

Revista de Ciencias Exactas, Naturales y Aplicadas

elementos

LASERES
*Conceptos básicos,
funcionamiento
y aplicaciones*

**GALILEO Y LA
IDEALIZACION**

*Hacia la unidad de
fuerzas en el universo*

Telefonía del futuro

elementos

EDITORIAL

2

ARTICULOS

Conceptos básicos, funcionamiento y aplicaciones de los láseres

Julio G. Mendoza Alvarez 3

Hacia la unidad de fuerzas en el universo

Arnulfo Zepeda, José Luis Lucio 15

Un programa simulador de circuitos para microcomputadoras de uso personal

Arturo Prieto Fuenlabrada, Mariano Aceves Mijares, Tomás Flores 19

Más allá de la forma

María Eugenia Mendoza, Cristóbal Tabares 23

Galileo y la idealización

Elia Nathan 27

El proyecto de una ciencia universal en Cristian Wolff

Mauricio Beuchot 37

El estatus de las clases en el logicismo de Russell

Ricardo Gómez 41

INFORMACION

55

- Los teléfonos del futuro
- La fisiología de aerobica
- La fisiología en el ICUAP

NOTICIAS

61

- Se establece biblioteca genética de los cromosomas humanos
- Grupo internacional de investigadores propone ecuación universal
- Científico de la UNAM premiado por la Sociedad Americana de Astronomía
- Reconocimiento a la UAP

AUTORES Y COLABORADORES

64

REVISTA TRIMESTRAL

No. 3 • Año 1 • Vol. 1

ABRIL-JUNIO de 1985

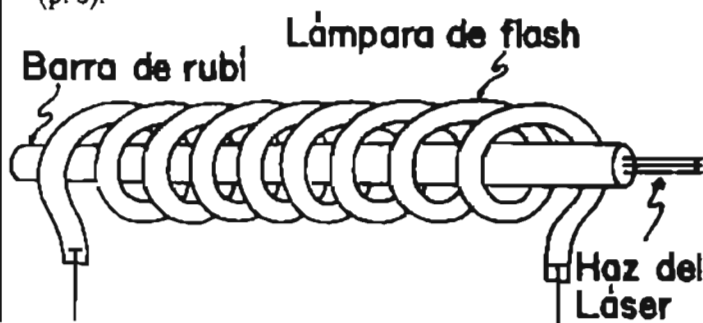


"Galileo fue el primero en poner a prueba experimental las leyes escolásticas del movimiento, probando que se podían aplicar al mundo real de la experiencia". (p. 27).



"Se nota cierta insistencia por parte de Wolff en dejar bien claro que el método universal no es más que la aplicación de la lógica genuina..." (p. 37).

"El láser de rubí fue el primer láser que funcionó con éxito en 1960. Consiste esencialmente de un cristal de rubí cuyos extremos son planos, uno de los cuales está completamente plateado y el otro es semiplateado". (p. 3).



EDITORIAL

Desde su fundación, el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de Tonanzintla (INAOE), ha mantenido lazos estrechos de colaboración con la Universidad Autónoma de Puebla, lazos que han consistido en intercambios académicos e investigaciones conjuntas.

Esta tradicional colaboración, que hace 35 años dio la oportunidad a nuestra Universidad de crear la segunda escuela de Ciencias en nuestro país, se extiende ahora al campo de la difusión del conocimiento científico tecnológico al incorporarse al consejo editorial de *Elementos* el doctor Jorge Ojeda, director del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, a quien damos nuestra más cordial bienvenida agradeciéndole el interés y entusiasmo que ha puesto en este reciente punto de vinculación intelectual que se ha establecido entre las instituciones anteriormente mencionadas.

La física de estado sólido es en la actualidad la rama de la física a la que más investigadores se dedican en todo el mundo y seguramente la que ha producido las más importantes aplicaciones tecnológicas que están influyendo en la conducta de las sociedades industrializadas, y cuya potencialidad previsible abarca niveles aún desconocidos.

Elementos presenta a sus lectores un artículo técnico sobre la naturaleza de los láseres, que sin duda son uno de los más importantes hallazgos de la investigación de los sólidos; continuamos con un elegante y claro artículo sobre el estudio de los materiales, en específico de la estructura cristalina de los sólidos que como nos comentan los autores ha desembocado en la fabricación explosiva de materiales para diversos usos tecnológicos; como muestra de la influencia que en los modos de vida de las sociedades industriales adquiere este tipo de investigación, publicamos consideraciones so-

bre estos tópicos que entre otras cosas nos muestran la enorme cantidad de recursos humanos y financieros destinados a la investigación por los grandes laboratorios privados, ejemplificándonos hasta qué punto sus aplicaciones científicas pueden afectar nuestros modos de vida.

Uno de los objetivos principales que persigue *Elementos* es el de publicar artículos que refuerzan la formación del estudiante de ciencias, que puedan ser empleados como material de consulta y de discusión. Desde su aparición, *Elementos* ha venido publicando investigaciones de historia y filosofía de la ciencia, que pueden auxiliar los programas de estudio que incluyen estas materias, ya que describen la situación actual de esa área de la investigación científica.

En el número tres de *Elementos* continuamos publicando investigaciones acerca del desarrollo de la lógica matemática, que en el caso del artículo del doctor Benclot, colaborador permanente de *Elementos*, nos describe el pensamiento de Cristian Wolff: uno de los impulsores de la lógica matemática en el siglo XVIII, mediante su proyecto de construir matemáticamente la ciencia inspirado en el método empleado en los célebres *Elementos de geometría* de Euclides.

Sobre el mismo tema pero ya en período de madurez de la lógica matemática, ofrecemos un trabajo sobre el famoso autor de *Principia mathematica*, Bertrand Russell, en el cual se analizan las consecuencias filosófico-matemáticas de la teoría de las clases.

Recomendamos también a nuestros lectores, en especial a aquellos que cursan materias de filosofía, estudiar y debatir la investigación que nos presenta la maestra Nathan, sobre uno de los fundadores de la mecánica clásica quien, en opinión de la autora, introduce el concepto de situación "ideal" en la física.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

RECTOR

Lic. Alfonso Vélaz Pleigo

SECRETARIO GENERAL

Dr. Hugo Pérez Barrientos

SECRETARIO DE RECTORIA

Lic. José Roger Cortés

JEFE DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Dr. Víctor Manuel Ráez Parra

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE

PUBLICACIONES

Hugo Vargas

DIRECTORES

Jorge Barona Díaz

Jesús Mendoza Álvarez

CONSEJO EDITORIAL

Maria de la Paz Elizalde González

Julio Mendoza Álvarez

Jorge Ojeda Castañeda

Jesús Reyes Corona

Luis Rivera Terrazas

Gerardo Torres del Castillo

Ruth Urba Holmgren

Edición:

Mariano Morales

Fotografía de portada:

Everardo Rivera

Material fotográfico:

CIDCAV y archivo Elementos

Diseño y formación:

Jesús Fernández, Salomón Fragozo,

Alfonso Pandal.

ELEMENTOS es una publicación trimestral de la Universidad Autónoma de Puebla editada con el apoyo del Programa Nacional de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública. Los artículos firmados son responsabilidad de su autor. Se autoriza la reproducción de los artículos citando la fuente. Toda correspondencia debe dirigirse a Revista **ELEMENTOS**: Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla, Maximino Avila Camacho No. 219, Puebla, Pue., México. Tarifa de suscripción: año (cuatro números): República Mexicana \$600.00 M.N.; Estados Unidos, Canadá y Europa \$32.00 U.S.; Centro y Sudamérica \$16.00 U.S.

Impreso en México.

elementos

CONCEPTOS BASICOS, FUNCIONAMIENTO Y APLICACIONES DE LOS LASERES

Julio G. Mendoza Alvarez *

Introducción

A partir de su invención en 1960 los láseres han adquirido una enorme importancia en varios campos de la ciencia y la tecnología debido a sus múltiples usos tanto en la investigación básica como en sus aplicaciones tecnológicas.

Históricamente el láser surgió como una extensión natural de las técnicas de amplificación estimulada que inicialmente se desarrollaron para las microondas. Esta emisión estimulada de radiación para frecuencias de microondas fue propuesta independientemente por Townes¹, Weber² y Basov³; y la primera demostración de amplificación de microondas por emisión estimulada de radiación (máser) fue reportada por Gordon *et al*⁴. La primera propuesta para extender el principio del máser para frecuencias ópticas fue hecho por Schawlow y Townes⁵ en 1958; y la primera acción láser fue observada por Maiman⁶ en 1960. Este láser se obtuvo del rubí a temperatura ambiente y fue bombeado ópticamente usando una lámpara de flash similar a las usadas en la fotografía. A partir de este descubrimiento del efecto láser, surgieron una avalancha de trabajos en muchos laboratorios, que pronto condujeron a la demostración del efecto láser en otros sistemas, en otros sólidos, en gases, en semiconductores y en líquidos.

* Departamento de Física del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN. Apartado Postal 14-740, México, D.F. 07000



Conceptos básicos sobre la operación del láser

Comencemos recordando que un sistema atómico se caracteriza por estados discretos de energía y que usualmente el átomo se encuentra en su estado de menor energía al que se conoce como "estado base". Un átomo que se encuentre en su estado base puede ser excitado a estados de mayor energía a través de varios procesos de excitación como son colisiones con otras partículas, o absorción de radiación electromagnética (fotones) de frecuencias apropiadas; este último proceso se conoce como absorción estimulada o simplemente absorción. Por otro lado, cuando el átomo está en un estado excitado, puede ocurrir una transición a un estado de menor energía a través de la emisión de fotones; sin embargo este proceso de emisión puede ocurrir en dos formas: emisión espontánea y emisión estimulada, esto fue primeramente predicho por Einstein en 1917.

Sean N_1 y N_2 el número de átomos por unidad de volumen que se encuentran en los niveles de energías E_1 y E_2 respectivamente. Un átomo en el nivel de menor energía puede absorber radiación y excitarse al nivel E_2 ; este proceso sólo puede ocurrir en presencia de radiación y es el llamado proceso de absorción. La razón de absorción dependerá de la densidad de radiación que hay a la frecuencia que corresponde a la energía de separación de los niveles, esto es (Figura 1),

$$\omega = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (1)$$

o sea que el proceso de absorción dependerá de la densidad de energía de radiación $u(\omega)$ a la frecuencia ω ; la razón de absorción será también proporcional al número de átomos en el nivel E_1 disponibles para ser excitados. Podemos entonces escribir:

$$\frac{\text{No. de absorciones}}{\text{Unidad de tiempo} \times \text{unidad de vol.}} = N_1 B_{12} u(\omega) \quad (2)$$

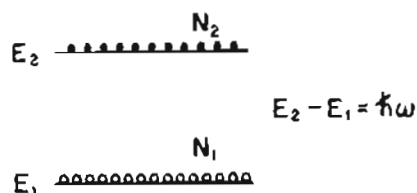


FIGURA 1

donde B_{12} representará la probabilidad de que se realice la transición.

Veamos ahora el proceso inverso; esto es, la emisión de fotones de frecuencia ω cuando el átomo se desexcita del nivel E_2 al E_1 . En la emisión espontánea, la emisión de fotones ocurre en forma espontánea sin que sea necesario que haya un campo de radiación presente. Esta razón de emisión espontánea será proporcional al número de átomos excitados en el nivel E_2 ; si A_{21} representa la probabilidad de que ocurra esta emisión espontánea, podremos escribir:

$$\frac{\text{No. de emisiones espontáneas}}{\text{Unidad de tiempo} \times \text{unidad de vol.}} = N_2 A_{21} \quad (3)$$

Observemos que la razón de emisión espontánea no depende de la densidad de energía de radiación $u(\omega)$, porque no necesita de la presencia de fotones para producirse.

El otro tipo de emisión posible cuando se desexcita un átomo es la llamada emisión estimulada. Como su nombre lo

indica, esta emisión está estimulada por la presencia de un campo de radiación y sólo ocurrirá si un fotón estimula al átomo para que se desexcite del nivel E_2 al nivel E_1 . Para este proceso, la razón de emisión estimulada será proporcional a la densidad de energía de radiación $u(\omega)$ y tendremos que:

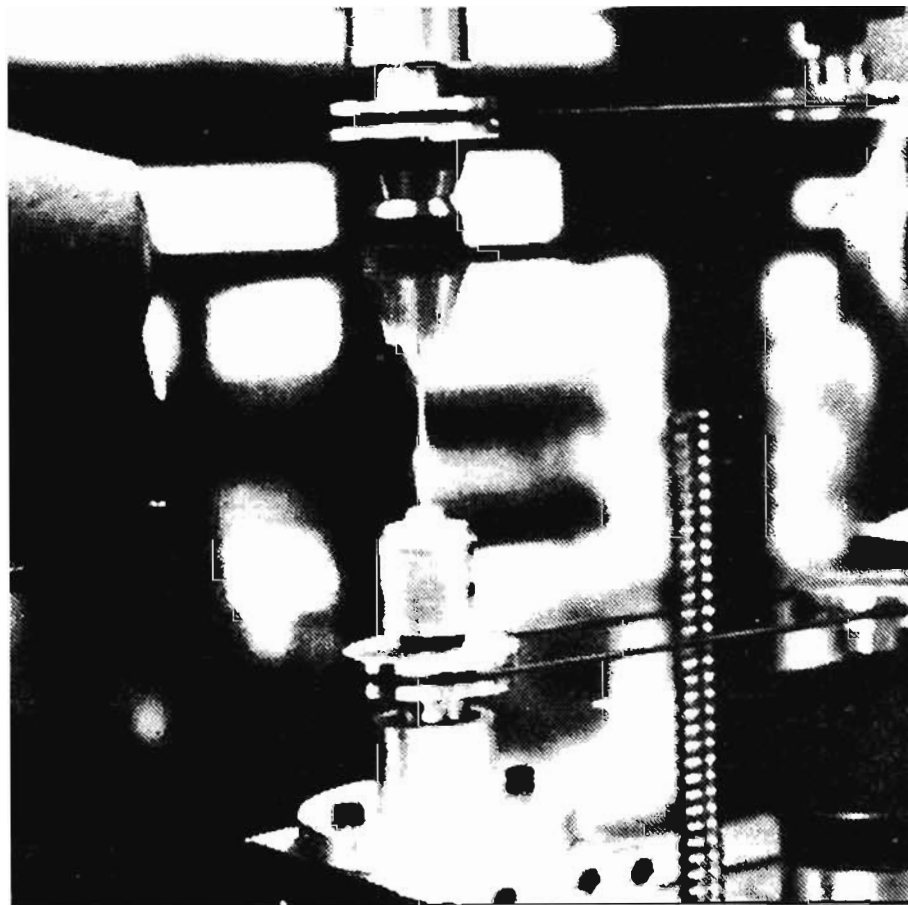
$$\frac{\text{No. de emisiones estimuladas}}{\text{Unidad de tiempo por unidad de vol.}} = N_2 B_{21} u(\omega) \quad (4)$$

siendo B_{21} la probabilidad de que ocurra el proceso de emisión estimulada. Si el sistema de átomos está en equilibrio térmico, entonces el número de transiciones del nivel E_1 al E_2 debe ser el mismo que el de transiciones del nivel E_2 al E_1 , o sea que:

$$N_1 B_{12} u(\omega) = N_2 A_{21} + N_2 B_{21} u(\omega) \quad (5)$$

o también:

$$u(\omega) = \frac{A_{21}}{(N_1/N_2) B_{12} - B_{21}} \quad (6)$$



De la ley de Boltzmann podemos obtener una expresión para la razón de las poblaciones de los niveles E_1 y E_2 a la temperatura T :

$$\frac{N_1 \exp(-E_1/KT)}{N_2 \exp(-E_2/KT)} = \exp \frac{(E_2-E_1)}{KT} = \exp \frac{h\omega}{KT} \quad (7)$$

$$u(\omega) = \frac{A_{21}}{B_{12} \exp(h\omega/KT) - B_{21}} \quad (8)$$

Por otro lado, de la ley de radiación de cuerpo negro conocida como ley de Planck, la densidad de energía de radiación a la temperatura T tiene la expresión:

$$u(\omega) = \frac{h\omega^3}{\pi^2 C^3} \frac{1}{\exp(h\omega/KT) - 1} \quad (9)$$

comparando entonces las expresiones para $u(\omega)$ dadas en las ecuaciones (8) y (9), obtendremos:

$$B_{12} = B_{21} = B \quad (10)$$

y

$$\frac{A_{12}}{B_{21}} = \frac{h\omega^3}{\pi^2 C^3} \quad (11)$$

O sea que las probabilidades de absorción estimulada y emisión estimulada son las mismas, y la razón de los coeficientes A y B estará dada por la ecuación (11). Sustituyendo la ecuación (11) en la ecuación (9), obtendremos que en equilibrio térmico la razón del número de emisiones espontáneas al número de emisiones estimuladas será:

$$\frac{A}{B u(\omega)} = \exp \left(\frac{h\omega}{KT} \right) - 1 \quad (12)$$

De modo que si:

$\omega \ll \frac{KT}{h}$ número de emisiones estimuladas $\gg$ número de emisiones espontáneas; si: $\omega \gg \frac{KT}{h}$ número de emisiones espontáneas $\gg$ número de emisiones estimuladas.

