 cuando se crearon tres tribunales: un Protomedicato, un Protocirujanato y un Protofarmacéutico. Esa división no llegó a verificarse en Nueva España, quedando como único, el mencionado Tribunal. Al quedar el Protomedicato encargado de practicar los exámenes, que ahora llamamos profesionales, y que


INSTRUCCION
FORMADA PARA MINISTRAR
LA VACUNA,
como única preservativo del contagio de las viruelas, y en defecto de su fluido inocular con el pus de esta; del modo de conocer y distinguir las calidades de las mismas, y el método de curarlas.
DISPUESTA
DE ÓRDEN DEL EXMO. SEÑOR
DON FELIX MARIA CALLEJA,
VIREY, GOBERNADOR Y CAPITAN GENERAL
DE ESTA N. E.
A consulta de la Junta superior de Sanidad, y á costa de los fondos públicos, para repartirla por todo el distrito del virreynato á beneficio de la salubridad de los pueblos.
MEXICO: En la oficina de D. Mariano Ontiveros, año de 1814.

entonces eran generales en todas las actividades médicas, las carreras en que recibía hacia el año de 1680 eran: médico, cirujano latino, cirujano romancista, flebotomiano, partera y farmacéutico.[7]

Los boticarios durante el periodo colonial no hacían otros estudios que los de gramática latina; nociones de física, química y demás ciencias accesorias no se les exigían. La cátedra de farmacia no existió en la Real y Pontificia Universidad de México ni en ninguna otra parte de Nueva España. Cuando se estableció el Real Jardín Botánico, los farmaceutas acudieron a estudiar historia natural. Para poder ejercer su profesión, a los boticarios se les obligó a la realización de un examen y a que adquirieran un título legal.

Para adquirir el título los farmacéuticos solicitaban examen ante el Tribunal del Protomedicato y debían cubrir los siguientes requisitos: haber cumplido veinticinco años de edad, adjuntar su fe de bautismo, una constancia de limpieza de sangre, un certificado de latín, cuando lo hubo, uno del curso de botánica hecho en el Real Jardín, certificado de cuatro años de práctica desarrollada en alguna botica bajo la dirección de profesor aprobado y conforme al manual *Farmacopea Palacios* vigente en aquella época, y más tarde, a partir de 1739, se utilizaba la *Farmacopea Matritense*. El jurado del examen lo formaban tres protomédicos, un maestro boticario y, más tarde, el alcalde examinador de la Facultad de Medicina. El futuro boticario presentaba un primer examen en las oficinas del Tribunal en donde se le interrogaba sobre los principios del arte; de allí se trasladaba a una botica en donde los protomédicos y el boticario sinodal le indicaban realizar varias operaciones de farmacia así como reconocer y ensayar sustancias simples y compuestas. Concluido el examen, si era aprobado, prestaba el juramento de costumbre y se le expedía el título.

Fotografía: Everardo Rivera

De las atribuciones con relación a la farmacia, el Protomedicato no daba licencia a las mujeres ni a cualquiera otra persona que no fuera farmacéutico recibido para instalar botica, ni aún bajo responsabilidad de maestro boticario examinado. Además, visitaba periódicamente los establecimientos, como se acostumbraba hacerlo entonces en España. Esta práctica, se refiere, la tenía Francia en el siglo XV, y fue tomada de los árabes, que fueron los primeros en introducir al Viejo Mundo la práctica de vigilar las boticas.

Las visitas a los establecimientos tenían por objeto constatar si las preparaciones farmacéuticas estaba hechas con sujeción a las fórmulas de la *Farmacopea Palacios* y demás que le fueron sucediendo, quemar las medicinas que encontraban en mal estado o alteradas y vigilar la vigencia de las tarifas de precios de medicamentos; esto último con objeto de refrenar la codicia de los maestros boticarios españoles. También eran visitadas las boticas de los religiosos hospitalarios. Los derechos que se cobraban por las visitas de botica eran, conforme al arancel de 1729, de veintiún pesos y fueron aumentando después de veinticinco a treinta y cinco pesos.

En cuanto a las obligaciones de los boticarios, se regían, como otros gremios, de acuerdo con una especie de

ordenanza. Debían dar, de limosna, las medicinas a los pobres; podían tener en sus oficinas mancebos, oficiales o aprendices practicantes que, a partir del 19 de mayo de 1784 y por notificación del Protomedicato, no debían ser admitidos si antes no se matriculaban en el Tribunal y si no sabían perfectamente el latín; los boticarios no podían ejercer como médicos o cirujanos, no podían ejercer como boticarios en el sitio donde el médico o cirujano fuera su padre, suegro, hijo o yerno y no les era permitido tener en una población más de una botica. Los boticarios que despachaban recetas de médicos no examinados sufrían multa de veinticinco pesos o de cuatro a seis meses de reclusión; no podían expender medicamentos secretos; se aplicaba pena de muerte si vendían maliciosamente medicinas mortíferas y se les encomendaba que custodiaran y guardaran perfectamente las víboras y los otros animales ponzoñosos que tuvieran en sus oficinas''.[8]

En el siglo XVIII llegaron a Nueva España las influencias de las preocupaciones de Carlos III por el desarrollo de algunas ciencias. El rey, aficionado a la botánica desde muy joven, mejoró el Jardín Botánico de Madrid, patrocinó expediciones botánicas al Nuevo Mundo, y apoyó la idea de publicar la obra inédita del doctor Francisco Hernández, y la de Nicolás Monardes: *Dos libros... que trata de todas las cosas que traen de Nuestros Indios Occidentales, que sirven al uso de la medicina*. Esta obra, en 1545, alcanzó muchas ediciones y se tradujo al latín, italiano, inglés y francés.

En enero de 1785, Martín de Sessé, joven médico militar recién llegado de Cuba a la ciudad de México, escribió al director del Jardín Botánico de Madrid para conseguir el establecimiento en la Nueva España de un jardín y una cátedra de botánica. Como respuesta, Sessé recibió el título de comisionado del Jardín de Madrid; más adelante, el 13 de marzo de 1787, por Real Cédula se aprobó la fundación del jardín en México y el médico fue nombrado su director. En 1788 se comenzó a impartir la cátedra del Real Estudio Botánico, con una duración de seis meses y clases tres veces por semana. En las clases se combinaba la teoría con la práctica, cada alumno clasificaba una planta y, en grupo, los estudiantes salían al campo para coleccionar plantas que catalogaban en manuales de enseñanza.

La Real Cédula de la fundación de la cátedra establecía que ésta era obligatoria para todos los que hubieran de presentarse a examen de médicos, cirujanos y farmacéuticos. La instauración de tal medida fue motivo de controversia entre criollos españoles. Además de impugnar los métodos empleados en la enseñanza, los criollos rechazaron la idea de los españoles de que el nivel de los conocimientos de los novohispanos estaba a la zaga de los europeos, aclarando que era falso que médicos y boticarios novohispanos recetaran medicamentos sin conocer sus características. El presbítero José Antonio Alzate argumentó ese sentir criollo, además de reivindicar los conocimientos que en la materia tuvieron los aztecas. Sin embargo, en 1789, el Virrey Revillagigedo nombró a Sessé y al catedrático Vicente Cervantes, como examinadores y visitadores de boticas.

La manera en que fueron impuestas las disposiciones, aunada a otras circunstancias, propiciaron que los boticarios de México, Puebla, Veracruz, Orizaba y otras ciudades formaran una solicitud de separación del Protomedicato.[19]

Los boticarios en Puebla

La información que existe sobre los boticarios poblanos indica que quienes ejercían el oficio lo adquirían por herencia o porque estudiaban medicina sin concluir la carrera, y entonces la

D. José Antonio Alzate (1729-1790).

botica se convertía en actividad alternativa. En cualquier caso, debían cumplir con los requerimientos legales ya indicados.

Se puede constatar que para el 2 de marzo de 1629 el Cabildo de la ciudad de Puebla ya acordaba que se visitaran para inspección todas las boticas que existían en la ciudad. Entre ellas también se incluían las droguerías, "drogas simples y compuestas", aunque no se establecía cuál era justamente la diferencia entre éstas y las boticas. La comisión de vigilancia tenía autorización para practicar las diligencias que conviniesen y pedían proceder contra quienes no tuvieran título de boticarios conforme a las ordenanzas. Asimismo se establecía que los cirujanos y barberos que habían usado y "usaren" oficios sin título y curaban de "evacuaciones" sin tener facultad, se les aplicase también la orden real.

La implicación que en esta disposición tenían cirujanos y barberos se traducía en que ambos escribían las "reseptas" o recetas que el boticario materializaba a través de píldoras, trociscos, aceites, ungüentos o jarabes. Al visitar las boticas y revisar las recetas que los boticarios recibían, el Cabildo indirectamente inspeccionaba otros oficios y profesiones.

En el caso de los boticarios poblanos, es muy probable que adquirieran título mediante el mecanismo que el Protomedicato había establecido para las necesidades profesionalizantes que al respecto se presentaban en las poblaciones de las provincias de la Nueva España. El examen profesional lo hacía un juez delegado por el Real Tribunal de acuerdo con una disposición real de Felipe VI, emitida el 19 de abril de 1741, que autorizaba que esa función fuera de la capital.

El candidato a boticario que requería el examen enviaba una solicitud al Protomedicato anexando todos los demás documentos que se necesitaban para tal efecto, así como el valor de los derechos al examen, más cincuenta pesos que se entregaban a la Tesorería del gobierno por pago de derechos de "gracias al sacar". Así, el Protomedicato comisionaba a un facultativo de la población, en este caso de Puebla, quien junto con el intendente, nombraban a los facultativos necesarios para conformar el jurado. El examen se realizaba durante una o dos tardes consecutivas y se verificaba en presencia de un escribano público. El examinado debía pagar, en el lugar en que se desarrollaba el examen, cinco pesos al comisionado del Tribunal, veinte reales a cada uno de los sinodales y cinco pesos al escribano.

La inspección a las boticas, además de incluir la revisión de las pesas y medidas "mensulares" y "ponderarles" y todo el conjunto y clasificación de elementos para elaborar los compuestos, observaba la constatación de que el boticario tuviese título de maestro. Los argumentos al respecto no sólo eran, como ya se ha visto, de tipo normativo, sino que se enriquecían con otras opiniones. Por los años aludidos, don Manuel Toquero, médico vecino de la ciudad de Puebla, expresaba en un documento dirigido al Ayuntamiento un conjunto de preocupaciones re-

lacionadas con el ejercicio del oficio en cuestión. Referia que en perjuicio de la Nueva España y de la Universidad de Médicos, se habían introducido muchas personas queriendo usar la facultad de medicina, ya porque tenían conocimiento de algunos medicamentos, ya por persuadirse de que con yerbas y otros compuestos solían curar la salud de los "dolientos" y censurar la de los sanos. Además, esos usurpadores estaban "experimentando gravísimos absurdos", pues engañando que curaban enfermedades incurables, cometían "semejante abuso" que debía ser castigado de acuerdo con los estatutos del Real Tribunal del Protomedicato con graves penas, a fin de su "devida observanzia y que él extirpe tan penosa costumbre".[10] Por lo expuesto, el médico Toquero pedía que en las boticas donde despachaban oficiales, éstos se examinaran, y que se notificara a los maestros boticarios de la ciudad que con ningún motivo ni pretexto despacharan recetas que no fueran firmadas "de Medico a Cirujano conocido y aprovado", con "apercivimiento" de que se procedería a cerrarles sus boticas y a aplicarles las penas de derecho y arbitrio del Ayuntamiento.

Otro problema que se presentaba respecto al ejercicio boticario, aunque no muy común, era el de mujeres que enviudaban y cuyo esposo había sido maestro y dueño de la droguería. Ellas enfrentaban dificultades para que el gobierno les autorizase que los empleados ayudantes se hicieran responsables de la atención. A su vez, aquellos ayudantes para el despacho enfrentaban problemas de tipo laboral cuando los negocios se traspasaban. En 1733 se presentó el caso de Ignacio de Villegas que trabajaba en la botica ubicada en la esquina del convento de religiosas de San Jerónimo y que era propiedad de don Gabriel Bentura de la Barreda, maestro boticario. Al ser vendida a don Miguel Caravallo, examinado en el

Fotografía: Everardo Rivera

"arte", Villegas, que despachaba y administraba la botica con salario de cuatro reales cada día y "casa en que vivir", declaraba que el anterior dueño lo "desacomodó". Por ese tipo de transacciones también se puede conocer el precio de alguna botica que a principios del siglo XVIII era de mil cuatrocientos veinticinco pesos.