Para fuentes ópticas normales $T \sim 1000^\circ K$, se tiene $\frac{KT}{h} \sim 10^{14} \text{ seg}^{-1}$; ya que para la región óptica $\omega \sim 4 \times 10^{15} \text{ seg}^{-1}$, vemos que para frecuencias ópticas estaremos en la condición $\omega \gg \frac{KT}{h}$.

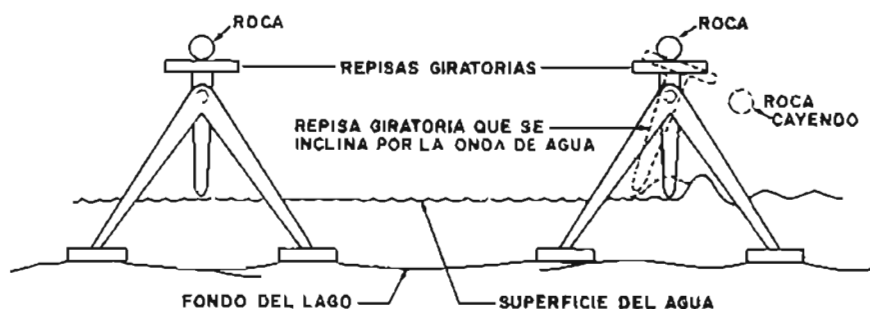


FIGURA 2

y por lo tanto la emisión será predominantemente debida a transiciones espontáneas.

Una diferencia fundamental entre las emisiones espontánea y estimulada es que en el caso de la emisión espontánea los fotones emitidos salen con su vector de onda orientado en una dirección aleatoria lo cual significa que el haz de fotones emitidos es "incoherente". Por otro lado, el fotón emitido en el proceso de emisión estimulada es una réplica del fotón que estimuló la transición, o sea que tiene el mismo vector de onda y es emitido en fase con el fotón incidente; entonces, el haz de fotones emitidos en la emisión estimulada es "coherente" y ésta es una de las características fundamentales de la radiación emitida por un láser.

El proceso de emisión estimulada se puede visualizar usando una analogía con las ondas en el agua.⁷ En la figura 2 se muestra la idea de esta analogía. Supongamos que se tiene una base asentada en el fondo de un lago y que sujeto a la parte superior se encuentra una repisa que tiene libertad de oscilación y cuyo extremo inferior toca la superficie del agua; el proceso de excitar un electrón correspondería a elevar una roca del fondo del lago a la repisa, que constituye un estado excitado metaestable. Las ondas de agua que inclinan la repisa y hacen caer la roca corresponderían a los fotones que estimulan al electrón a caer a su estado de menor energía; cuando la roca cae al agua genera nuevas ondas que se suman a las ondas originales, esto es el equivalente del fotón producido por el electrón al caer a su estado base, este fotón se suma al fotón original que estimuló la transición. La diferencia entre la emisión estimulada y el ejemplo de las ondas es que el fotón emitido al decaer el electrón del estado excitado tiene la misma frecuencia que el fotón que estimuló la transición; en el caso de las on-

das, la onda generada por la roca que cae no tendrá necesariamente la misma frecuencia de la onda que inclinó la repisa para hacer caer la roca.

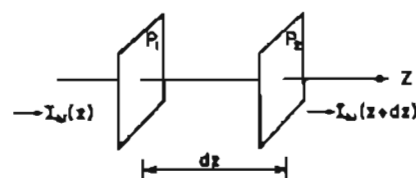


FIGURA 3

Consideremos ahora que se tiene un medio donde hay emisión estimulada y supongamos que un haz monocromático de radiación de frecuencia ω se propaga a lo largo de la dirección Z , como muestra la figura 3. Queremos obtener una expresión para la razón de cambio de la intensidad del haz conforme éste se propaga en ese medio; para esto consideramos 2 planos de área S , perpendiculares a la dirección Z en Z y $Z + dz$. El volumen del medio entre los planos será Sdz y entonces de la ecuación (2):

$$\frac{\text{No. de absorciones}}{\text{Unidad de tiempo}} = N_1 B_{12} u(\omega) S dz \quad (13)$$

Como cada fotón tiene energía $h\omega$ entonces:

$$\frac{\text{energía absorbida}}{\text{unidad de tiempo}} = N_1 B_{12} u(\omega) h\omega S dz \quad (14)$$

De forma similar, la energía emitida por la emisión estimulada al medio será:

$$\frac{\text{energía emitida}}{\text{unidad de tiempo}} = N_2 B_{21} u(\omega) h\omega S dz \quad (15)$$

La emisión espontánea no fue considerada ya que como se propaga en todas direcciones, eventualmente se pierde fuera de la dirección del haz. De las ecuacio-

nes (14) y (15) junto con la ecuación (10), podemos escribir:

$$\frac{\text{Cantidad neta de energía absorbida}}{\text{Unidad de tiempo}} = (N_1 - N_2) B_u(\omega) \hbar \omega S dZ \quad (16)$$

Sea $I_\omega(z)$ la intensidad del haz en el plano P_1 . La energía que entra al elemento de volumen $S dZ$ por unidad de tiempo será $I_\omega(z) S$; y la energía que abandona ese elemento por unidad de tiempo será:

$$I_\omega(z + dz) S = I_\omega(z) S + \frac{\partial I_\omega}{\partial z} dz S. \text{ Por lo tanto:}$$

$$\frac{\text{Cantidad neta de energía que sale de } S dZ}{\text{Unidad de tiempo}} = \frac{\partial I_\omega}{\partial z} dz S \quad (17)$$

Para tener un equilibrio energético, la cantidad en la ecuación (17) debe ser igual al negativo de la energía neta absorbida por el medio entre z y $z + dz$; esto es,

$$\frac{\partial I_\omega}{\partial z} dz S = -(N_1 - N_2) B_u(\omega) \hbar \omega S dZ \quad (18)$$

tomando en cuenta la ecuación (11):

$$\frac{\partial I_\omega}{\partial z} = -\frac{\pi^2 C^3}{\omega^2 t_{sp}} u(\omega) (N_1 - N_2) \quad (19)$$

donde $t_{sp} = 1/A$ corresponde a la vida media espontánea del nivel excitado. Existe una relación entre la densidad de energía $u(\omega)$ y la intensidad

$$I_\omega : I_\omega = v \int u(\omega) d\omega$$

donde la integral sobre la frecuencia se hace para el intervalo de frecuencias existentes en el campo de radiación; si suponemos que este campo tiene una frecuencia central ω con un ancho de línea $\Delta\omega$, podremos aproximar:

$$I_\omega \approx v u(\omega) \Delta\omega = \frac{c}{n_o} u(\omega) \Delta\omega \quad (20)$$

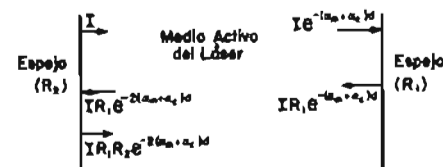


FIGURA 4

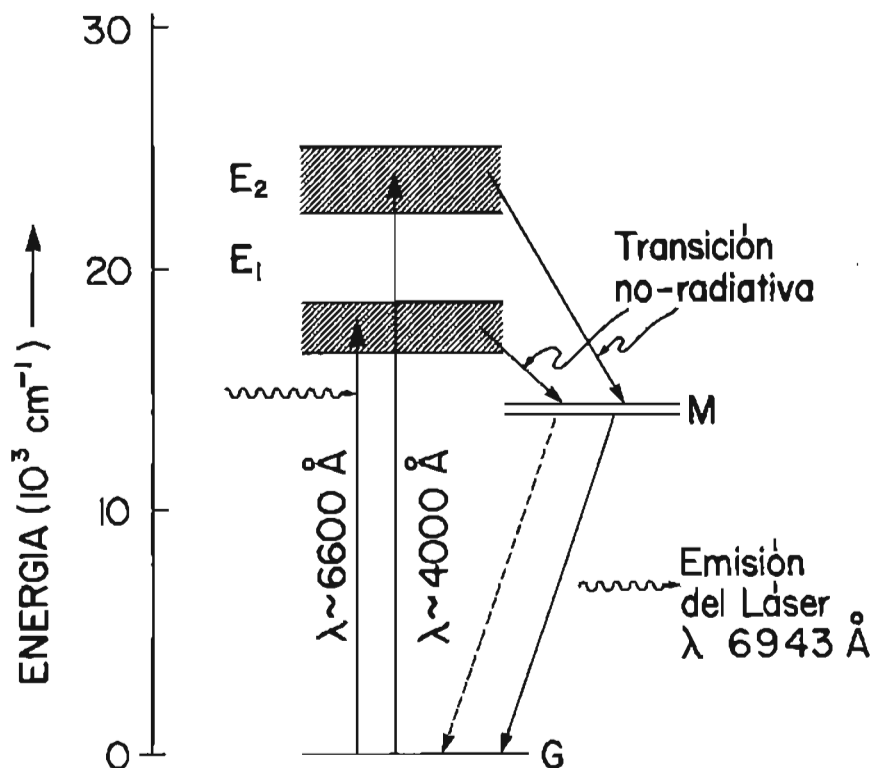


FIGURA 5

siendo v la velocidad del campo de radiación en el medio y n_o su índice de refracción. Entonces la ecuación (19) se reduce a:

$$\frac{1}{I_\omega} \frac{dI_\omega}{dz} = -\alpha_\omega \quad (21)$$

$$\text{donde: } \alpha_\omega = \frac{\omega^2 C^2 n_o}{\omega^2 \Delta\omega t_{sp}} (N_1 - N_2) \quad (22)$$

integrando la ecuación (21):

$$I_\omega(z) = I_\omega(0) \exp(-\alpha_\omega z) \quad (23)$$

Vemos entonces que si $N_1 > N_2$ y $\alpha_\omega > 0$, la intensidad del haz decrece exponencialmente al viajar dentro del medio. Por lo tanto en equilibrio térmico, como el número de átomos en el estado base es mayor que el de átomos en el estado excitado, la energía del haz es absorbida en el medio.

En el caso opuesto, cuando hay más átomos en el estado excitado que en el estado base (situación que se conoce como "inversión de población"), entonces

$N_2 > N_1$, $\alpha_\omega < 0$ y de la ecuación (23) vemos que la intensidad del haz aumenta conforme se propaga en el medio, o sea que hay una *amplificación* de la radiación en el medio, a la que también se conoce como *ganancia*.

Esta inversión de población que da origen a la amplificación de la radiación es uno de los mecanismos fundamentales para el sistema láser; el otro lo constituye la formación de la cavidad resonante que pueda mantener las oscilaciones de la radiación. Esta cavidad se forma colocando el medio activo entre un par de espejos. Para poder mantener estas oscilaciones es esencial que las pérdidas netas que sufre el haz sean compensadas por la ganancia que experimenta el haz en el medio. La condición umbral se obtendrá cuando las pérdidas totales sean exactamente iguales a la ganancia.

Para obtener dicha condición umbral haremos lo siguiente: sea d la longitud del medio activo, sean R_1 y R_2 las reflectividades de los espejos colocados en los extremos de la cavidad resonante y sea I la intensidad del haz en la posición correspondiente a uno de los espejos.

Cuando el haz viaja una longitud d a través del medio activo, experimenta una amplificación por un factor $\exp(-\alpha_m d)$ y se disminuye por un factor $\exp(-\alpha_c d)$ debido a las pérdidas causadas por absorción, dispersión, etcétera, en el medio del láser. Al reflejarse el haz en el espejo de reflectancia R_1 , la intensidad se reduce a $I R_1 \exp(-\alpha_m d - \alpha_c d)$. Un segundo viaje de regreso a través del medio de longitud d y una reflexión en el espejo con reflectividad R_2 nos darán un haz cuya intensidad al volver al punto de partida es $I R_1 R_2 \exp[-2d(\alpha_m + \alpha_c)]$. Por lo tanto la condición umbral se podrá establecer como:

$$R_1 R_2 \exp[-2d(\alpha_m + \alpha_c)] = 1 \quad (24)$$

(véase figura 4) o también:

$$\alpha_m = \frac{1}{2d} \ln(R_1 R_2) - \alpha_c \quad (25)$$

Substituyendo a α_m por la expresión dada en la ecuación (22), obtendremos que la condición umbral para la inversión de población necesaria para tener oscilación de láser será:

$$N_2 - N_1 = \frac{\omega^2 I_{sp} \Delta\omega}{\pi^2 c^2 n_o} \left[\alpha_c - \frac{1}{2d} \ln(R_1 R_2) \right] \quad (26)$$

Hasta aquí hemos obtenido las condiciones que son necesarias para tener amplificación en el medio activo del láser y para llegar a la condición umbral en lo que respecta a cuántos electrones debemos "bombear" al nivel excitado del átomo, para que la amplificación debida a la emisión estimulada compense a las pérdidas totales que sufre la radiación dentro de la cavidad del láser. Con estos conceptos básicos sobre cómo se origina el efecto láser en un sistema atómico en presencia de un campo de radiación, pasaremos ahora a describir brevemente los diferentes tipos de láser de uso actual.

Tipos de láseres

1) El láser de rubí

Como se mencionó al inicio, el láser de rubí fue el primer láser que funcionó con éxito en 1960. Consiste esencialmente de un cristal de rubí cuyos extremos son planos, uno de los cuales está completamente plateado y el otro es semiplateado; estos dos extremos forman la cavidad resonante de este láser. El rubí es un cristal de óxido de aluminio con impurezas de cromo que son las que le dan el tono rosado-rojizo característico de esta piedra preciosa. Para obtener un

buen desempeño del láser se necesita una concentración de cromo del orden del 0.05% de los átomos. En la figura 5 se muestran los niveles de energía de los átomos de cromo en el cristal; los iones de cromo absorben la radiación emitida por una lámpara de flash de xenón (figura 6) y se excitan a los niveles E_1 y E_2 desde donde sufren una rápida recombinación no-radiativa (que no emite fotones) hacia el nivel metaestable M_0 . La inversión de población entre M y G da origen a una emisión láser en $\lambda \sim 6943$ Å. Como se ve en la figura 6 la lámpara de flash que excita al cristal de rubí está conectada a un capacitor que descarga algunos miles de joules de energía en unos pocos milisegundos; esto da una potencia de la lámpara de algunos megawatts. Esta operación de la lámpara da origen a una salida pulsada del láser; en el momento que la lámpara se apaga, la población en el nivel superior (M) se agota rápidamente y la acción del láser se para hasta que venga otro flash de la lámpara.

2) El láser de helio-neón

Este fue el primer láser de gas que funcionó con éxito. Fue fabricado por Ali Javan y colaboradores en Bell Labs en 1961. En los láseres sólidos el mecanismo de bombeo es usualmente el bombeo óptico como es el caso de la lámpara de flash o una lámpara continua de alta potencia; sin embargo, para los láseres de gas el bombeo óptico es muy ineficiente ya que los átomos en un gas se caracterizan por niveles de energía muy estrechos a diferencia de los sólidos que tienen bandas de energía en vez de niveles. Por esto, para los láseres de gas se usa una descarga eléctrica como un método eficiente para producir la inversión de población.

El láser de He-Ne está compuesto de un tubo de descarga largo y estrecho de un diámetro de 1 cm y de 80 cm de largo que se llena con una mezcla de alrededor de 1 torr de He y 0.1 torr de Ne. La mezcla de gases forma el medio activo del láser y esta mezcla está encerrada entre un par de espejos que forman la cavidad resonante (ver figura 7).

Cuando se pasa la descarga eléctrica a través de la mezcla de gases, se aceleran electrones en el tubo los que chocan con los átomos de helio excitándolos a niveles superiores de energía. En la

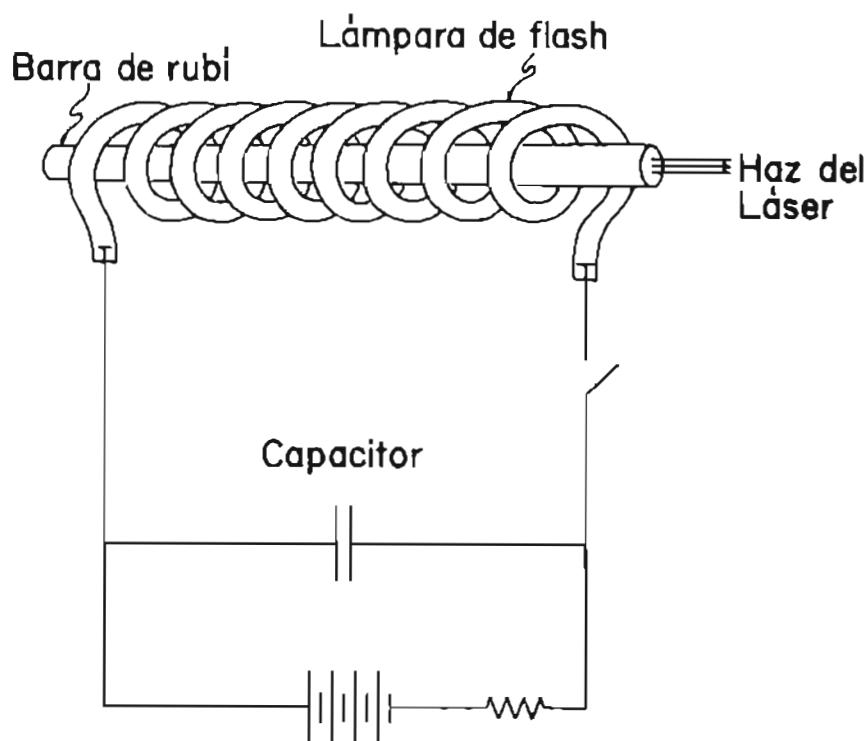


FIGURA 6

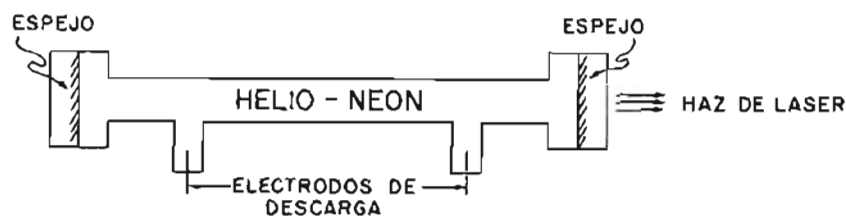


FIGURA 7

figura 8 se muestran los niveles de energía de interés para el helio y el neón. Los átomos de helio se excitan eficientemente a los niveles F_2 y F_3 ; como se ve en la figura 8, los niveles E_4 y E_6 del neón están aproximadamente a la misma energía que los niveles F_2 y F_3 de helio. Así, cuando los átomos excitados de helio en los niveles F_2 y F_3 chocan con átomos de neón en el estado E_1 , se da un intercambio de energía provocando que los átomos de neón se exciten a los niveles E_4 y E_6 , mientras que los átomos de helio se desexcitan al estado base F_1 . De esta forma la descarga eléctrica en el gas estará poblando continuamente los niveles excitados E_4 y E_6 del neón, lo cual va a producir un estado de inversión de población entre estos niveles y los niveles de menor energía E_3 y E_2 . Las transiciones entre estos niveles de energía dará origen a la emisión de radiación en las longitudes de onda:

- i) $3.39 \mu\text{m}$ y $1.15 \mu\text{m}$. Región infrarroja.
- ii) $6328 \text{ \AA}$. Emisión en el rojo.

En principio estas tres líneas de emisión estarán presentes en el láser de helio-neón; sin embargo, se puede hacer una selección de la frecuencia específica de emisión empleando espejos que reflejan solamente una pequeña banda de frecuencias alrededor de la frecuencia de interés.

Las presiones de los dos gases en la mezcla se escogen de tal forma que haya una transferencia eficiente de energía de los átomos de helio a los átomos de neón. Potencias típicas de salida en láseres de helio-neón están entre 1 y 50 mW de emisión continua para potencias de entrada 5 y 10 W.

La luz emitida por los láseres de gas es más direccional y monocromática que la emitida por los láseres de estado sólido; esto se debe principalmente a las imperfecciones siempre presentes en los sólidos y también al calentamiento causado por las lámparas de flash.

3) El láser de dióxido de carbono

En una molécula se tienen dos o más átomos que se enlazan; de este modo, además de los movimientos electrónicos, los átomos en la molécula pueden vibrar en modos diferentes o rotar alrededor

de varios ejes. En la figura 9 se muestran tres diferentes modos de vibración de la molécula de dióxido de carbono (CO_2). Como consecuencia de esto la molécula se caracteriza no sólo por sus niveles electrónicos, sino por niveles vibracionales y rotacionales; cada nivel electrónico se rompe en varios subniveles vibracionales (debido a los movimientos vibracionales) y a su vez cada nivel vibracional se rompe en varios subniveles rotacionales. Las diferencias de energía entre los diferentes niveles corresponden a:

- i) ΔE (electrónica) —región visible y ultravioleta.
- ii) ΔE (vibracional) —región infrarroja.
- iii) ΔE (rotacional) —región del lejano infrarrojo.

En el láser de CO_2 se emplean las transiciones entre el subnivel rotacional de un nivel vibracional y un subnivel rotacional de un nivel vibracional de menor energía. La inversión de población se produce por medio de una descarga eléctrica y la acción láser da una emisión de radiación para longitudes de onda de $10.6 \mu\text{m}$ y $9.6 \mu\text{m}$. La eficiencia del láser de CO_2 aumenta si se mezcla N_2 con el CO_2 . En este caso, las moléculas de N_2 se excitan al nivel vibracional superior y resulta que la energía de este nivel respecto al nivel base vibracional de la molécula de N_2 coincide con la energía que se requiere para excitar la molécula de CO_2 al nivel de donde se hará la transición láser como se ve en la figura 10. Resulta así una transferencia eficiente de energía entre la molécula de N_2 y la de CO_2 , incrementando la eficiencia de este tipo de láser.

Los láseres de CO_2 son mucho más eficientes que otros láseres de gas porque la diferencia de energía entre el nivel inferior de la transición láser y el nivel base es menor que en los otros tipo de láseres, lo cual significa que un mayor porcentaje de la energía que se da para la excitación se convierte en energía de salida del láser, produciendo así eficiencias mayores.

En los láseres de CO_2 se pueden obtener potencias de salida de hasta varios cientos de watts.

4) Láseres de tinta

Las tintas usadas en este tipo de láseres son sustancias orgánicas que tienen la propiedad de absorber la radiación

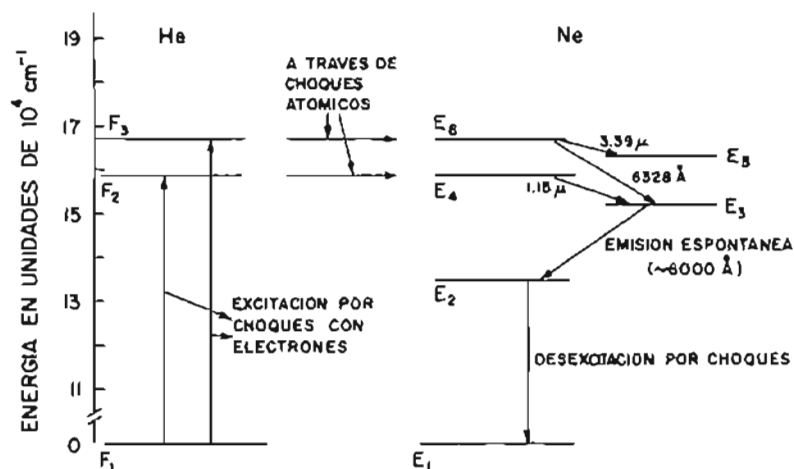
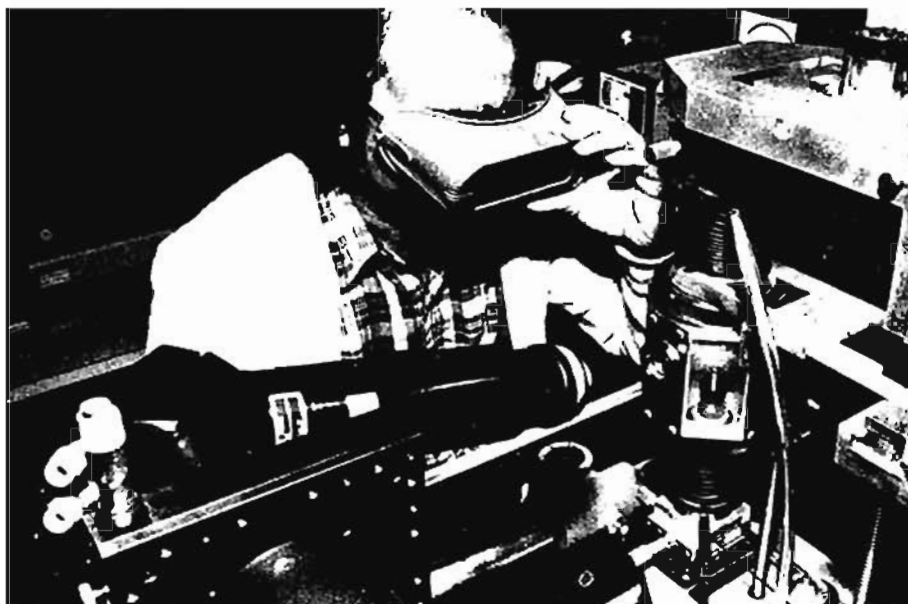


FIGURA 8



que se encuentra en las regiones del cercano ultravioleta, del visible y del cercano infrarrojo del espectro. El interés en este tipo de láseres se debe a que las tintas usadas tienen unos espectros anchos de absorción y fluorescencia y esto da la posibilidad de obtener un láser sintonizable que sea simple y económico.

En estos láseres se emplea el bombeo óptico para excitar a la tinta, para lo cual se usan lámparas de flash o láseres pulsados de gas. Los niveles involucrados en la transición láser son los diferentes subniveles vibracionales de los diferentes estados electrónicos de la molécula de tinta. En la figura 11 se muestra un diagrama típico de niveles de energía de una molécula de tinta; S_0 es el nivel base electrónico el cual contiene un gran número de subniveles que corresponden a los estados vibracionales y rotacionales de la molécula. La colección densa de los subniveles rotacionales se puede ver como un casi continuo de niveles de energía. Cada estado electrónico se caracteriza por este tipo de banda continua de estados; esto es lo que produce el espectro ancho de absorción y emisión característico de una molécula de tinta.

Debido a la absorción de luz, las moléculas de tinta se excitan del estado base S_0 a niveles vibracionales-rotacionales superiores del siguiente estado electrónico S_1 . La redistribución térmica en S_1 hace que la mayoría de las moléculas de tinta decaigan al menor nivel vibracional B de S_1 . La emisión de radiación acontece cuando las moléculas decaen del nivel B a algún subnivel vibracional

de el efecto láser es un semiconductor, que es un sólido cristalino de propiedades especiales.

Cuando un conjunto de átomos ($\sim 10^{23} \text{ cm}^{-3}$) se juntan para formar un cristal, los niveles de energía electrónicos que se tenían para un átomo aislado se transforman en bandas de energía permitida separadas por bandas de energía prohibida para el caso del cristal. Estas bandas de energía permitida están formadas por un casi continuo de niveles electrónicos de energía que puede ser ocupados por los electrones de los átomos del cristal. A la banda de mayor energía totalmente ocupada por electrones se le denomina banda de valencia, y a la banda que le sigue en energía se le conoce como banda de conducción; a la región de energías que separa a estas dos bandas se le denomina "la energía prohi-

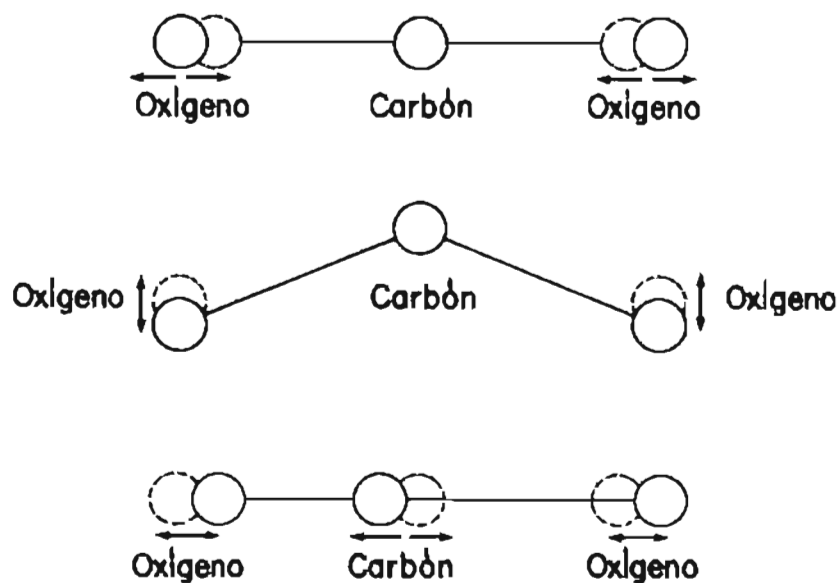


FIGURA 9

rotacional de S_0 . La vida media de las moléculas en el nivel B es del orden de 10^{-9} seg.

Una ventaja en estos láseres de tinta es que se pueden escoger diferentes rangos de emisión en el espectro visible, escogiendo la tinta adecuada según su espectro de fluorescencia. Ejemplos de tintas usadas para este tipo de láseres son: Oxazina I, Cresyl-violeta, Carb 165 y DaTTetra C.

5) Láseres semiconductores

Este es un tipo de láser de estado sólido en el cual el medio donde se produ-

bida del sólido cristalino": E_g (ver figura 12). Un semiconductor es un cristal para el cual E_g tiene valores del orden de 1-3 eV. Para temperatura $T = 0^\circ\text{K}$ la banda de valencia (BV) está totalmente ocupada por electrones y la banda de conducción (BC) con todos sus estados desocupados; para $T \neq 0^\circ\text{K}$ algunos electrones pueden ser excitados térmicamente de la BV a la BC. los electrones en la BC se comportan como casi-libres ya que se pueden mover dentro del cristal y contribuir a la conducción de corriente eléctrica, es por esta razón que en un semiconductor la conductividad del mismo se va a incrementar con la tempera-

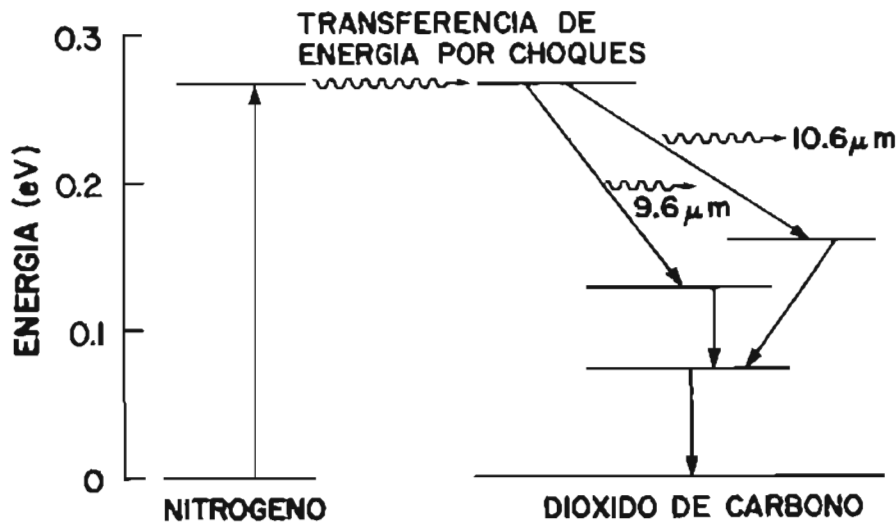


FIGURA 10

tura, ya que a mayor temperatura, mayor densidad de electrones excitados.

Ejemplos de semiconductores son el silicio ($E_g = 1.1$ eV), el germanio ($E_g = 0.76$ eV), el arsenuro de galio ($E_g = 1.42$ eV) y el telurio de cadmio ($E_g = 1.5$ eV).

La forma más directa de cambiar la conductividad en un semiconductor es a través de un proceso de impurificación selectiva el cual consiste en introducir átomos "extraños" a los que forman el semiconductor. Tomemos por ejemplo al silicio; si se impurifica con átomos de fósforo (P), que en su capa más externa tienen un electrón más que el Si, este electrón extra queda muy débilmente ligado al P y fácilmente (a temperatura ambiente) el átomo de P puede ser ionizado, contribuyendo así con un electrón que se puede mover dentro del cristal y aumentando en esta forma la conductividad del mismo. Este tipo de impurezas se conocen como *átomos donadores* y al semiconductor impurificado con estos se le denomina *semiconductor tipo n*. Si en vez del fósforo, se impurifica al Si con átomos de boro (B), este átomo tendrá un electrón de menos en su última capa comparado con el átomo de Si; esto quiere decir que habrá una ausencia de electrón conocido como "hoyo". Este hoyo se comporta como una partícula de carga positiva y como también queda muy débilmente ligada al B, fácilmente se ioniza y se produce un hoyo casi-libre que se puede mover dentro del cristal y contribuir a la conducción de corriente aumentando así la conductividad del semiconductor. Estas impurezas como la del B se conocen como *átomos*

aceptores, y a los semiconductores que los contienen se denominan *semiconductores tipo p*.