Algunas implicaciones relacionadas con la posesión de dos oficios en el caso de los boticarios poblanos se hallaban previstas en la *Recopilación de Leyes de Castilla*. En la ley novena del título dieciséis del libro tercero se establecía que habiendo muchos médicos que tenían hijos o yernos boticarios, o boticarios que tenían hijos médicos, cuya legítima sanción tropezaba con el inconveniente de que coincidiera en un mismo individuo la práctica simultánea de la "pharmacopea", medicina o "sirujía", se encargaba a los corregidores y jueces de las jurisdicciones determinar lo que conviniera en justicia. En abril de 1733 se presentó el caso del maestro don Diego de Campos, que lo era en "sirujía" y "pharmacopea", quien planteaba el problema de que muchas de las "reseptas" que se les aplicaban a los enfermos que él mismo curaba, las despachaban en su botica. Para subsanar el inconveniente que implicaba la citada ley, pues no establecía pena ni forma de corrección, las autoridades ejecutoras de la ciudad orde-

naron que, bajo pena de veinticinco pesos para la Cámara, en las recetas que el maestro Campos diera para los enfermos que asistía y curaba, no los persuadiera de asistir a su botica para conseguir los medicamentos indicados. Don Diego debería dejar en libertad a los enfermos para que se procurasen alivio a través de su botica o en la que ellos quisieran, y además debería fijar las horas durante las cuales se dedicaría a la manipulación, fábrica y composición de sus medicinas, asegurándose tener "persona havil y suficiente" para el despacho de las recetas. Se le exigía horario como cirujano y horario como boticario.[11]

Entre 1629 y 1733 las listas que resultan de las visitas oficiales a las boticas y boticarios angelopolitanos se presentan como un acervo de riqueza informativa que espera a ser explorado. La gama de sustancias conocidas y utilizadas refleja un aspecto de la cultura donde se sumaba el conocimiento europeo y el novohispano. El contenido de esas droguerías abarcaba algo más allá que la receta esperanzadora para curar el dolor, incluía sueños, creencias, partes estratégicas de recetas de cocina, secretos de belleza, la herbolaria de toda una región geográfica, una forma de fe de la sociedad colonial. A través de los listados puede observarse el paulatino enriquecimiento del mundo del boticario. En las listas iniciales aparecen las piedras preciosas, las perlas preparadas, los elementos denominados simples, las frutas, las raíces.

Posteriormente aparecerán los metales como el hierro, plomo, antimonio y acero; los sumos y las gomas; las sales, las semillas, los polvos y las confecciones; los trociscos, los emplastos, los ungüentos, los aceites, los jarabes y las aguas.

Los medicamentos que se podían obtener en las boticas poblanas, que a finales del siglo XVIII sumaban diez,[12] no sólo eran utilizados para la cura humana; entre ellos había raíces, como la rubia tintorera que se empleaba para endurecer los huesos de los animales que la comían.[13]

Otra parte del mundo boticario lo constituyeron las herramientas o instrumentos de trabajo cotidiano. Diferentes materiales rodeaban el mundo del farmaceuta; de cristal eran los vitrioleros, botellones, frascos, sublimadores, morteros, alambiques, "baños María" y embudos. Junto con el cristal, en las boticas poblanas aparecían objetos construidos con otros materiales como la loza plumeada, la loza criolla, la loza colorada, y hasta la misma piedra en forma de metate con su mano o metlapil, se disputaba un lugar importante en las necesidades del laboratorista.

Aspecto interior del Departamento de Farmacia de la Droguería y Botica Francesas. Tras el mostrador se ven al Profr. José María Mora, Sr. Carlos Martínez, Sr. Fernando Ibáñez, Sr. José María Mata, Sr. Francisco Toquero, Profr. José María Ruiz, entre otros (fotografía cortesía de la familia Ibáñez).

Ollas grandes de Cholula se hallaban compitiendo con las fabricadas en el barrio de la Luz de la ciudad de Puebla, y con las ollas, también grandes, pero castellanas, de loza de China. En cuanto al fierro, éste aparecía en las rejas de las ventanas de la botica, en las varillas de las cortinas, en las tijeras para cortar papel, en las tenazas, en los espatulones grandes y chicos para el despacho, en las pesas, en las reglas para fraccionar, y hasta en los aros de los barriles de madera.

Notas

1. "*Expediente sobre azúcares y visitas a Boticas y Barberías*". Libro 222, Archivo del H. Ayuntamiento de Puebla, f. 191.

2. Mumfor, L., "*Técnica y Civilización*", versión española de Constantino Aznar de Acevedo, Alianza Editorial, Madrid, 1971, pp. 54-44.

3. De Gortari, E., "*La Ciencia en la Historia de México*", Grijalbo, México, 1980, pp. 189-192.

4. Un interesante trabajo sobre usos botánicos medicinales en el Nuevo Mundo: Hernández de Alba, G., "La medicina Tradicional en la Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada", en *Quipu*, Vol. 1, núm. 3, 1984.

5. Fournier González, J., "*Antecedentes de la Química en la UAP*", inédito, Departamento de Química del ICUAP, Puebla, p. 1.

6. Zoraida, J., "Introducción" en *Historia de las Profesiones en México*, El Colegio de México, 1982, p. 1.

7. Tanck de Estrada, D., "La Colonia", en *Historia de las Profesiones en México*, El Colegio de México, 1982, pp. 34-35.

8. Flores, F.A., "*Historia de la Medicina en México desde la época de los indios hasta la presente*", Tomo II, Oficina Tipográfica de la Secretaría de Fomento, México, 1886, pp. 172, 173, 181, 182, 185, 186, 212.

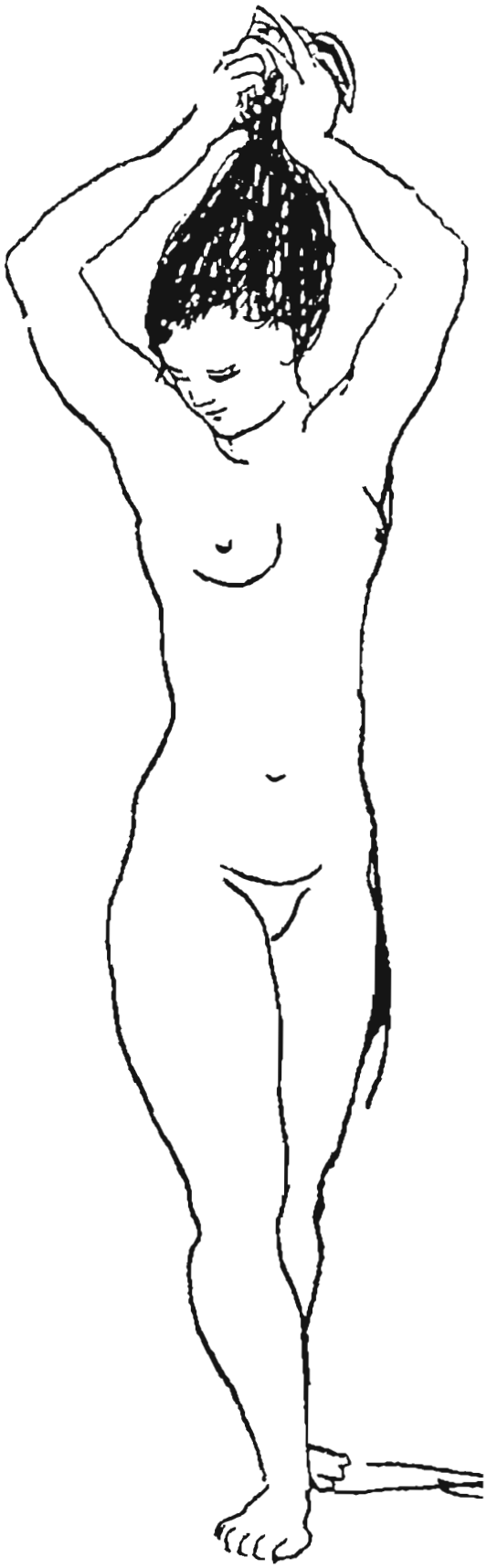
9. Tanck de Estrada, D., op. cit., pp. 40, 46, 47, 49.