Supongamos ahora que tenemos un semiconductor tipo n y un semiconductor tipo p y que se juntan para ponerlos en contacto íntimo. Como en el lado n hay una mayor concentración de electrones libres que en el lado p, entonces se producirá una corriente de electrones del lado n hacia el p. De la misma forma, como hay más hoyos en el lado p que en el lado n, se forma una corriente de hoyos del lado p hacia el n. Estas corrientes cesan hasta que se alcanza el equilibrio y como resultado se obtiene una región de carga positiva en el lado n y una región de carga negativa en el lado p (ver figura 13). Esto es lo que se conoce como *unión p-n*. Resulta entonces que en una

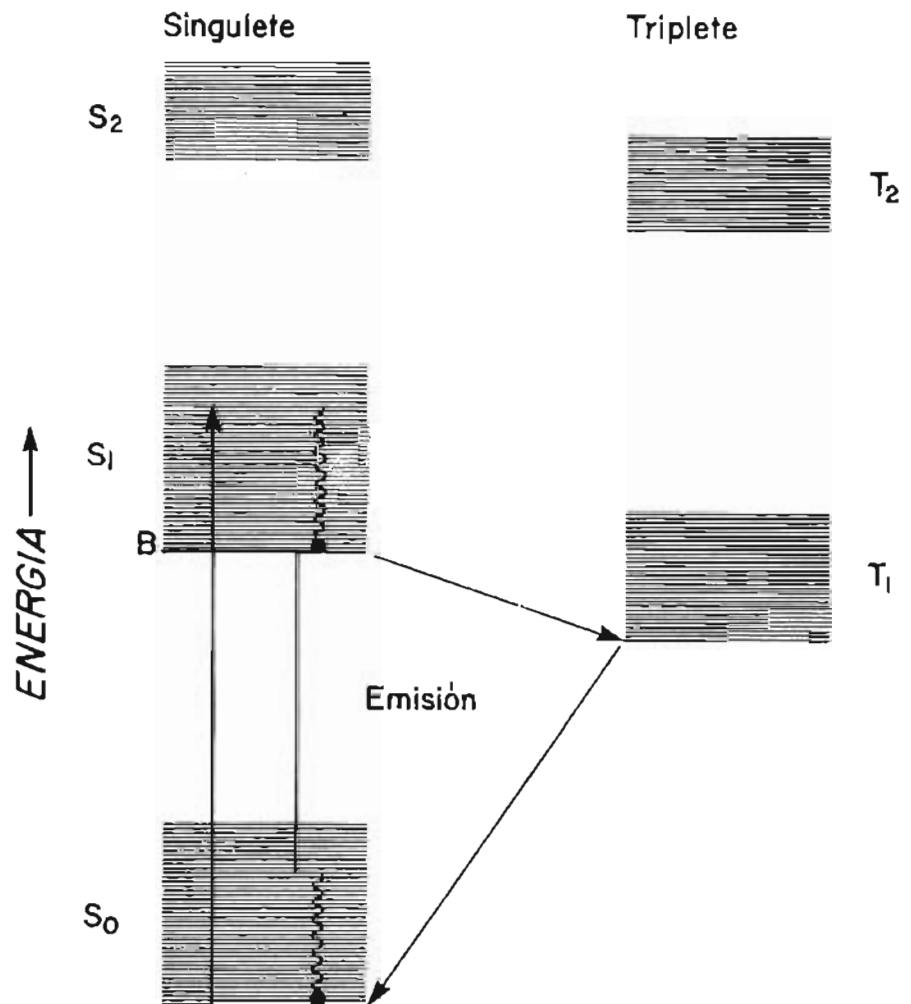


FIGURA 11

unión p-n se forma un campo eléctrico intrínseco que va de la región n hacia la p. Como la región de la unión p-n, que es donde está el campo eléctrico, es sumamente pequeña (del orden de una micra), los campos que se obtienen son muy altos: del orden de 10000 V/cm.

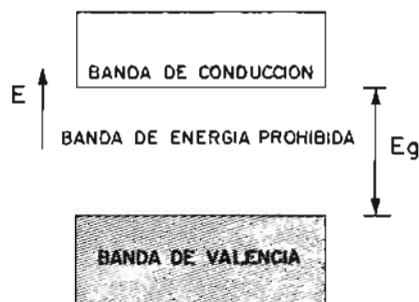


FIGURA 12

Ahora viene la pregunta, ¿cómo poder fabricar un láser de semiconductor?

Podemos pensar que si por algún método podemos excitar una población de electrones en la BC del semiconductor y una correspondiente población de hoyos en la BV, entonces, si incide un fotón con energía mayor o del orden de E_g , este fotón podrá estimular un gran número de transiciones de electrones de la BC a la BV, dando como resultado una amplificación coherente de la radiación. Nótese que la presencia de hoyos en la BV es necesaria para que los electrones de la BC puedan decaer del nivel excitado en la BC al nivel de menor energía en la BV. Este proceso se conoce como *recombinación electrón-hoyo*. Si el medio donde se amplifica la radiación se encierra entre dos espejos, se podrá tener un láser.

Ahora bien, la forma de obtener las poblaciones de electrones y hoyos antes mencionadas es a través de la unión p-n. Si la región p se conecta a la terminal positiva de una fuente de corriente directa y la región n a la terminal negativa de esa fuente (polarización directa), entonces se producirá un flujo de electrones (de la región n) y un flujo de hoyos (de la región p) hacia la región de la unión p-n (en donde está presente el fuerte campo eléctrico intrínseco). En la región de la unión los electrones en la BC y los hoyos en la BV se recombinarán produciendo la radiación (figura 14). Si las densidades de electrones y hoyos son lo suficientemente altas; esto es, si la corriente que se aplica a la unión p-n

es suficiente, se producirá la acción láser. La cavidad resonante se va a formar simplemente clivando los extremos del cristal donde se formó la unión p-n; este proceso de clivaje forma directamente los espejos que necesita la cavidad. Como el índice de refracción del semiconductor es grande (~ 3.6), la reflectividad de la interfase cristal-aire será de un 32%.

La emisión láser se restringe a la región de la unión p-n que como ya se mencionó es muy pequeña, del orden de $1 \mu m$; por lo tanto el haz del láser emerge del semiconductor con un ángulo grande (figura 15). Además, como en este caso la emisión láser se da entre dos bandas anchas de energía (la BV y la BC) y no entre niveles estrechos, la emisión del láser semiconductor es menos monocromática que para los láseres de gas.

El semiconductor que típicamente se usa para la formación de la unión p-n es el arsenuro de galio (GaAs), el cual es tipo n si se impurifica con estaño (Sn), silicio (Si) o telurio (Te); y es tipo p si se impurifica con zinc (Zn) o germanio (Ge). Un avance en estos láseres semiconductores ha sido el fabricar las uniones p-n usando dos semiconductores diferentes, como por ejemplo usar GaAs tipo n junto con el semiconductor ternario arsenuro de galio-aluminio GaAlAs tipo p. Estas uniones conocidas como heterouniones, han mejorado el confinamiento de los electrones y de la radiación en la región de la unión p-n y consecuentemente, se han obtenido láseres con menor corriente umbral para el efecto láser.

El láser semiconductor es de dimensiones físicas muy pequeñas. Típicamente sus medidas son de $500 \mu m \times 100 \mu m \times 300 \mu m$. Debido a que hay una conver-

sión directa de energía eléctrica en luz, su eficiencia es muy alta. Además permite el uso de esquemas de modulación directa; por ejemplo, modificando la corriente aplicada a la unión, se puede modular el haz de salida del láser.

Aplicaciones

Finalmente, mencionaremos unas pocas de las aplicaciones que los diferentes tipos de láseres están teniendo en los campos de la investigación básica, de los procesos industriales, de la medicina y de las tecnologías de punta en el área de la informática y de los materiales.

i) El láser en la fusión nuclear

Las reacciones nucleares en las cuales dos núcleos leves producen un núcleo más pesado, se conocen como reacciones de fusión. Un ejemplo de este tipo de reacción es la unión de dos deuterones para formar un núcleo de tritio más un protón:



Una de las dificultades con la reacción de fusión es que se necesitan muy altas temperaturas para que esta reacción pueda ocurrir. Esto es debido a que si la energía cinética de los núcleos no es muy grande, la repulsión coulombiana impedirá que los núcleos lleguen lo suficientemente cerca para que ocurra la reacción de fusión. Las temperaturas necesarias son del orden de 100 millones de grados Kelvin; y a estas temperaturas la materia se encuentra en un estado totalmente ionizado que se conoce como plasma.

Con la disponibilidad de láseres de pulsos intensos, ha surgido una nueva

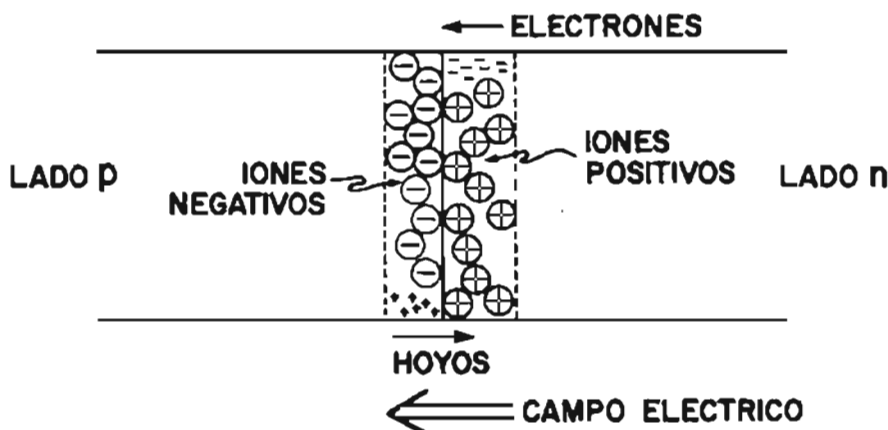


FIGURA 13

idea de sistema de fusión que es la de comprimir, calentar y confinar el material termonuclear con las fuerzas inerciales que se generan cuando un pulso intenso del láser interactúa con el material que usualmente se encuentra en la forma de gránulos sólidos.

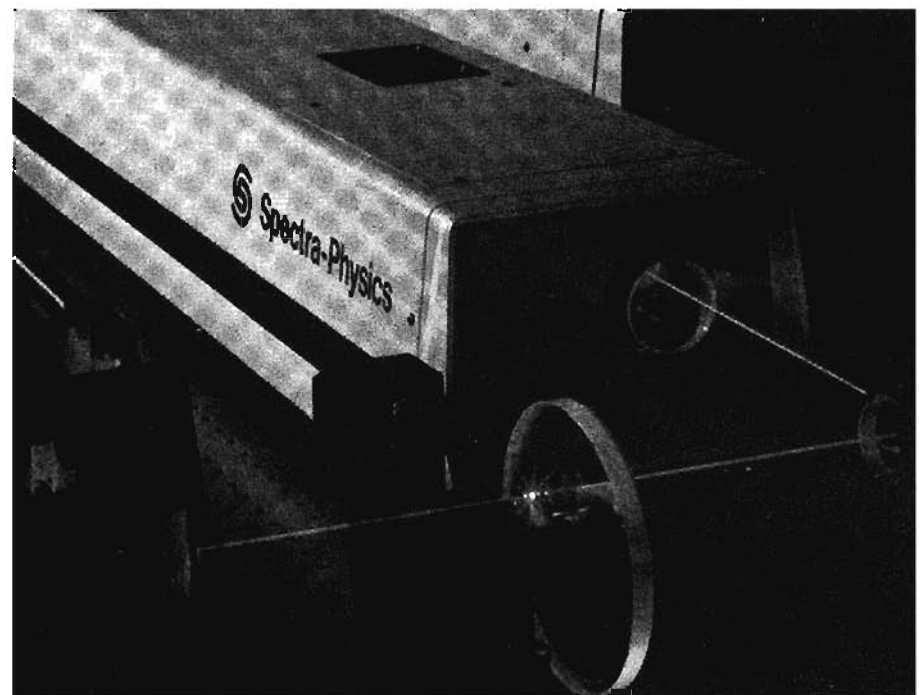
En un reactor de fusión inducida por láser, los gránulos se iluminan con el láser en todas direcciones. En un intervalo de tiempo muy corto la superficie externa del gránulo se calienta y se convierte en un plasma a temperaturas del orden de 100 millones de grados Kelvin. Esta capa calentada se expande en el vacío y como reacción un frente de implosión viaja hacia el centro del gránulo. Para un plasma de deuterio-tritio, con una intensidad incidente de 10^{17} W/cm^2 , se obtienen presiones hacia adentro de 10^{12} atmósferas.

Para el caso de los gránulos de deuterio-tritio la longitud de onda más adecuada para obtener un mejor calentamiento es de alrededor de $1 \mu\text{m}$, o sea un láser como el de Neodimio. En estos láseres se han logrado energías de ~ 200 Joules en tiempos de 10^{-10} seg.

ii) El láser en las comunicaciones ópticas

Una de las aplicaciones más importantes de los láseres es en el campo de las comunicaciones. Ya que las frecuencias ópticas ($\sim 10^{15} \text{ Hz}$) son mucho mayores que las ondas de radio ($\sim 10^6 \text{ Hz}$) y las microondas ($\sim 10^9 \text{ Hz}$), un haz de luz puede transportar mucho más información que las ondas de radio o las microondas.

Inicialmente se experimentó con la transmisión de información usando lá-



seres de gas en la atmósfera abierta, pero las perturbaciones atmosféricas plantearon problemas muy complejos para que este tipo de comunicaciones pudiera tener éxito.

Con el advenimiento de los láseres semiconductores y con la fabricación de fibras ópticas se hizo realidad el diseño de sistemas de comunicación ópticas. Como las fibras ópticas presentan sus mínimos de pérdidas de transmisión para las longitudes de onda $0.85 \mu\text{m}$ y $1.35 \mu\text{m}$, se han buscado láseres semiconductores fabricados con semiconductores cuya E_g esté en torno de las longitudes de onda mencionadas. Estos son los semiconductores: GaAs y el cuater-

nario InGaAsP. La potencia promedio emitida por estos láseres es de algunos miliwatts, y pueden operar ya sea en un régimen continuo o pulsado.

Debido a sus reducidas dimensiones físicas, el láser semiconductor resulta ideal para acoplarlo con las fibras ópticas cuyo centro, donde se transmite la onda electromagnética, es de algunas micras de diámetro.

Como ya se mencionó, este tipo de láseres se pueden modular en una forma directa modulando la corriente que se aplica al dispositivo; se han logrado láseres que se han modulado hasta frecuencias de algunos Gigahertz.

La velocidad de respuesta de estos dispositivos es tan elevada que se estima que en una línea de transmisión que use como fuente a un láser semiconductor se pueden transmitir del orden de 100 000 canales de comunicación. De aquí la importancia económica de los sistemas de comunicación óptica, pues el costo por canal es considerablemente menor que en los sistemas normales de telefonía.

iii) El láser en la química

Debido a las muy altas temperaturas que se pueden obtener en el foco del haz del láser, éste se ha convertido en una excelente herramienta para el estudio de reacciones fotoquímicas. En el foco del haz se obtienen campos del orden de

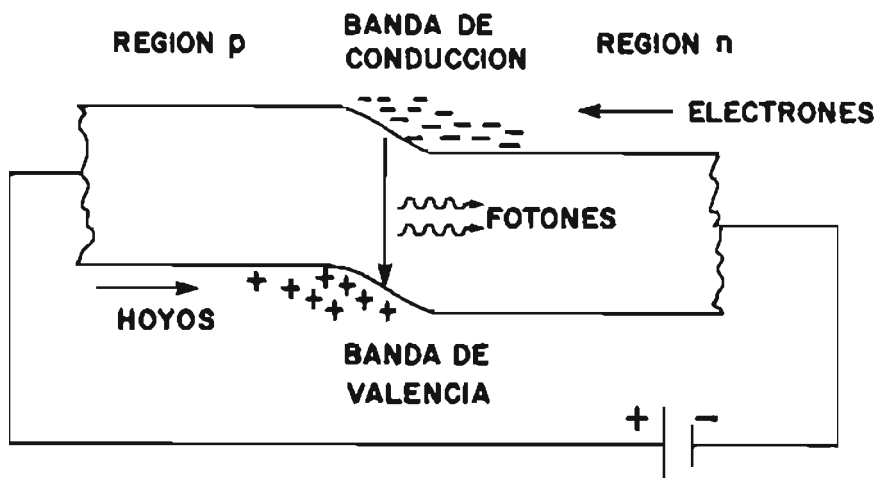


FIGURA 14

10^9 V/cm y estos campos son mayores que los campos que ligam los electrones de valencia a los átomos.

Los láseres han sido usados también en técnicas de microanálisis. En esta técnica se usa un haz muy intenso de láser para vaporizar un área preseleccionada del material a analizar. En el vapor producido se puede hacer pasar una descarga para producir un espectro característico de emisión cuyo análisis revelaría la presencia de varios elementos.