10. "*Expediente sobre azúcares y visitas a Boticas y Barberías*", op. cit., f. 29.

11. "Expediente sobre Vacuna y Salubridad 1619-1878", Libro 198, fs. 9, 5-8; el precio de la botica corresponde a la que se encontraba en la Calle Real de la Parroquia del Señor San Joseph.

12. Eran las de San Nicolás, que fue propiedad de la cofradía de San Nicolás Tolentino, en la Calle de Miradores número 8; las demás estaban ubicadas en Esquina del Ochavo, Calle de Herreros, Calle de Santo Domingo, Plazuela de San Francisco, Calle de Guevara, Esquina de Tecali, Calle de la Aduana Vieja, Calle Real de San José y la de la Cofradía de San Pedro. En Leich, H., "*Las Calles de Puebla*", 4a. Edición, Puebla, JMMCMMP, 1986, pp. 250-251.

13. Palán y Verderá, A., "*Parte Práctica de Botánica del Caballero Linneo*, Imprenta Real, 1784.



Mujer Peinándose. Pablo Picasso, 1905-1906.

USTED *

¿Cuánto gana usted? ¿Ha pensado usted alguna vez en suicidarse? ¿Usted es ahora o ha sido siempre...? ¿Tiene usted conciencia de...? Los dispositivos eléctricos de información para una vigilancia universal, tiránica de la cuna a la tumba, están originando un verdadero dilema entre nuestra búsqueda de privacidad y la necesidad de enterarse que tiene la comunidad. Los viejos y tradicionales conceptos de un pensar y de un actuar privados, aislados -los patrones de la tecnología mecánica- están muy seriamente amenazados por nuevos métodos de instantánea recuperación electrónica de la información almacenada, por el banco de legajos procesados electrónicamente por computadoras... esa gran sección de chismes que no perdona ni olvida, de la cual no hay redención posible y que no deja borrar los primeros "errores".

Ya hemos llegado a un punto en que se hace necesario ejercer un control terapéutico apoyado en el conocimiento de los medios y sus efectos totales sobre todos. ¿Cómo se programará el nuevo ambiente, ahora que nosotros estamos tan inmersos en la vida de cada uno de los otros, ahora que todos estamos operando como una fuerza ciega de trabajo para el cambio social? ¿Qué significa ese mmmmmmmmurmullo?

SU PUESTO *

"Cuando este circuito aprenda a cumplir su tarea ¿qué piensa usted hacer?"

Los "puestos" representan un patrón de trabajo relativamente reciente. Desde el siglo XV hasta el XX, ha habido un progreso incesante en la fragmentación de las etapas de trabajo, que constituye la "mecanización" y la "especialización". Esos métodos no pueden servir para la supervivencia o la salud en estos nuevos tiempos.

En las condiciones en que funciona el circuito eléctrico, todos los patrones de trabajo fragmentado tienden a fundirse de nuevo en roles o modelos que comprometen y exigen y que se parecen cada vez más a la enseñanza, el aprendizaje y el servicio "humano", en el antiguo sentido de una leal consagración.

Por desgracia, muchos programas bien intencionados de reforma política que procuran aliviar los sufrimientos causados por la desocupación, revelan ignorancia de la verdadera naturaleza de la influencia de los medios.

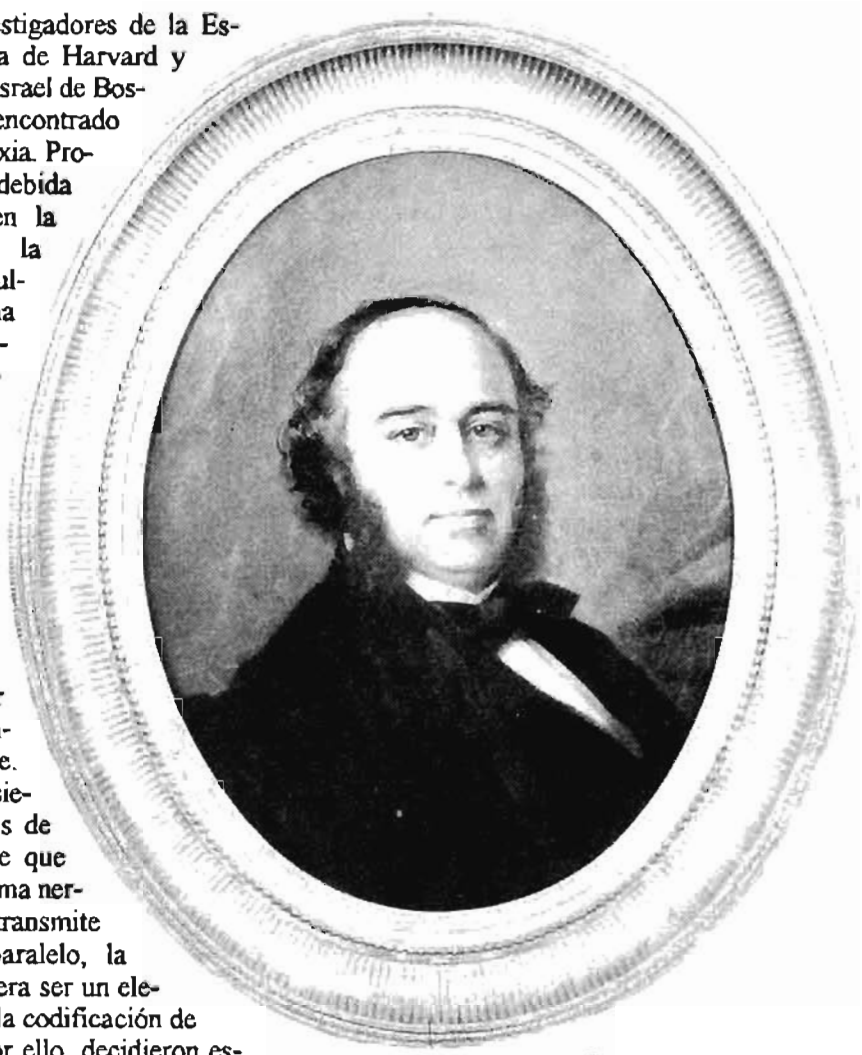
"Venga a mi oficina", le dijo la computadora al especialista.