Se ha demostrado que las moléculas que se excitan por un láser de infrarrojo reaccionan más rápido que las moléculas que se encuentran en su estado base. La monocromaticidad tan elevada del láser permite entonces excitar selectivamente diferentes bandas de una molécula y así se tiene la posibilidad de producir algunos productos químicos nuevos.

iv) El láser en la industria

Los láseres de alta potencia se han aplicado en las técnicas de soldadura. Por ejemplo la soldadura de una placa de acero inoxidable de $1/4$ " de ancho se puede soldar con un láser de CO_2 de 3.5 kW de potencia. En la microelectrónica el soldado con láser ha sido también muy importante cuando se necesita soldar por ejemplo alambres de $10\ \mu\text{m}$ de espesor; además, como la soldadura se puede hacer con pulsos muy cortos (en tiempo) de láser, se pueden soldar



FIGURA 16

regiones que estén muy cerca de áreas sensibles al calor sin afectarlas. En la figura 16 se muestra una soldadura hecha con láser en un transistor.

Otra aplicación interesante es la perforación precisa de hoyos de diferentes ma-

teriales. Con un láser de ancho de pulso de 0.001 seg y energía de 0.05 Joules se puede hacer un hoyo de $\sim 0.1\text{mm}$ de radio en una placa de acero de 1mm de ancho. Con láseres que pueden perforar hoyos tan pequeños como $10\ \mu\text{m}$ a través de los materiales más duros. La industria Suiza de relojes ha usado láseres de Neodimio-YAG para perforar piedras de rubí usadas en los relojes.

El corte de materiales ha sido hecho también con láseres, principalmente con el láser de CO_2 . Por ejemplo, una placa de acero inoxidable de 0.13 cm de espesor se puede cortar a razón de 0.8m/min con un láser de CO_2 de 190w de potencia.

v) El láser en la medicina

Uno de los usos del láser ha sido en la cirugía de los ojos. Esta aplicación se debe primordialmente a que las regiones transparentes exteriores del ojo permiten el paso de luz de ciertas longitudes de onda para que pueda ser absorbida por los tejidos en el fondo del ojo.

Causado por alguna enfermedad o un fuerte impacto, la retina se puede desprender del tejido subyacente, provocando la ceguera parcial en el área afectada. Para soldar la porción desprendida de la retina se han usado pulsos de un láser de rubí de 300 μseg de duración y de energías del orden de 1 Joule.

Los láseres se están probando también en el tratamiento del cáncer. En un experimento hecho en la URSS, se inculcó en nueve animales melanoma amelanótico proveniente de seres humanos. A estos animales se les sometió a irradiación con un láser de rubí de unos 100 MW con energía total de 200 Joules y se vio que en el lapso de un mes los tumores desaparecieron completamente. Se trabaja también con el uso de láseres para el tratamiento del cáncer en la piel.

Referencias

- 1) Propuesta no publicada de un láser de haz molecular usando un selector electrostático.
- 2) J. Weber, IEEE Trans. Electron Devices No. 3, p. 1 (1953).
- 3) N.G. Basov and A. M. Prochorov, J. Exp. Theor. Phys. URSS No. 27, p. 431, (1954).
- 4) Gordon, Zeiger, and Townes, Phys. Rev. No. 95, p. 282, (1954).
- 5) A. L. Schawlow and C. H. Townes, Phys. Rev. No. 112, p. 1940 (1958).
- 6) T. H. Maiman, Nature No. 187, 493 (1960).
- 7) Winston E. Kock, Lasers and holography, Dover Publications, Inc. New York, (1981).

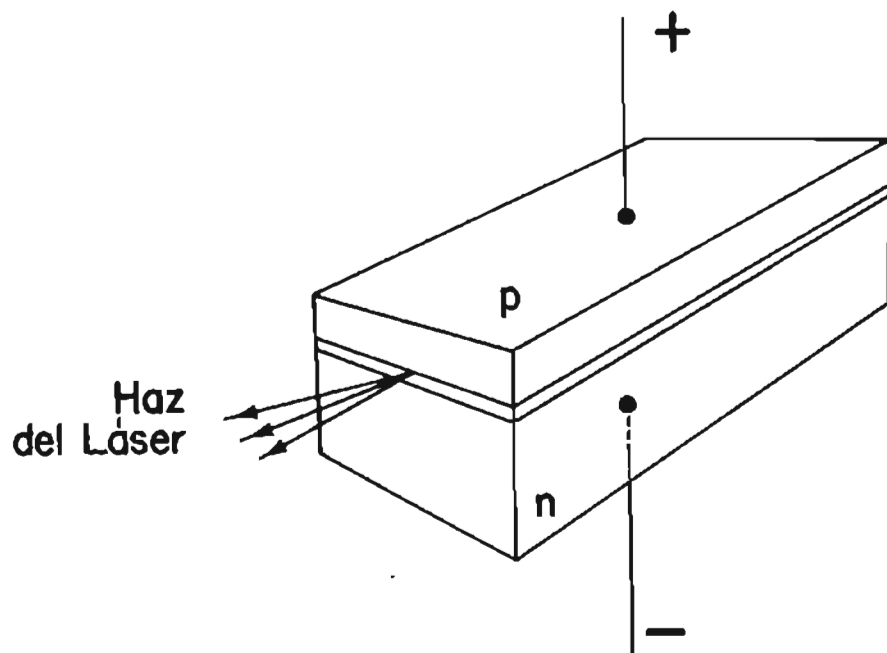


FIGURA 15



I. PROBLEMATICA UNIVERSITARIA

1. Hacia un nuevo enfoque de las relaciones Universidad-Sociedad	Alfonso Vélez Pliego	5
2. Ideología y clase social	Humberto Sotelo Mendoza	15
3. La situación de la izquierda en la Universidad de Guadalajara	Enrique Cárpena	22
4. Las nuevas relaciones Estado-Universidad-Sociedad Civil (período 1970 en adelante)	Diana Cernotto Cruz	26
5. Gabino Barreda y la Escuela Nacional Preparatoria	Rafael Campos	33
6. Notas sobre la desaparición del proyecto Universidad-Pueblo	José E. González Ruiz	41
7. Declaración de Guayaquil de las universidades latinoamericanas	Documento	45
8. Por la creación de un centro de bienestar universitario	Salvador Rosales de Gante	47

II. ANALISIS ECONOMICO POLITICO

1. La inflación que nos amenaza	Carlos Perzabal	55
2. Las vicisitudes de la centaurización estatal en Guatemala	Carlos Figueroa Ibarra	62
3. México: cosechas y fumigaciones	Idolina Velázquez	77
4. Notas sobre la economía norteamericana (1984-85)	Miguel Angel Rodríguez	85
5. El caso de William Morales y el Derecho Internacional Público	Horacio Gaspar Lima	90
6. Pensamiento y acción antiimperialista de Salvador Allende	Alejandro Witker	95
7. 40 mil millones de estrellas	Carlos A. Castañeda	101
8. En homenaje a Carlos A. Castañeda	Humberto Sotelo Mendoza	102

III. POLITICA Y CULTURA

1. Los medios de comunicación colectiva en la frontera norte	Sergio Gómez Montero	105
2. Conocimiento y cambio social en América Latina	Jaime Massardo	111
3. La teología de la liberación y la liberación de las mujeres	María Susana Percas	114
4. Una historia general de la iglesia en América Latina	Enrique Marroquín	117
5. Sociedad y medio ambiente	Jaime Ornelas	123
6. El espejo de la producción	Alejandro Fonseca	131
7. Conversación con Delfina Aguilar Gómez, una mujer tojolabal	Armando Pinto	135

IV. NOTAS, COMENTARIOS Y RESEÑAS

1. Banana Republic: teatro popular nicaragüense	Pedro Bravo Elizondo	143
2. Mesa redonda sobre la teología de Leonardo Boff	Rodolfo Fernández y Díaz	146
3. Georg Lukács: vida y obra	George Lichtheim	149
4. Notas biográficas sobre Gabino Barreda	Blanca Hortencia Morales	157
5. Paula Kolonitz: un viaje a México en 1864	Fernando Torre	158

HACIA LA UNIDAD DE FUERZAS EN EL UNIVERSO *la. parte*

Arnulfo Zepeda, José Luis Lucio*

Presentación

El acontecimiento más importante dentro de la física de altas energías durante los últimos años fue el descubrimiento de las partículas $W^\pm$ y Z^0 . El propósito de este artículo es hacer una reseña histórica que permita entender por qué se inició la búsqueda de éstas y la influencia de este descubrimiento en la concepción de las teorías sobre la interacción entre las partículas elementales.

Interacciones, cambios y quanta

Existen cuatro tipos de interacciones, es decir, hasta ahora se han identificado experimentalmente cuatro tipos de fuerzas básicas que actúan entre las partículas elementales: gravitacionales, electromagnéticas, fuertes y débiles. Dos de ellas son muy familiares a nosotros. Por una parte, están las gravitacionales que son responsables de nuestro peso, así como de que la tierra gire alrededor del sol y la luna alrededor de la tierra. Por otra parte, están las electromagnéticas, bajo cuya acción se forman los átomos y la materia se organiza en la forma en que la vemos; por ejemplo en células y demás formas de vida. Estos dos tipos de fuerza tienen la característica común, que es de hecho la razón por la cual podemos percibirlos directamente, de ser de alcance infinito. Es decir, si colocamos dos partículas, masivas en el caso de interacciones gravitacionales y cargadas eléctricamente en el de interacciones

* Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN
Apartado Postal 14-740, 07000
México, D.F.



electromagnéticas, separadas a una distancia arbitrariamente grande pero finita, existirá una fuerza entre ellas.

La manera en que una partícula ejerce una fuerza sobre otra, colocada a cierta distancia, nos lleva a introducir el concepto de campo como una cantidad o potencial que se extiende sobre todo el espacio y que representa la interacción. Una concepción más adecuada es considerar que tal campo está cuantizado, es decir, que la transmisión de energía que se lleva a cabo entre las dos partículas debidas a la interacción se realiza en forma discreta, o sea en quanta de energía. Desde este punto de vista conocido como teoría cuántica del campo, la acción a distancia entre dos partículas se reemplaza por el intercambio de quanta. Sin embargo, el proceso en el cual una partícula emite o absorbe un quantum de masa μ y momento k está inhibido, ya que la conservación de la energía es violada por una cantidad $\Delta E = (k^2 c^2 + \mu^2 c^4)^{1/2}$, donde c es la velocidad de la luz. Este proceso debe tener una duración máxima Δt determinada por el principio de incertidumbre de Heisenberg $\Delta t \approx \hbar/\Delta E$. Por lo tanto, el quantum recorrerá una distancia Δx que satisface la relación

$$\Delta x = \Delta t v < \Delta t c = \frac{\hbar c}{\Delta E} < \frac{\hbar c}{\mu c^2} = \frac{\hbar}{\mu c}$$

Por lo tanto, el alcance de la fuerza que es medida por quanta de masa μ es $\hbar/\mu c$. Dado que las interacciones electromagnéticas y gravitacionales son de alcance infinito concluimos que los fotones y los gravitones, quanta de la interacción electromagnética y gravitacional respectivamente, deben ser no masivos.

Simetrías de norma y electrodinámica cuántica

De las interacciones antes mencionadas la electromagnética goza de una posición favorecida debido a que existe una teoría de primeros principios que describe satisfactoriamente los aspectos de este tipo de fenómenos. Mas aún esta teoría ha conducido a importantes predicciones que con el tiempo han sido comprobadas experimentalmente, como es el caso de la existencia del positrón (partícula con las mismas propiedades que el electrón excepto que es de carga positiva. Su existencia fue predicha por

Dirac en 1930 y fue observado en 1933).

El éxito obtenido por la teoría electromagnética sugiere generalizarla, es decir aislar los elementos fundamentales que intervienen en su formulación y aplicar principios similares en la construcción de teorías que describan las otras interacciones. De hecho ésta ha sido la manera en que ha evolucionado la teoría de las partículas elementales, al menos hasta la construcción de la teoría que unifica las interacciones electromagnéticas y débiles. Para describir este proceso recordemos algunos detalles de la electrodinámica.

Los elementos que intervienen en la formulación de la electrodinámica son: la mecánica cuántica, la relatividad especial y las simetrías. En lo que sigue nos concentraremos en discutir las simetrías, dado que éstas juegan un papel central en el desarrollo que deseamos describir.



Werner Heisenberg

Simetrías globales

Todos adquirimos una noción intuitiva del concepto de simetría a través de la experiencia cotidiana. Sin embargo, cuando ésta es usada en la construcción de una teoría científica requiere una definición precisa. Decimos que existe una simetría si la "forma observada" es invariante cuando se aplica una transformación. Por ejemplo un cuadrado es invariante ante rotaciones de 90° respecto al centro del mismo, mientras que una circunferencia es invariante ante rotacio-

nes arbitrarias. Un ejemplo más cercano a la física es el de una configuración de cargas: si cambiamos el signo de cada una de éstas, las fuerzas que actúan sobre ellas no se verán afectadas (en este caso la transformación es el cambio de signo de las cargas mientras que la fuerza es el invariante).

La electrodinámica tiene también otras simetrías. Consideremos una configuración estática de cargas. El campo eléctrico $\vec{E}$ producido por estas cargas se puede describir en términos del potencial escalar (voltaje) ϕ . Para ver cuál es la simetría involucrada en esta descripción de la teoría, supongamos que aumentamos en todos los puntos del espacio el potencial en una cantidad constante C . Como las diferencias de potencial entre dos puntos arbitrarios no son afectadas, entonces el campo eléctrico $\vec{E}$ no cambiará por más grande que sea C . Es decir, esta teoría es invariante ante la transformación

$$\phi(x) \rightarrow \phi(x) + C$$

En el ejemplo arriba descrito en todos los puntos del espacio cambiamos el potencial por una cantidad constante C . Esto es un ejemplo de una "transformación global".

Simetrías locales

Si por el contrario en cada punto del espacio hacemos una transformación diferente

$$\phi(x) \rightarrow \phi(x) + \Lambda(x),$$

donde $\Lambda(x)$ es una función del punto del espacio considerado, entonces ésta es llamada una transformación local. Dado que en este caso las diferencias de potencial se verán afectadas, concluimos que con los elementos que tiene la teoría hasta este punto, no es invariante ante transformaciones locales. Sin embargo, sabemos que al considerar cargas en movimiento es necesario introducir el concepto de cambio magnético $\vec{B}$, y por lo tanto el concepto de potencial vectorial $\vec{A}$. Podemos arreglar ahora las cosas de tal manera que un cambio local en ϕ es compensado por un cambio local en $\vec{A}$ sin que se vean afectados los valores de $\vec{E}$ y $\vec{B}$. Es decir, el introducir el potencial vectorial $\vec{A}$ nos permite asegurar la invariancia de la teoría bajo transformaciones locales. Esta transformación si-

multánea de $\vec{A}$ y ϕ es llamada transformación de norma.

Hasta aquí no nos ha interesado la descripción de las fuentes, o sea de las partículas cargadas en movimiento que producen los campos $\vec{E}$ y $\vec{B}$, porque hemos supuesto que ésta se rige por las leyes de la mecánica clásica en las cuales interviene solamente la fuerza de Lorentz:

$\vec{F} = q(\vec{E} + (1/c)\vec{V} \times \vec{B})$. Sin embargo, la descripción cuántica del movimiento de las partículas se realiza en términos de la función de onda ψ y los potenciales escalar ϕ y vectorial $\vec{A}$. Surge entonces la pregunta de si la invariancia ante las transformaciones locales arriba descritas sigue siendo válida.

La función de onda que describe las partículas cargadas es en general una función compleja, es decir tiene tanto una parte real como una parte imaginaria.

Sin embargo todos los observables dependen cuadráticamente en la función de onda, por lo tanto, añadir una fase arbitraria no tiene ninguna repercusión. Expresado en otros términos, es imposible diseñar un experimento que permita determinar la fase absoluta de la función de onda. Por lo tanto, la teoría que describe únicamente partículas cargadas es invariante ante transformaciones globales de fase. Es oportuno mencionar que la simetría asociada a esta invariancia es la base de la conservación de la carga eléctrica.

Como en el caso del campo electromagnético, la siguiente etapa es preguntarse bajo qué condiciones es posible preservar esta invariancia de la teoría ante transformaciones locales de la fase. Sucede que es posible construir un campo cuyo cambio compense el de la fase de la función de onda de la partícula cargada en cada punto del espacio. Lo que es más sorprendente aún es que las componentes de ese campo pueden identificarse con los potenciales escalar y vectorial de la teoría electromagnética y que el cambio que estos campos deben sufrir al modificar la fase de la partícula cargada es precisamente el que corresponde a la transformación de norma arriba discutida. Por lo tanto el imponer que una teoría que describe un sistema de partículas cargadas sea invariante ante transformaciones locales de la fase, conduce a introducir los potenciales ϕ , $\vec{A}$, aun en el caso de que nosotros no los consideramos al comenzar a elaborar nuestra teoría.