* Tomados de Marshall McLuhan y Quentin Fiore: *El Medio es el Masaje*, Paidos.

PROBABLE ORIGEN NEUROFISIOLÓGICO DE LA DISLEXIA

Un grupo de investigadores de la Escuela de Medicina de Harvard y del Hospital Beth Israel de Boston, creen haber encontrado el origen de la dislexia. Proponen que ésta es debida a un problema en la temporalidad en la transmisión de impulsos en el sistema nervioso, particularmente en el núcleo magno celular del tallo cerebral.

Se ha encontrado que el problema principal en los disléxicos es que tienen una inhabilidad para percibir o distinguir estímulos que cambian rápidamente. Los autores propusieron como hipótesis de trabajo, la idea de que en las vías del sistema nervioso en que se transmite información en paralelo, la temporalidad pudiera ser un elemento esencial en la codificación de la información. Por ello, decidieron estudiar sistemas que transmiten información en paralelo como son el parvo celular y el magno celular en la vía visual. De esta manera en autopsias de pacientes disléxicos se pudo demostrar que las neuronas del sistema parvo celular son más pequeñas que en los sujetos normales, especialmente estas células poseen axones más delgados, lo cual podría significar que la información en torno a estímulos visuales arribe con una temporalidad incorrecta a centros de procesamiento superior de la información. Todo ello resultaría en alteraciones en la percepción de estímulos que cambian rápidamente en el tiempo.



Paul Broca (1824-1880).

Rosario Vega

EL CEREBRO AVERIADO

Simón Brailowsky, Donald G. Stein y Bruno Will
Fondo de Cultura Económica, México, 1992

Comprender el cerebro, su estructura y funcionamiento ha sido, y es todavía, una de las mayores ambiciones de la neurofisiología. Los descubrimientos recientes en biología molecular proporcionan herramientas útiles para manipular la maquinaria genética y funcional de las células cerebrales. Toda esta serie de investigaciones ha alterado nuestra manera de concebir las funciones del cerebro y la capacidad que posee el sistema nervioso de repararse después de haber sufrido una lesión.

En el libro "*El cerebro averiado*", los autores presentan las ideas en desarrollo sobre las lesiones que puede sufrir el cerebro y los factores que intervienen en su recuperación. Inician con una revisión histórica de las diferentes teorías que han pretendido localizar las diversas funciones cerebrales, y hacen énfasis en varias de ellas, como es el caso de la frenología, teoría creada por el anatomista alemán Franz Gall que estuvo muy de moda en el siglo XIX, y que popularizó la idea de que las funciones cerebrales se pueden localizar. Se creyó que la hipertrofia o la atrofia de las regiones cerebrales podían reconocerse por palpación a través del cráneo, y que darían entonces una idea de las posibilidades y de las lagunas mentales del sujeto. Desde entonces ha quedado establecido que ciertas regiones cerebrales son, sin duda, el asiento de actividades específicas. Sin embargo, estas funciones no son las facultades intelectuales, sino procesos como el habla, la audición y la visión.

Contrastando con estas ideas, existen actualmente teorías que consideran al sistema nervioso como una entidad dinámica y plástica; con capacidad de restaurar sus funciones pese a haber sufrido serias lesiones o traumatismos. Para estudiar la plasticidad y los cambios dinámicos que caracterizan al sistema nervioso central, existe una gran variedad de técnicas que se describen brevemente en el capítulo II. Éstas han evolucionado de manera paralela al desarrollo tecnológico (desde estudios *postmortem* realizados en épocas pasadas, hasta estudios con resonancia magnética nuclear en la actualidad) y que, por tanto, han permitido aumentar el conocimiento del funcionamiento del sistema nervioso en condiciones normales y patológicas.

Rita Levi-Montalcini recibiendo el Premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1986.

Por ejemplo, se ha logrado explorar la capacidad que tienen las células del sistema nervioso central de establecer nuevos contactos sinápticos con células vecinas después de

una lesión o un traumatismo generando, de esta manera, conexiones neuronales que antes de la lesión no existían. Sólo fue hasta hace poco que se logró saber que esta restauración funcional por parte del sistema nervioso era posible gracias a la fabricación de substancias que permiten el crecimiento, regeneración y desarrollo de las células nerviosas lesionadas, por lo que es de particular interés el capítulo V, que aborda el tema de los factores endógenos de crecimiento y reparación, y su participación vital en la reorganización cerebral. A estas substancias que estimulan el crecimiento y la orientación adecuada de las nuevas fibras nerviosas, se les ha llamado factores de crecimiento nervioso o, en general, factores neurotróficos. Sus descubridores fueron la neurobióloga italiana Rita Levi-Montalcini y el investigador norteamericano Stanley Cohen, quienes recibieron el premio Nobel de Fisiología y Medicina en 1986 por este descubrimiento.

Sin embargo, el proceso de recuperación funcional depende de otras variables, tales como la edad, ya que existen evidencias experimentales de que los efectos inmediatos y a largo plazo de una lesión dependen del estado de madurez cerebral que exista en el momento de sufrir el accidente.

Estos avances han permitido el desarrollo de tratamientos de lesiones del sistema nervioso central, que van desde la realización de los polémicos transplantes cerebrales, hasta el empleo de agentes farmacológicos que permiten la recuperación funcional del sistema nervioso. Aspectos sobre al tratamiento de las lesiones cerebrales son los que se abordan en los capítulos VII y VIII, que son, a mi juicio, los más importantes del libro, no sólo porque nos permiten conocer los logros actuales de la biología molecular y de la farmacología, sino también imaginar los avances potenciales de estas disciplinas y de la combinación entre ellas.

Para finalizar, los autores elaboran una serie de conclusiones con la finalidad de redondear el panorama actual sobre las lesiones cerebrales y la reorganización funcional del cerebro. En este apartado, la idea esencial es que tanto el medio externo como el medio interno de un sujeto lesionado son de capital importancia en su recuperación, pues un paciente lesionado es mucho más que una máquina averiada. La recuperación después de ciertos daños al sistema nervioso central, de los que se creía, hasta hace aún poco tiempo, eran completamente irreversibles, es actualmente, más que una posibilidad, una realidad. El avance en los tratamientos quirúrgicos y farmacológicos de las patologías del sistema nervioso nos ofrece una nueva esperanza para tratar exitosamente estas patologías.