Una manera esquemática de entender este mecanismo es la siguiente. Las partículas cargadas producen campos eléctricos y magnéticos, o sea producen potenciales escalar ϕ y vectorial $\vec{A}$. Decimos entonces que las partículas cargadas están acopladas a los potenciales electromagnéticos. En la versión cuantizada el quanta del campo electromagnético es el fotón, por lo tanto también es posible decir que el fotón se acopla a las partículas cargadas. Si tenemos una partícula cargada y la ponemos en presencia de un campo electromagnético, su estado va a ser modificado; en otras palabras, la interacción entre fotones y la partícula cargada cambia la fase de la función de onda de ésta. La teoría que describe el campo electromagnético es invariante ante transformaciones de norma locales y el campo electromagnético es el responsable de que ocurran cambios en la fase de la función de onda; estos dos fenómenos se combinan y conducen a la invariancia ante transformaciones locales de la fase de las partículas cargadas.

Resumiendo, el campo electromagnético ($\vec{E}$, $\vec{B}$) es invariante ante transformaciones locales del potencial ϕ , $\vec{A}$. La teoría que describe el sistema partícula cargada y campo electromagnético, es invariante ante transformaciones locales de la fase de la función de onda que describe la partícula cargada, y esta transformación determina la forma en que los potenciales ϕ y $\vec{A}$ deben modificarse. Las teorías así construidas son llamadas *teorías de norma*.

El conjunto de las transformaciones mencionadas en el párrafo anterior forma el grupo local denominado $U(1)$, cuyos elementos en el espacio de funciones de onda de partículas cargadas se representan por fases $e^{i\theta(x)}$

$$\psi'(x) = e^{i\theta(x)} \psi(x);$$

mientras que en el espacio de los potenciales electromagnéticos se representan por traslaciones:

$$A_\mu = A_\mu + \partial_\mu \theta; \mu = 0, 1, 2, 3, A_0 \equiv \phi$$

$$\partial_\mu = \frac{\partial}{\partial x_\mu}, \quad x_0 = ct$$

Decimos que estas transformaciones (y la teoría que es invariante ante ellas) son abelianas, lo cual significa que el cam-

po vectorial o campo de norma (A_μ) no tiene carga, es decir no interacciona consigo mismo. En lo que sigue describiremos otro tipo de teorías en las que el campo de norma tiene el mismo tipo de carga que el de las partículas a las que se acopla. Para llegar a ello vamos a generalizar algunas de las técnicas descritas en los párrafos anteriores.

Como primera generalización consideremos un sistema que consta de varios tipos de partículas cargadas representadas por $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$ con cargas $e_1, e_2, \dots, e_n$. Entonces recuperamos la electrodinámica cuántica si requerimos que al transformarse las funciones de onda como

$$\psi'_i(x) = e^{i\theta(x)e_i} \psi_i(x); \quad i = 1, 2, \dots, n$$

la teoría permanezca invariante. Para que esto suceda basta con que exista un campo vectorial no masivo A_μ (el campo electromagnético) que se transforme, como en el caso de un solo tipo de partícula cargada:

$$A'_\mu = A_\mu + \partial_\mu \theta(x)$$

Esta generalización puede ser ampliada al considerar transformaciones que mezclan las diferentes funciones de onda al tiempo que las multiplican por una fase

$$\psi'_i(x) = \sum_j (e^{i\theta(x)})_{ij} \psi_j(x)$$

En esta expresión $\theta(x)$ y por lo tanto $M(x) \equiv e^{i\theta(x)}$ (que debe ser entendida como su expansión en serie de potencias) son matrices de $n \times n$. Si denotamos por ψ una columna con componentes $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$, la ecuación anterior se puede escribir en forma matricial como

$$\psi'(x) = M(x) \psi(x).$$

El caso particular en que M es unitaria ($M^\dagger = M^{-1}$) es de particular importancia en la mecánica cuántica, debido a que así se preserva la norma de los estados.

El conjunto de matrices unitarias de dimensión $n \times n$ forma un grupo denominado $U(n)$. El hecho de que estas matrices formen un grupo significa, en breve, que el producto de dos matrices es nuevamente un elemento del mismo conjunto y que cada uno de ellos tiene un único inverso.

Siendo M unitaria su determinante vale

$$\det M = e^{i\phi}$$

o sea es una fase. Por lo tanto si escribimos

$$M = e^{i\phi} R$$

entonces $\det R = 1$

Nótese que la fase $e^{i\phi}$ en M es por sí sola una transformación como la que aparece en el caso de electrodinámica cuántica con varios tipos de cargas. Por tal razón nos concentraremos ahora en las matrices R . El conjunto de éstas forma el grupo $SU(n)$. Si escribimos

$$R = e^{i\hat{\theta}}(x)$$

la condición $\det R = 1$ implica

$$\text{Tr } \hat{\theta}(x) = 0,$$

mientras que la condición $R^+ = R^{-1}$ requiere

$$\hat{\theta}(x) = \hat{\theta}(x)^+$$

Es decir, las matrices $\hat{\theta}(x)$ son hermiticas y la suma de sus elementos diagonales (traza) vale cero.

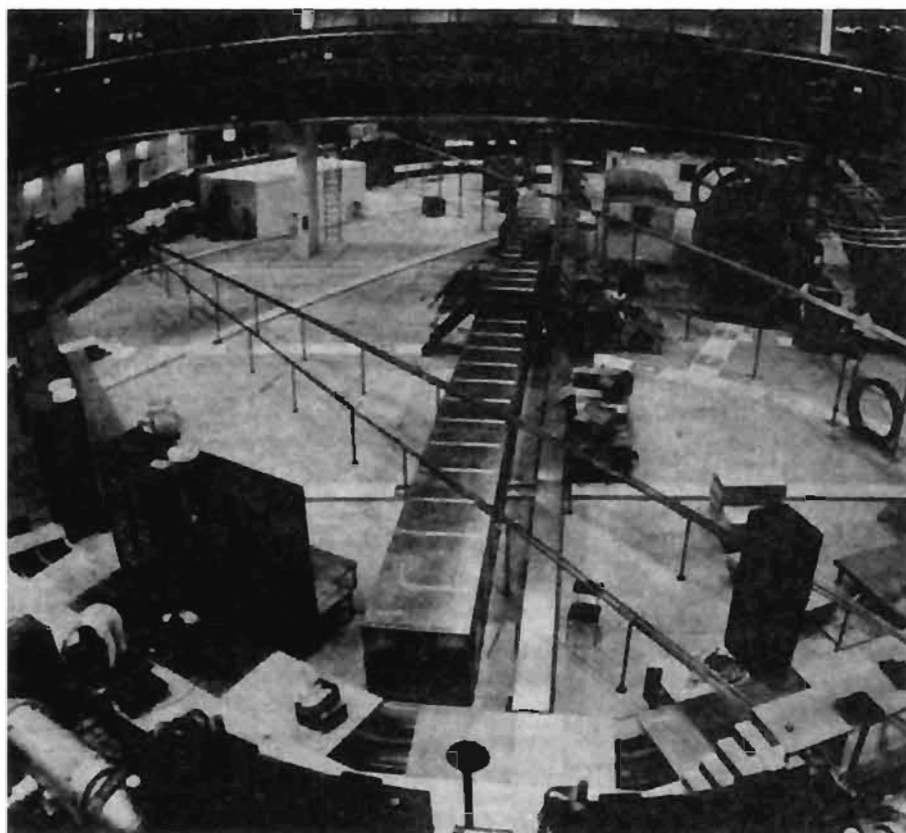
Una forma más conveniente de escribir $\hat{\theta}(x)$ es en términos de un conjunto completo de matrices G_i , hermiticas, sin traza y linealmente independientes entre sí. Este conjunto necesariamente tiene n^2-1 ,^{*} elementos que llamamos generadores y en términos de ellos tenemos

$$\hat{\theta}(x) = \sum_i G_i \theta_i(x)$$

donde $\theta_i(x)$ son n^2-1 funciones reales. Finalmente queremos recordar que los generadores cumplen relaciones de conmutación (álgebra) del tipo $[G_i, G_j] = iC_{ijk} G_k$ donde C_{ijk} son constantes reales llamadas constantes de estructura, cuyo valor depende del grupo (n) considerado y del conjunto (G_i) de generadores escogido.

Después de esta breve reseña matemática volvamos a la física, para lo cual consideramos un sistema descrito por la

* Este número se obtiene contando el número de elementos independientes de una matriz de dimensión $n \times n$, compleja, hermitica y de traza nula.



El descubrimiento de los bosones W y Z , que desempeñan un papel fundamental en las actuales teorías de física de partículas, fue realizado en el CERN en 1983.

columna ψ que agrupa n diferentes funciones de onda. En particular nosotros estamos interesados en construir una teoría que sea invariante bajo la transformación

$$\psi'(x) = M(x) \psi(x) = e^{i \sum_j G_j \theta_j(x)} \psi(x).$$

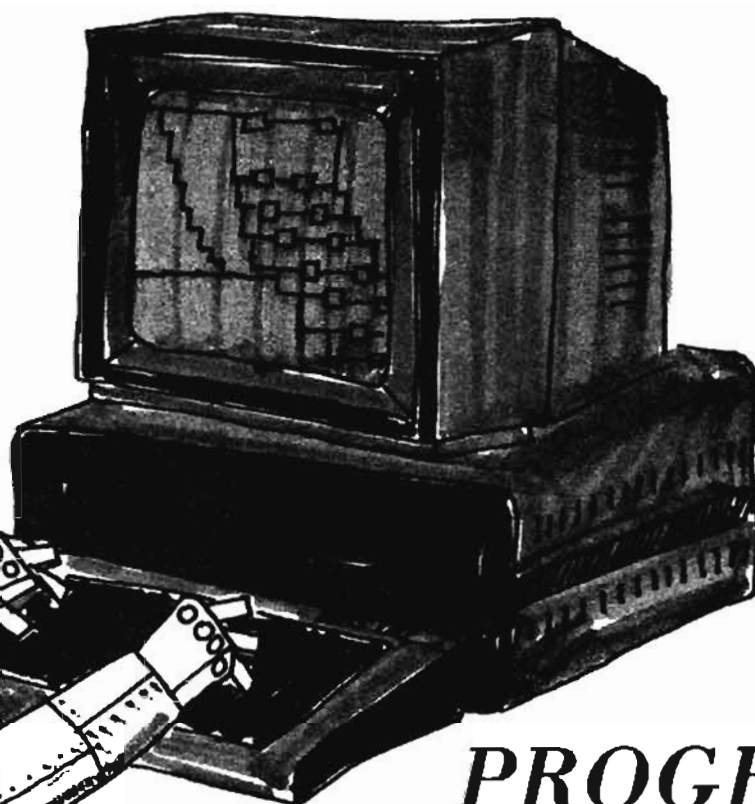
Siguiendo la analogía con la electrodinámica cuántica y dado que el conjunto de las n^2-1 G_j matrices son linealmente independientes, vemos que será necesario introducir n^2-1 campos vectoriales no masivos A_μ^i . A su vez estos campos deben transformarse de tal manera que

$$\sum_i A_\mu^i G_i = \sum_i A_\mu^i R G_i R^{-1} - \frac{j}{g} (\partial_\mu R) R^{-1}$$

Esta última ley de transformación es una generalización de la que encontramos en la electrodinámica e implica que la parte de las ecuaciones que contiene solamente A_μ^1 y sus derivadas debe contener necesariamente un término de autointeracción para que la teoría sea invariante. Esta autointeracción significa

que los campos A_μ^i son a la vez fuentes de sí mismos y de otros A_μ^j , $j \neq i$. Esto es en contraposición a lo que sucede en la electrodinámica, donde las únicas fuentes de potenciales ϕ y $\vec{A}$ son las partículas cargadas, mientras que los ϕ y $\vec{A}$ son incapaces de reproducirse.

Resumiendo, hemos descrito una generalización de la electrodinámica cuántica a partir de la extensión del principio de invariancia de norma. Este nuevo tipo de teorías, llamadas no abelianas, se caracterizan por requerir de la existencia de varios bosones vectoriales no masivos (n^2-1 si el grupo de simetría es $SU(n)$) que tienen la peculiaridad de autointeraccionar. En las próximas secciones veremos que este tipo de teorías, aunque son lógicamente consistentes y muy satisfactorias desde el punto de vista estético, son inaplicables en la forma en que se les ha descrito, debido básicamente a la existencia de los bosones vectoriales no masivos. Así pues en caso que queramos insistir en la aplicación del principio de invariancia de norma para describir las interacciones observadas en la naturaleza, será necesario hacer cambios profundos en este esquema.



UN PROGRAMA SIMULADOR DE CIRCUITOS PARA MICROCOMPUTA- DORAS DE USO PERSONAL

Arturo Prieto Fuenlabrada, Mariano Aceves Mijares,
Tomás Flores***

Resumen

Este artículo describe un programa que efectúa análisis en frecuencia de una red circuital. El programa está escrito en Basic para una microcomputadora personal. Su manejo es simple y requiere poca memoria; puede ser adaptado a cualquier microcomputadora. La técnica de análisis está basada en el método de la matriz de admitancia indefinida y resuelto por el método de Gauss Jordan modificado. Se presentan asimismo algunos ejemplos.

Introducción

Existen muchos programas de simulación de circuitos bastante poderosos como el MSINC, SPICE, etc. [1, 2]. Dichos programas pueden ser adaptados a siste-

* Año sabático otorgado por el Colegio de Electrónica ECFM, Universidad Autónoma de Puebla.

** Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Apdo. Postal Nos. 51 y 216
Puebla, Pue. 72000.

mas computacionales grandes y complejos, sistemas de costo promedio superior a los 3,000 dólares. Sin embargo en nuestro medio es común encontrar sistemas simples de microcomputadoras (TRS-80, Commodore, Sinclair, etc.) de bajo costo, en los que técnicamente resulta bastante difícil adaptar los programas anteriores. Usualmente están escritos en Fortran 77, Fortran IV, etc., mientras la mayoría de las microcomputadoras sólo manejan Basic. El tamaño de la memoria es otro de los impedimentos técnicos para la adaptación [3].

Se intuye así la necesidad de un programa simple escrito en Basic, como el aquí presentado. El objetivo de este trabajo es dotar al profesional o al estudiante de electrónica de una herramienta útil y sencilla, para análisis en frecuencia de redes circuitales, utilizable en cualquier microcomputadora de uso normal que maneje lenguaje Basic.

Método

El programa usa como técnica de análisis el método de la matriz de admitancia indefinida MAI [4], el cual se muestra en el siguiente ejemplo. Sea una red como la mostrada en la figura 1, la cual consta de tres nodos y tres admitancias, la MAI se forma.

$$\begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

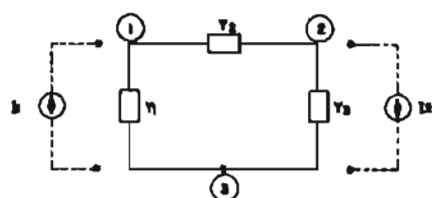


Fig. 1. Red circuital

Donde

[Y] Matriz de admitancia indefinida

V] Vector de voltajes de nodo

I] Vector de fuentes de corriente independiente

El nodo tres no es necesario considerarlo por ser sus relaciones linealmente dependientes de los otros nodos [4]. En caso de existir fuentes de corriente como la mostrada en líneas punteadas, nuestro sistema a resolver será:

$$\begin{bmatrix} Y_1 + Y_2 & -Y_2 \\ -Y_2 & Y_2 + Y_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ -I_2 \end{bmatrix}$$

Cabe hacer la aclaración de que las fuentes de voltaje deben ser convertidas a su equivalente Norton para utilizar este método. El sistema se resuelve utilizando el método Gauss Jordan modificado [5]. El diagrama de flujo de programa se muestra en la Fig. 2. Los datos de entrada son almacenados en una serie de arreglos que pueden ser modificados variando su dimensión de acuerdo al tamaño de la memoria de la microcomputadora usada. El programa permite la entrada de los siguientes elementos:

- R. Resistencias valor en ohms.
- C. Capacitores valor en farads.
- L. Inductores valor en henries.
- I. Fuentes de corriente reales en amperes.
- IM. Fuentes de corriente imaginarias en amperes.
- GM. Fuentes de corriente controladas por voltaje en amperes.
- E. Letra para indicar fin de datos de entrada.

Los anteriores elementos deben ser especificados con la letra representativa; además los nodos que son: nodo fuente, nodo destino y valor.

Puede calcular los voltajes de nodo a una frecuencia fija u obtener la función de transferencia de un nodo respecto a otro. En este caso se da la:

- FI, frecuencia inicial
- FF, frecuencia final
- NPF, número de puntos

El programa calcula la magnitud y fase de la función de transferencia. Finalmente se puede obtener una gráfica de los resultados anteriores [6]. El programa se puede considerar interactivo puesto que va guiando cada paso del usuario.

Ejemplos

Ejemplo 1.