Amira del Rayo Flores Urbina.

ACUMULACIÓN DE RADICALES LIBRES EN LA ESCLEROSIS LATERAL AMIOTRÓFICA

La esclerosis lateral amiotrófica fue descrita por Charcot en 1865; es un padecimiento neurológico crónico debido a la degeneración progresiva de las neuronas que constituyen los haces piramidales, las astas anteriores y, en estados avanzados, involucra también a núcleos pontinos. Se caracteriza por su inicio insidioso en la edad adulta, con fatiga, dolores vagos y alteraciones en el movimiento de las extremidades superiores. Avanzada la enfermedad se producen alteraciones notables de la motricidad que llegan hasta la parálisis. A esta enfermedad se le ha denominado también como Enfermedad de Lou Gehring.

Desde hace algunos años, se sabe que al menos el 10% de los casos de esclerosis lateral amiotrófica presentan un patrón de incidencia familiar que revela claramente su origen genético. Los investigadores que han estudiado el origen de este padecimiento, han identificado al gene que codifica para una enzima denominada superóxido dismutasa que liga Cu^{+2} y Zn^{+2}, como el sitio más probable de alteración genética. Este gen se localiza en el brazo largo del cromosoma 21 (*Nature*, marzo 4 de 1993).

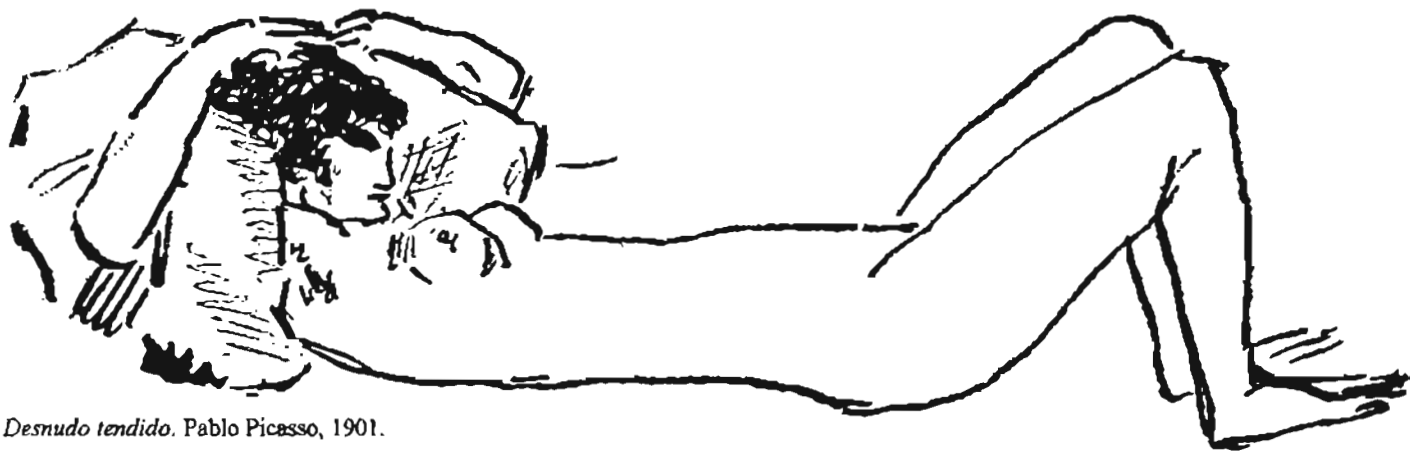
La superóxido dismutasa es una enzima que normalmente contribuye a destruir radicales libres (iones superóxido) del organismo. Se piensa que una alteración en la síntesis de esta enzima, determina una acumulación de radicales libres en las motoneuronas y que esto es lo que determina su degeneración y finalmente la muerte celular.

La importancia de estos hallazgos radica en que, si bien únicamente explica la patogenia de la esclerosis lateral amiotrófica en el 10% de los casos, los síntomas de la enfermedad son semejantes en los casos esporádicos y que no parecen tener un origen genético; por esto es muy probable que, en el restante 90% de pacientes con la enfermedad, ésta también se deba a alteraciones en el metabolismo de radicales libres.

Esta última hipótesis sugiere que independientemente del origen del padecimiento, todos los pacientes puedan beneficiarse con fármacos que detoxifican de radicales libres, entre los que destacan las vitaminas E y C.

Éste constituye un buen ejemplo de cómo el conocimiento básico de la patogenia de una enfermedad permite idear terapias racionales para su control y eventual curación.

Enrique Soto



Desnudo tendido. Pablo Picasso, 1901.

EDUCACIÓN QUÍMICA

Universidad Nacional Autónoma de México

La revista "Educación Química" se publica trimestralmente por la Facultad de Química de la UNAM. Ésta es una de las pocas revistas especializadas dirigidas a un público de nivel medio superior y profesional en nuestro País. Por sus características cubre un espacio editorial que le es propio y original: el de constituir un medio de comunicación de las ciencias químicas, dirigido especialmente a los profesionales encargados de su enseñanza y a los estudiantes de licenciatura en química.

El material que edita Educación Química se caracteriza por su seriedad académica y originalidad. Se tratan diversos temas con un nivel de profundidad que no es común en revistas que son editadas localmente por una facultad o escuela universitaria.

La revista promueve en su sección denominada "Debate" la discusión de temas de relevancia y actualidad. Para esto, cada dos números se distribuye un documento fuente en torno al cual se recogen las opiniones de diversos especialistas, quienes analizan críticamente la información del documento fuente. Otras secciones de la revista, como la intitulada "Para saber, experimentar y simular", resultan de especial interés ya que contribuyen a promover la tan indispensable enseñanza experimental de la química.

En los aspectos de presentación y diseño la revista destaca por su sobriedad y limpieza, contribuyendo con esto a poner de relieve el neto interés académico de esta publicación.

Con base en lo anterior y conociendo las condiciones de desarrollo que ha alcanzado la UNAM, así como las personas que constituyen el cuerpo editorial y la dirección de Educación Química, es fácil prever que esta revista, que actualmente se encuentra en su cuarto año de publicación, tendrá una larga y sostenida data de publicación, contribuyendo de manera significativa al desarrollo de las ciencias químicas en nuestro país.

A los interesados en conocer o suscribirse a esta publicación dirigir su correspondencia a :

Dr. Andoni Garritz
Director
Educación Química
Facultad de Química de la UNAM
Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-197
04510, México, D.F. Fax: 548 6269

EL DESCIFRAMIENTO DE LA ESCRITURA EPI-OLMECA DE LA ESTELA DE LA MOJARRA

Los investigadores norteamericanos John S. Justenson, de la Universidad de Albany en Nueva York y Terrence Kaufman de la Universidad de Pittsburgh, reportan en la edición del 19 de marzo de 1993, de *Science*, el desciframiento de las inscripciones epi-Olmecas de la estela de La Mojarra. Este es el texto mesoamericano más antiguo que sea legible en la actualidad. La estela de La Mojarra data del año 159 D.C., fue descubierta accidentalmente en el año de 1986 por pescadores del rio Acula al suroeste de Veracruz, quienes al estar instalando unos pilotes para un pequeño muelle, encontraron una piedra anormalmente grande,-cerca de 2 mts- y extrañamente regular. Los pescadores la extrajeron y para su sorpresa encontraron una cara esculpida en la piedra, representando a un personaje ricamente ataviado e inscripciones jeroglíficas inusualmente largas. La pieza arqueológica fue trasladada al Museo de Antropología, en Jalapa, Veracruz, donde actualmente se encuentra adecuadamente protegida.

El lenguaje identificado en la estela se ha clasificado como pre-proto-Zoque y es el ancestro de cuatro lenguas que actualmente se hablan en los estados de Veracruz, Tabasco, Chiapas y Oaxaca.

El desciframiento es un proceso complejo que da cuenta de la configuración en que se usan los signos en un texto. El texto en la estela de La Mojarra, se refiere a un rey guerrero y da una larga descripción de su ascenso al trono tras varios años de guerra y actividades rituales. Es poco usual la mención que se hace de aquellos que lo apoyaban. Para el desciframiento, los investigadores se apoyaron también en otras inscripciones similares, en particular en aquellas que se encuentran en la estatuilla de Tuxtla, descubierta en 1902 y actualmente en el Museo Smithsoniano y a la cual se hace referencia en la estela de La Mojarra.

Dibujo de la estela de La Mojarra.

El texto jeroglífico está formado por 21 columnas y ha permitido demostrar que existen similaridades entre la escritura Maya y la Mixe-Zoque. El desciframiento ha permitido avanzar en la comprensión e historia de la lengua Zoque ya que los signos de la estela corresponden a ella en su mayoría y, sólo secundariamente, a la lengua Mixe. En general estos resultados confirman que la escritura epi-Olmeca está cercanamente relacionada con la Maya.

Los investigadores destacan que aún falta mucho por hacer en cuanto al análisis del origen de las lenguas mesoamericanas. Parece especialmente importante la posibilidad de rescatar nuevas piezas que permitan, como en el caso de la estela de La Mojarra, mejorar la comprensión de textos como los de los monumentos de Tres Zapotes y del Cerro de las Mesas y profundizar, así, tanto en la historia de las lenguas Mixe, Zoque y sus antecesoras, como en el análisis de las costumbres y conocimientos de los antiguos pobladores de esta región.

E. Olluc

EL SUEÑO DE BABBAGE

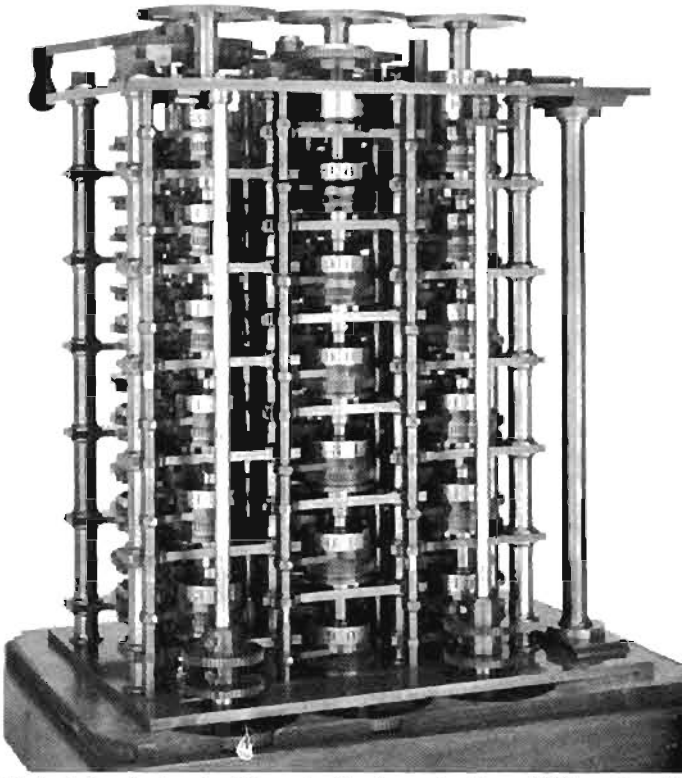
Charles Babbage es, sin lugar a dudas, una figura clave en la historia de la computación. Poseedor de una personalidad controvertida que le atrajo no pocos enemigos, a Babbage le corresponde el mérito de haber concebido, a principios del siglo XIX, la primera computadora automática.

Nacido el 26 de diciembre de 1792, en Teignmouth, Devon, Inglaterra, vivió la mayor parte de su vida obsesionado por la idea de mecanizar el cálculo de tablas matemáticas en una época en que la inexactitud era la regla; para muestra, un botón: en 1834, Dionysius Lardner reportó que en una selección aleatoria de cuarenta volúmenes de tablas matemáticas se contabilizaron 3700 erratas. La producción de estas herramientas era, pues, una labor tediosa y propensa al error en, prácticamente, cualquier etapa de su preparación, desde el cálculo hasta la tipografía. Fue así como en 1812 o 1813, se le ocurre a Babbage la idea de automatizar estas tareas mediante un proceso mecánico que eliminara todas las posibles fuentes de error, incluidos los de transcripción e imprenta. Para ello imaginó una pequeña máquina que podía realizar ciertos cálculos matemáticos con una precisión de hasta ocho decimales; a esta calculadora le dio el nombre de "máquina de diferencias" (*difference engine*), debido a que se basaba en el principio matemático conocido como método de las diferencias finitas; por medio de él es posible calcular valores sucesivos de funciones polinomiales utilizando únicamente la adición. En 1823 obtiene el apoyo del gobierno británico para la construcción de un dispositivo más complejo, el cual tendría una capacidad de cómputo de veinte decimales. Su construcción exigía técnicas de ingeniería mecánica muy precisas, a las que Babbage se dedicó, ocupando el resto de su tiempo en su cátedra de matemáticas en Cambridge; finalmente, el proyecto fue abortado debido a una disputa con su ingeniero en jefe, Joseph Clement. Habían sido construidas cerca de la mitad de las piezas necesarias para ensamblar la máquina.