Se desean conocer los voltajes de nodo de la red mostrada en la figura 3, donde $I = 2$ amper, $R_1 = 5$ ohms, $R_2 = .5$ ohms, $C = 1$ farad.

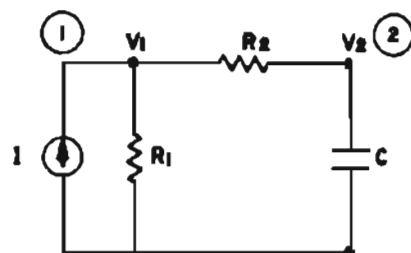


Fig. 3. Circuito del ejemplo 1

Note que la fuente I con R_1 y R_2 es equivalente a una fuente de voltaje de 1 voltio con una resistencia en serie de 1 ohm.

Después de iniciar con "Run" el programa, escribirá el título y preguntará por:

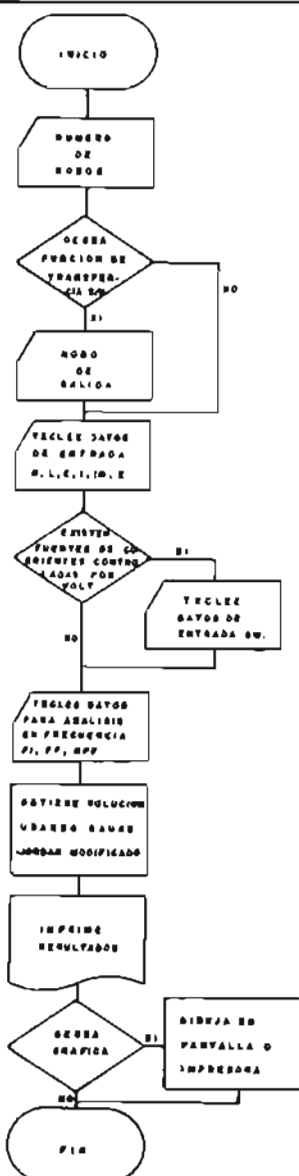


Fig. 2. Diagrama de flujo

```

SOLUCION DE REDES
TECLEE LOS ELEMENTOS
TIPO (R,C,L,I,IM,E),MODOS VALOR
I 0 1 2
R 0 1 .5
R 1 2 .5
C 0 2 1
E 0 0 0
FUENTES CONTROLADAS Y MODOS DE CONTROL
E 0 0 0 0 0
DA LA FREQ.INICIAL FINAL Y NUMERO DE PUNTOS
0 .25 20
FREC(HZ)MAG(DB)
0 -5.60711956E-09
.0125 -.0247071772
.025 -.105837193
.0375 -.234650331
.05 -.40877534
.0625 -.622857892
.075 -.87094683
.0875 -1.14694561
.1 -.144506988
.1125 -1.73989314
.125 -2.08649771
.1375 -2.42140906
.15 -2.74062739
.1625 -3.10157116
.175 -3.44200876
.1875 -3.78018459
.2 -4.11474294
.2125 -4.44465891
.225 -4.76917717
.2375 -5.08775931

```

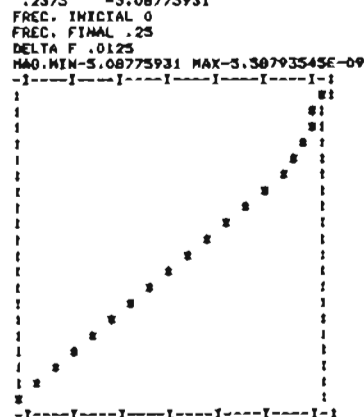


Figura 4

(es necesario completar con ceros para finalizar).

¿Ahora las fuentes controladas y sus nodos de control?

E, 0, 0, 0, 0

(en este ejemplo no hay fuentes controladas).

Da la frecuencia inicial, final y número de puntos.

0, .5, 20

El programa calcula los voltajes de nodo y al final pregunta:

¿Desea gráfica s/n? S

¿Ancho de pantalla? 32

(nuestra micro sólo permite 32 caracteres horizontales).

Los resultados se muestran en la figura 4.

Ejemplo 2.

Encontrar la función de transferencia del circuito mostrado en la figura 5, donde $V_{in} = 0.001666$ Amp, $R_{in} = 600$ ohms, $r_{\pi} = 1$ Kohm, $C_{\pi} = 5$ pf, $C_{\mu} = 15$ pf, $G_M = 1$ ohm, $R_E = 100$ ohms, $R_L = 1$ Kohm.

También los resultados se muestran en la figura 6. El procedimiento es idéntico al ejemplo 1, con la diferencia de que incluye una fuente de corriente controlada por el voltaje V_{π} .

```

SOLUCION DE REDES
TECLEE LOS ELEMENTOS
TIPO (R,C,L,I,IM,E),MODOS VALOR
I 0 1 1.6666E-03
R 0 1 600
R 1 2 1000
C 1 2 5E-12
C 1 3 1.5E-11
R 2 0 100
R 3 0 1000
E 0 0 0
FUENTES CONTROLADAS Y MODOS DE CONTROL
GM 3 2 .1 1 2
E 0 0 0 0 0
DA LA FREQ.INICIAL FINAL Y NUMERO DE PUNTOS
1000 100000 20
FREC(HZ)MAG(DB)
1000 18.6359301
5950 18.6350703
10900 18.6357253
15850 18.6354932
20800 18.6351797
25750 18.6347792
30700 18.6342934
35650 18.6337220
40600 18.6330671
45550 18.6323263
50500 18.6315004
55450 18.6305896
60400 18.6295994
65350 18.6285135
70300 18.6273482
75250 18.6260983
80200 18.6247638
85150 18.6233448
90100 18.6218411
95050 18.6202534

```

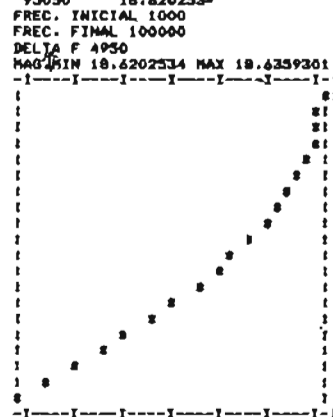


Figura 6

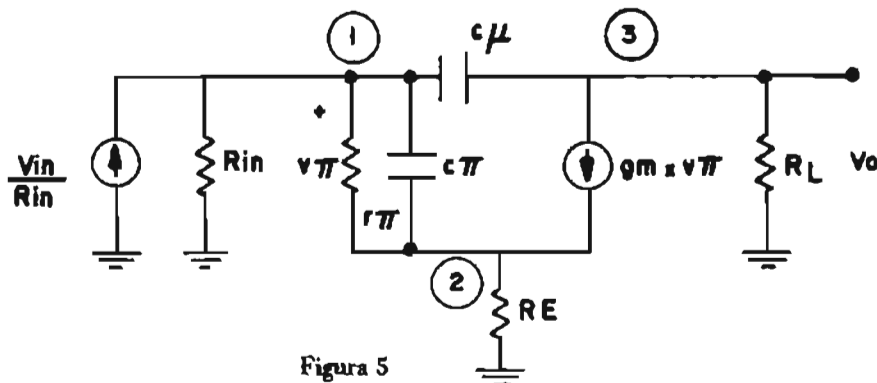


Figura 5

Conclusiones

En resumen, el programa desarrollado (figura 7) simula en forma correcta redes circuitales. El empleo del programa es sencillo y transparente para el usuario. Este programa fue escrito en una TRS 80 Microcolor Computer modelo MC10 de 16K permitiendo hasta 30 nodos de análisis. El programa es bastante versátil y su adaptación a una Sinclair 2068 fue prácticamente directo.

Figura 7

```

5 PRINT "SOLUCION DE REDES"
6 PRINT "SOLUCION DE REDES"
10 INPUT "NUMERO DE NODOS" N
12 DIM G(N,N+1),B(N,N+1),TYPE(110),NF(110),MD(110),UM(110),NA(110),NB(110)
13 DIM F(110),VM(110),UF(110)
15 INPUT "DEBEAS FUNCION DE TRANSFERENCIA? S/N" A$
20 IF A$="B" THEN GOTO 30
25 A=1
26 GOTO 32
30 INPUT "EL NODO DE SALIDA" IU
32 PRINT "TECLEE LOS ELEMENTOS"
33 LPRINT "TECLEE LOS ELEMENTOS"
35 PRINT "TIPO(R,C,L,I,IM,E),NODOS VALOR"
36 LPRINT "TIPO(R,C,L,I,IM,E),NODOS VALOR"
40 L=1
45 INPUT TYPE(L),NF(L),MD(L),VL(L)

```

¿Números de nodos? 2
 ¿Desea función de transferencia s/n? S
 ¿Nodo de salida? 2
 (si no pide función de transferencia imprimirá todos los voltajes de nodo).
 Teclee los elementos
 Tipo (R, C, L, I, IM, E), nodos, valor.
 I, 0, I, 2
 .
 .
 E, 0, 0, 0