Charles Babbage (1792-1871).

A pesar del fracaso, a mediados de la década de 1830, Babbage hace planes para la construcción de otro ingenio, la llamada "máquina analítica". Y es en esta empresa en que el talento y el carácter visionario de Charles Babbage brillan con mayor intensidad.

El dispositivo fue ideado para ejecutar cualquier operación aritmética sobre la base de instrucciones contenidas en tarjetas perforadas; sería capaz de recibir entradas de hasta cincuenta dígitos y de ofrecer resultados de hasta cien; contemplaba además la presencia de una unidad de memoria en la cual podrían almacenarse números, debía



Parte de la máquina de diferencias No. 1, construida en 1837 por Joseph Clement, ingeniero en jefe de Charles Babbage (tomado de *Scientific American*, Vol. 268, No. 2, 1993).

ofrecer al usuario la posibilidad de control secuencial, optando por diferentes cursos de acción, dependiendo del resultado de un cálculo y ofrecería la mayoría de los elementos básicos presentes en las computadoras actuales. La "máquina analítica", sin embargo, nunca fue terminada. La razón de ello fue, en gran medida, el escaso desarrollo en las técnicas de precisión para la manufactura de las piezas de metal necesarias. Así las cosas, en 1842, el gobierno británico se retira del proyecto, lo cual obliga a Babbage a modificar sus pretensiones: propone entonces la construcción de un modelo más modesto: la "máquina de diferencias No. 2", la cual tendría una precisión de 31 dígitos y la mitad de las piezas de su venerable antecesora. Entre 1847 y 1849 realiza los planos de su computadora y en 1852 propone el proyecto al gobierno británico, el cual le niega su apoyo. De esta forma, los diseños de Babbage fueron olvidados hasta el descubrimiento de sus notas, en 1937. Sin embargo, la verdadera reivindicación del genio de Babbage ocurriría casi cincuenta años después.

Un artículo publicado en *Scientific American*, en su número correspondiente a febrero de este año, relata la aventura. El autor es Doron D. Swade, uno de los protagonistas. En 1985, bajo los auspicios del Museo de la Ciencia de Londres, y con el fin de conmemorar el bicentenario del nacimiento de Babbage, Swade, Alan G. Bromley, de la Universidad de Sydney y dos ingenieros: Barrie Holloway y Reg Crick, emprendieron la construcción de la "máquina de diferencias No. 2". El proyecto arrojó resultados sorprendentes: los diseños de Babbage no sólo requerían el concurso de una tecnología muy desarrollada, sino que pusieron de manifiesto la gran habilidad de este hombre para visualizar mecanismos complejos sin la ayuda de modelos físicos.

En 1992 el museo presentó al público el fruto final de su esfuerzo. El sueño de Babbage es una realidad... ciento cincuenta años después.

José Emilio Salceda Ruanova

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Elementos es una revista de divulgación científica de ciencias naturales y aplicadas. Se publica bajo los auspicios de la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado de la Universidad Autónoma de Puebla. Entre sus objetivos destaca el servir como vehículo de comunicación entre la comunidad científica y los estudiantes del nivel medio superior y superior, así como el público en general.

Los artículos que se sometan a consideración editorial de la revista deberán enviarse en original y dos copias a:

Revista Elementos
Dr. Enrique Soto
Universidad Autónoma de Puebla
14 Sur 6301, CU
Apartado Postal 406
Puebla, Pue. 72000
Tel (22) 44 16 57
Fax (22) 33 10 35

Todos los artículos sometidos a consideración editorial serán evaluados por especialistas en la disciplina, de acuerdo con los criterios establecidos por el consejo editorial.

Los manuscritos deberán ajustarse a las siguientes normas:

1.- El material deberá ser presentado usando un lenguaje claro y sencillo, evitando el uso de términos técnicos especializados. Cuando éstos sean indispensables, deberá explicarse su significado en una nota. Se recomienda el uso de figuras ilustrativas y cuadros que permitan sintetizar y aclarar conceptos relevantes o difíciles. Los artículos deberán ser breves, con un máximo de 16 cuartillas, idealmente alrededor de 10. Se recomienda usar subtítulos e incisos a fin de facilitar la lectura.

2.- Las referencias en el texto se indicarán por un número de acuerdo al orden en que aparecen. Debido al carácter de la revista, deberán incluirse sólo referencias a trabajos claves sobre el tema en cuestión. Al final del texto la lista de referencias deberá asentarse como sigue: Autores con sus iniciales, título del trabajo, revista o libro de donde procede, volumen, año y páginas (se evitarán las abreviaturas, especialmente en publicaciones en idioma distinto al español).

Ejemplos

En el caso de artículos en revistas:

Sánchez-Sandoval, A., González, E. y Elizalde, M.P., Mendeleiev, ¿un científico romántico o clásico?, *Elementos*, Vol. 2, 1990, pp. 49-58.

En el caso de artículos en libros:

Bunge, M., La bancarrota del dualismo psiconeural, en *La conciencia*, Editor Fernández Guardiola, A., Trillas, México, D.F., 1979, pp. 71-84.

En el caso de libros:

Chalmers, A.F., *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo Veintiuno, México, D.F., 1989.

3.- Las figuras, fotografías o gráficas deberán presentarse en papel brillante o en forma de dibujos a tinta china sobre papel albanene. Al preparar las figuras deberá tenerse en consideración que comúnmente éstas se reducen de tamaño, por ello, la simbología deberá ser clara y diferenciable.

Al final del texto deberán incluirse los pies de figura. No deberán incluirse figuras a las que no se haga referencia en el texto, o figuras sin su correspondiente leyenda al pie.

En lo posible deberá evitarse el uso de materiales previamente publicados. Sin embargo, cuando ello se considere indispensable, será responsabilidad del autor obtener los permisos necesarios para su reproducción.

4.- Deberá especificarse la institución donde trabajan cada uno de los autores, e información sobre el domicilio y teléfono del autor responsable.

5.- En caso de que se haya usado un procesador de textos computarizado se recomienda enviar el disco con el texto, indicando el procesador que se utilizó.

Mujer con cochecito de niño, 1950

PABLO RUIZ PICASSO (1881-1973)

Impensable pretender con el lenguaje escrito referirse a lo que sólo Picasso con el pincel pudo decir. Asombro, es quizá la única palabra que da una idea de su obra.

El 8 de abril de 1973 tuvo un atardecer soleado, cálido y lleno de amargura. Han pasado ya veinte años de su muerte y, sin embargo, su obra sigue tan presente, cada vez más nueva y original, siempre más profunda. Sus formas, sus colores, persisten, persisten...