Continúa

```

46 LPRINT TIP*(L)INF(L)IND(L)JUL(L)
47 IF TIP*(L)='E' THEN GOTO 49
48 L=L+1
49 GOTO 45
50 L=L+1
51 PRINT 'AHORA LAS FUENTES CONTROLADAS Y BUS
    MODOS DE CONTROL'
52 LPRINT 'FUENTES CONTROLADAS Y MODOS DE CONTROL'
53 INPUT TIP*(L),NF(L),ND(L),UL(L),NA(L),NB(L)
54 LPRINT TIP*(L)INF(L)IND(L)JUL(L)NA(L)NB(L)
55 IF TIP*(L)='E' THEN GOTO 95
56 L=L+1
57 GOTO 75
58 PRINT 'DA LA FREQ.INICIAL FINAL Y NUMERO DE PUNTOS'
59 LPRINT 'DA LA FREQ.INICIAL FINAL Y NUMERO DE PUNTOS'
60 INPUT FI,FF,NPF
61 LPRINT FI,FF,NPF
62 DELF=(FF-FI)/NPF
63 IF A=1 THEN FF=FI
64 FOR F=FI TO FF STEP DELF
65 OM=2.31459278F
66 FOR B=1 TO L-1
67 IF TIP*(B)='R' THEN GOSUB 2000
68 IF TIP*(B)='C' THEN GOSUB 3000
69 IF TIP*(B)='L' THEN GOSUB 2200
70 IF TIP*(B)='I' THEN GOSUB 2300
71 IF TIP*(B)='M' THEN GOSUB 2400
72 IF TIP*(B)='Q' THEN GOSUB 2500
73 NEXT B
74 FOR I=1 TO N
75 AR=G(I,I)
76 A1=B(I,I)
77 AT=AR*A1*I^2
78 IF AT=0 THEN J=0
79 FOR J=1 TO N+1
80 D(I,J)=O(I,J)*AR+R(I,J)*AT/AT
81 B(I,J)=B(I,J)*AR+AT*O(I,J)*AT/AR+B(I,J)*B(I,J)^2/(AT*AR)
82 NEXT J
83 FOR K=1 TO N
84 IF (K-1)=0 THEN J=0
85 BR=O(K,I)
86 BI=B(K,I)
87 FOR J=1 TO N+1
88 G(K,J)=G(K,J)-(BR*G(I,J)-BI*B(I,J))
89 B(K,J)=B(K,J)-(BR*B(I,J)+BI*G(I,J))
90 NEXT J
91 NEXT K
92 NEXT I
93 IF U=0 THEN GOTO 326
94 M=U
95 PRINT 'F=FI'
96 PRINT 'V(I,1)=1'
97 FOR M=1 TO N+1
98 V(M,1)=1
99 GOTO 336
100 LPRINT 'LOS VOLTAJES DE NODO SON'
101 PRINT 'LOS VOLTAJES DE NODO SON'
102 FOR M=1 TO N
103 PRINT 'V(I,M)=1'
104 FOR M=1 TO N+1
105 V(M,M)=1
106 GOTO 336
107 X=O(M,N+1)+Y=B(M,N+1)
108 Z=X+1
109 UV=SOR(X*Y+Y*Y)
110 UN(Z)=20.4342944*LOG(UV)
111 F(Z)=F
112 FOR U=1 TO N
113 FOR UV=1 TO N+1
114 G(U,UV)=O(U,UV)+V(U,UV)=0
115 NEXT UV
116 NEXT U
117 NEXT V
118 NEXT F
119 GOTO 365
120 PRINT 'LA DIAGONAL PRINCIPAL ES CERO'
121 LPRINT 'LA DIAGONAL PRINCIPAL ES CERO'
122 PRINT 'FREQ (HZ)='*MAQ(DB)*
123 LPRINT 'FREQ(HZ)='*MAQ(DB)*
124 FOR Z=1 TO NPF
125 PRINT F(Z)TAB(10)UM(Z)
126 LPRINT F(Z)TAB(10)UM(Z)
127 NEXT Z
128 INPUT 'DESEA GRAFICA S/N'
129 IF A=1 THEN GOTO 410
130 INPUT 'ANCHO DE PANTALLA'IL
131 PRINT 'FRECUENCIA INICIAL'IFI
132 LPRINT 'FREQ. INICIAL'IFI
133 PRINT 'FRECUENCIA FINAL'IFF
134 LPRINT 'FREQ. FINAL'IFF
135 PRINT 'DELTA F'IDELF
136 LPRINT 'DELTA F'IDELF
137 GOSUB 4000
138 END
139 FOR M=1 TO N
140 FOR I=1 TO M+1
141 PRINT G(M,I)B(M,I)J 'J'
142 NEXT I
143 NEXT M
144 PRINT
145 INPUT L4
146 RETURN
147 NF=NF(B)
148 ND=ND(B)
149 UL=UL(B)
150 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
151 IF NF=0 THEN GOTO 2030
152 ND=NF
153 O(ND,ND)=O(ND,ND)+1/UL
154 RETURN
155 NF=NF(B)
156 ND=ND(B)
157 UL=UL(B)
158 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
159 IF NF=0 THEN GOTO 2030
160 ND=NF
161 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
162 RETURN
163 NF=NF(B)
164 ND=ND(B)
165 UL=UL(B)
166 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
167 IF NF=0 THEN GOTO 2030
168 ND=NF
169 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
170 RETURN
171 NF=NF(B)
172 ND=ND(B)
173 UL=UL(B)
174 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
175 IF NF=0 THEN GOTO 2030
176 ND=NF
177 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
178 RETURN
179 NF=NF(B)
180 ND=ND(B)
181 UL=UL(B)
182 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
183 IF NF=0 THEN GOTO 2030
184 ND=NF
185 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
186 RETURN
187 NF=NF(B)
188 ND=ND(B)
189 UL=UL(B)
190 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
191 IF NF=0 THEN GOTO 2030
192 ND=NF
193 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
194 RETURN
195 NF=NF(B)
196 ND=ND(B)
197 UL=UL(B)
198 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
199 IF NF=0 THEN GOTO 2030
200 ND=NF
201 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
202 RETURN
203 NF=NF(B)
204 ND=ND(B)
205 UL=UL(B)
206 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
207 IF NF=0 THEN GOTO 2030
208 ND=NF
209 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
210 RETURN
211 NF=NF(B)
212 ND=ND(B)
213 UL=UL(B)
214 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
215 IF NF=0 THEN GOTO 2030
216 ND=NF
217 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
218 RETURN
219 NF=NF(B)
220 ND=ND(B)
221 UL=UL(B)
222 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
223 IF NF=0 THEN GOTO 2030
224 ND=NF
225 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
226 RETURN
227 NF=NF(B)
228 ND=ND(B)
229 UL=UL(B)
230 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
231 IF NF=0 THEN GOTO 2030
232 ND=NF
233 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
234 RETURN
235 NF=NF(B)
236 ND=ND(B)
237 UL=UL(B)
238 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
239 IF NF=0 THEN GOTO 2030
240 ND=NF
241 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
242 RETURN
243 NF=NF(B)
244 ND=ND(B)
245 UL=UL(B)
246 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
247 IF NF=0 THEN GOTO 2030
248 ND=NF
249 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
250 RETURN
251 NF=NF(B)
252 ND=ND(B)
253 UL=UL(B)
254 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
255 IF NF=0 THEN GOTO 2030
256 ND=NF
257 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
258 RETURN
259 NF=NF(B)
260 ND=ND(B)
261 UL=UL(B)
262 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
263 IF NF=0 THEN GOTO 2030
264 ND=NF
265 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
266 RETURN
267 NF=NF(B)
268 ND=ND(B)
269 UL=UL(B)
270 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
271 IF NF=0 THEN GOTO 2030
272 ND=NF
273 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
274 RETURN
275 NF=NF(B)
276 ND=ND(B)
277 UL=UL(B)
278 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
279 IF NF=0 THEN GOTO 2030
280 ND=NF
281 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
282 RETURN
283 NF=NF(B)
284 ND=ND(B)
285 UL=UL(B)
286 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
287 IF NF=0 THEN GOTO 2030
288 ND=NF
289 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
290 RETURN
291 NF=NF(B)
292 ND=ND(B)
293 UL=UL(B)
294 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
295 IF NF=0 THEN GOTO 2030
296 ND=NF
297 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
298 RETURN
299 NF=NF(B)
300 ND=ND(B)
301 UL=UL(B)
302 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
303 IF NF=0 THEN GOTO 2030
304 ND=NF
305 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
306 RETURN
307 NF=NF(B)
308 ND=ND(B)
309 UL=UL(B)
310 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
311 IF NF=0 THEN GOTO 2030
312 ND=NF
313 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
314 RETURN
315 NF=NF(B)
316 ND=ND(B)
317 UL=UL(B)
318 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
319 IF NF=0 THEN GOTO 2030
320 ND=NF
321 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
322 RETURN
323 NF=NF(B)
324 ND=ND(B)
325 UL=UL(B)
326 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
327 IF NF=0 THEN GOTO 2030
328 ND=NF
329 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
330 RETURN
331 NF=NF(B)
332 ND=ND(B)
333 UL=UL(B)
334 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
335 IF NF=0 THEN GOTO 2030
336 ND=NF
337 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
338 RETURN
339 NF=NF(B)
340 ND=ND(B)
341 UL=UL(B)
342 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
343 IF NF=0 THEN GOTO 2030
344 ND=NF
345 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
346 RETURN
347 NF=NF(B)
348 ND=ND(B)
349 UL=UL(B)
350 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
351 IF NF=0 THEN GOTO 2030
352 ND=NF
353 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
354 RETURN
355 NF=NF(B)
356 ND=ND(B)
357 UL=UL(B)
358 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
359 IF NF=0 THEN GOTO 2030
360 ND=NF
361 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
362 RETURN
363 NF=NF(B)
364 ND=ND(B)
365 UL=UL(B)
366 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
367 IF NF=0 THEN GOTO 2030
368 ND=NF
369 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
370 RETURN
371 NF=NF(B)
372 ND=ND(B)
373 UL=UL(B)
374 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
375 IF NF=0 THEN GOTO 2030
376 ND=NF
377 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
378 RETURN
379 NF=NF(B)
380 ND=ND(B)
381 UL=UL(B)
382 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
383 IF NF=0 THEN GOTO 2030
384 ND=NF
385 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
386 RETURN
387 NF=NF(B)
388 ND=ND(B)
389 UL=UL(B)
390 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
391 IF NF=0 THEN GOTO 2030
392 ND=NF
393 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
394 RETURN
395 NF=NF(B)
396 ND=ND(B)
397 UL=UL(B)
398 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
399 IF NF=0 THEN GOTO 2030
400 ND=NF
401 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
402 RETURN
403 NF=NF(B)
404 ND=ND(B)
405 UL=UL(B)
406 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
407 IF NF=0 THEN GOTO 2030
408 ND=NF
409 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
410 RETURN
411 NF=NF(B)
412 ND=ND(B)
413 UL=UL(B)
414 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
415 IF NF=0 THEN GOTO 2030
416 ND=NF
417 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
418 RETURN
419 NF=NF(B)
420 ND=ND(B)
421 UL=UL(B)
422 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
423 IF NF=0 THEN GOTO 2030
424 ND=NF
425 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
426 RETURN
427 NF=NF(B)
428 ND=ND(B)
429 UL=UL(B)
430 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
431 IF NF=0 THEN GOTO 2030
432 ND=NF
433 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
434 RETURN
435 NF=NF(B)
436 ND=ND(B)
437 UL=UL(B)
438 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
439 IF NF=0 THEN GOTO 2030
440 ND=NF
441 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
442 RETURN
443 NF=NF(B)
444 ND=ND(B)
445 UL=UL(B)
446 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
447 IF NF=0 THEN GOTO 2030
448 ND=NF
449 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
450 RETURN
451 NF=NF(B)
452 ND=ND(B)
453 UL=UL(B)
454 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
455 IF NF=0 THEN GOTO 2030
456 ND=NF
457 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
458 RETURN
459 NF=NF(B)
460 ND=ND(B)
461 UL=UL(B)
462 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
463 IF NF=0 THEN GOTO 2030
464 ND=NF
465 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
466 RETURN
467 NF=NF(B)
468 ND=ND(B)
469 UL=UL(B)
470 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
471 IF NF=0 THEN GOTO 2030
472 ND=NF
473 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
474 RETURN
475 NF=NF(B)
476 ND=ND(B)
477 UL=UL(B)
478 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
479 IF NF=0 THEN GOTO 2030
480 ND=NF
481 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
482 RETURN
483 NF=NF(B)
484 ND=ND(B)
485 UL=UL(B)
486 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
487 IF NF=0 THEN GOTO 2030
488 ND=NF
489 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
490 RETURN
491 NF=NF(B)
492 ND=ND(B)
493 UL=UL(B)
494 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
495 IF NF=0 THEN GOTO 2030
496 ND=NF
497 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
498 RETURN
499 NF=NF(B)
500 ND=ND(B)
501 UL=UL(B)
502 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
503 IF NF=0 THEN GOTO 2030
504 ND=NF
505 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
506 RETURN
507 NF=NF(B)
508 ND=ND(B)
509 UL=UL(B)
510 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
511 IF NF=0 THEN GOTO 2030
512 ND=NF
513 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
514 RETURN
515 NF=NF(B)
516 ND=ND(B)
517 UL=UL(B)
518 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
519 IF NF=0 THEN GOTO 2030
520 ND=NF
521 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
522 RETURN
523 NF=NF(B)
524 ND=ND(B)
525 UL=UL(B)
526 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
527 IF NF=0 THEN GOTO 2030
528 ND=NF
529 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
530 RETURN
531 NF=NF(B)
532 ND=ND(B)
533 UL=UL(B)
534 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
535 IF NF=0 THEN GOTO 2030
536 ND=NF
537 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
538 RETURN
539 NF=NF(B)
540 ND=ND(B)
541 UL=UL(B)
542 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
543 IF NF=0 THEN GOTO 2030
544 ND=NF
545 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
546 RETURN
547 NF=NF(B)
548 ND=ND(B)
549 UL=UL(B)
550 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
551 IF NF=0 THEN GOTO 2030
552 ND=NF
553 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
554 RETURN
555 NF=NF(B)
556 ND=ND(B)
557 UL=UL(B)
558 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
559 IF NF=0 THEN GOTO 2030
560 ND=NF
561 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
562 RETURN
563 NF=NF(B)
564 ND=ND(B)
565 UL=UL(B)
566 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
567 IF NF=0 THEN GOTO 2030
568 ND=NF
569 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
570 RETURN
571 NF=NF(B)
572 ND=ND(B)
573 UL=UL(B)
574 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
575 IF NF=0 THEN GOTO 2030
576 ND=NF
577 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
578 RETURN
579 NF=NF(B)
580 ND=ND(B)
581 UL=UL(B)
582 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
583 IF NF=0 THEN GOTO 2030
584 ND=NF
585 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
586 RETURN
587 NF=NF(B)
588 ND=ND(B)
589 UL=UL(B)
590 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
591 IF NF=0 THEN GOTO 2030
592 ND=NF
593 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
594 RETURN
595 NF=NF(B)
596 ND=ND(B)
597 UL=UL(B)
598 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
599 IF NF=0 THEN GOTO 2030
600 ND=NF
601 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
602 RETURN
603 NF=NF(B)
604 ND=ND(B)
605 UL=UL(B)
606 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
607 IF NF=0 THEN GOTO 2030
608 ND=NF
609 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
610 RETURN
611 NF=NF(B)
612 ND=ND(B)
613 UL=UL(B)
614 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
615 IF NF=0 THEN GOTO 2030
616 ND=NF
617 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
618 RETURN
619 NF=NF(B)
620 ND=ND(B)
621 UL=UL(B)
622 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
623 IF NF=0 THEN GOTO 2030
624 ND=NF
625 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
626 RETURN
627 NF=NF(B)
628 ND=ND(B)
629 UL=UL(B)
630 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
631 IF NF=0 THEN GOTO 2030
632 ND=NF
633 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
634 RETURN
635 NF=NF(B)
636 ND=ND(B)
637 UL=UL(B)
638 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
639 IF NF=0 THEN GOTO 2030
640 ND=NF
641 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
642 RETURN
643 NF=NF(B)
644 ND=ND(B)
645 UL=UL(B)
646 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
647 IF NF=0 THEN GOTO 2030
648 ND=NF
649 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
650 RETURN
651 NF=NF(B)
652 ND=ND(B)
653 UL=UL(B)
654 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
655 IF NF=0 THEN GOTO 2030
656 ND=NF
657 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
658 RETURN
659 NF=NF(B)
660 ND=ND(B)
661 UL=UL(B)
662 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
663 IF NF=0 THEN GOTO 2030
664 ND=NF
665 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
666 RETURN
667 NF=NF(B)
668 ND=ND(B)
669 UL=UL(B)
670 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
671 IF NF=0 THEN GOTO 2030
672 ND=NF
673 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
674 RETURN
675 NF=NF(B)
676 ND=ND(B)
677 UL=UL(B)
678 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
679 IF NF=0 THEN GOTO 2030
680 ND=NF
681 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
682 RETURN
683 NF=NF(B)
684 ND=ND(B)
685 UL=UL(B)
686 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
687 IF NF=0 THEN GOTO 2030
688 ND=NF
689 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
690 RETURN
691 NF=NF(B)
692 ND=ND(B)
693 UL=UL(B)
694 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
695 IF NF=0 THEN GOTO 2030
696 ND=NF
697 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
698 RETURN
699 NF=NF(B)
700 ND=ND(B)
701 UL=UL(B)
702 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
703 IF NF=0 THEN GOTO 2030
704 ND=NF
705 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
706 RETURN
707 NF=NF(B)
708 ND=ND(B)
709 UL=UL(B)
710 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
711 IF NF=0 THEN GOTO 2030
712 ND=NF
713 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
714 RETURN
715 NF=NF(B)
716 ND=ND(B)
717 UL=UL(B)
718 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
719 IF NF=0 THEN GOTO 2030
720 ND=NF
721 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
722 RETURN
723 NF=NF(B)
724 ND=ND(B)
725 UL=UL(B)
726 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
727 IF NF=0 THEN GOTO 2030
728 ND=NF
729 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
730 RETURN
731 NF=NF(B)
732 ND=ND(B)
733 UL=UL(B)
734 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
735 IF NF=0 THEN GOTO 2030
736 ND=NF
737 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
738 RETURN
739 NF=NF(B)
740 ND=ND(B)
741 UL=UL(B)
742 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
743 IF NF=0 THEN GOTO 2030
744 ND=NF
745 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
746 RETURN
747 NF=NF(B)
748 ND=ND(B)
749 UL=UL(B)
750 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
751 IF NF=0 THEN GOTO 2030
752 ND=NF
753 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
754 RETURN
755 NF=NF(B)
756 ND=ND(B)
757 UL=UL(B)
758 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
759 IF NF=0 THEN GOTO 2030
760 ND=NF
761 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
762 RETURN
763 NF=NF(B)
764 ND=ND(B)
765 UL=UL(B)
766 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
767 IF NF=0 THEN GOTO 2030
768 ND=NF
769 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
770 RETURN
771 NF=NF(B)
772 ND=ND(B)
773 UL=UL(B)
774 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
775 IF NF=0 THEN GOTO 2030
776 ND=NF
777 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
778 RETURN
779 NF=NF(B)
780 ND=ND(B)
781 UL=UL(B)
782 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
783 IF NF=0 THEN GOTO 2030
784 ND=NF
785 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
786 RETURN
787 NF=NF(B)
788 ND=ND(B)
789 UL=UL(B)
790 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
791 IF NF=0 THEN GOTO 2030
792 ND=NF
793 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
794 RETURN
795 NF=NF(B)
796 ND=ND(B)
797 UL=UL(B)
798 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
799 IF NF=0 THEN GOTO 2030
800 ND=NF
801 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
802 RETURN
803 NF=NF(B)
804 ND=ND(B)
805 UL=UL(B)
806 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
807 IF NF=0 THEN GOTO 2030
808 ND=NF
809 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
810 RETURN
811 NF=NF(B)
812 ND=ND(B)
813 UL=UL(B)
814 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
815 IF NF=0 THEN GOTO 2030
816 ND=NF
817 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
818 RETURN
819 NF=NF(B)
820 ND=ND(B)
821 UL=UL(B)
822 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
823 IF NF=0 THEN GOTO 2030
824 ND=NF
825 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
826 RETURN
827 NF=NF(B)
828 ND=ND(B)
829 UL=UL(B)
830 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
831 IF NF=0 THEN GOTO 2030
832 ND=NF
833 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
834 RETURN
835 NF=NF(B)
836 ND=ND(B)
837 UL=UL(B)
838 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
839 IF NF=0 THEN GOTO 2030
840 ND=NF
841 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
842 RETURN
843 NF=NF(B)
844 ND=ND(B)
845 UL=UL(B)
846 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
847 IF NF=0 THEN GOTO 2030
848 ND=NF
849 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
850 RETURN
851 NF=NF(B)
852 ND=ND(B)
853 UL=UL(B)
854 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
855 IF NF=0 THEN GOTO 2030
856 ND=NF
857 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
858 RETURN
859 NF=NF(B)
860 ND=ND(B)
861 UL=UL(B)
862 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
863 IF NF=0 THEN GOTO 2030
864 ND=NF
865 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
866 RETURN
867 NF=NF(B)
868 ND=ND(B)
869 UL=UL(B)
870 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
871 IF NF=0 THEN GOTO 2030
872 ND=NF
873 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
874 RETURN
875 NF=NF(B)
876 ND=ND(B)
877 UL=UL(B)
878 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
879 IF NF=0 THEN GOTO 2030
880 ND=NF
881 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
882 RETURN
883 NF=NF(B)
884 ND=ND(B)
885 UL=UL(B)
886 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
887 IF NF=0 THEN GOTO 2030
888 ND=NF
889 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
890 RETURN
891 NF=NF(B)
892 ND=ND(B)
893 UL=UL(B)
894 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
895 IF NF=0 THEN GOTO 2030
896 ND=NF
897 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
898 RETURN
899 NF=NF(B)
900 ND=ND(B)
901 UL=UL(B)
902 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
903 IF NF=0 THEN GOTO 2030
904 ND=NF
905 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
906 RETURN
907 NF=NF(B)
908 ND=ND(B)
909 UL=UL(B)
910 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
911 IF NF=0 THEN GOTO 2030
912 ND=NF
913 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
914 RETURN
915 NF=NF(B)
916 ND=ND(B)
917 UL=UL(B)
918 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
919 IF NF=0 THEN GOTO 2030
920 ND=NF
921 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
922 RETURN
923 NF=NF(B)
924 ND=ND(B)
925 UL=UL(B)
926 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
927 IF NF=0 THEN GOTO 2030
928 ND=NF
929 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
930 RETURN
931 NF=NF(B)
932 ND=ND(B)
933 UL=UL(B)
934 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
935 IF NF=0 THEN GOTO 2030
936 ND=NF
937 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
938 RETURN
939 NF=NF(B)
940 ND=ND(B)
941 UL=UL(B)
942 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
943 IF NF=0 THEN GOTO 2030
944 ND=NF
945 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
946 RETURN
947 NF=NF(B)
948 ND=ND(B)
949 UL=UL(B)
950 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
951 IF NF=0 THEN GOTO 2030
952 ND=NF
953 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
954 RETURN
955 NF=NF(B)
956 ND=ND(B)
957 UL=UL(B)
958 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
959 IF NF=0 THEN GOTO 2030
960 ND=NF
961 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
962 RETURN
963 NF=NF(B)
964 ND=ND(B)
965 UL=UL(B)
966 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
967 IF NF=0 THEN GOTO 2030
968 ND=NF
969 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
970 RETURN
971 NF=NF(B)
972 ND=ND(B)
973 UL=UL(B)
974 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
975 IF NF=0 THEN GOTO 2030
976 ND=NF
977 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
978 RETURN
979 NF=NF(B)
980 ND=ND(B)
981 UL=UL(B)
982 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
983 IF NF=0 THEN GOTO 2030
984 ND=NF
985 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
986 RETURN
987 NF=NF(B)
988 ND=ND(B)
989 UL=UL(B)
990 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
991 IF NF=0 THEN GOTO 2030
992 ND=NF
993 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
994 RETURN
995 NF=NF(B)
996 ND=ND(B)
997 UL=UL(B)
998 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
999 IF NF=0 THEN GOTO 2030
1000 ND=NF
1001 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
1002 RETURN
1003 NF=NF(B)
1004 ND=ND(B)
1005 UL=UL(B)
1006 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
1007 IF NF=0 THEN GOTO 2030
1008 ND=NF
1009 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
1010 RETURN
1011 NF=NF(B)
1012 ND=ND(B)
1013 UL=UL(B)
1014 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
1015 IF NF=0 THEN GOTO 2030
1016 ND=NF
1017 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
1018 RETURN
1019 NF=NF(B)
1020 ND=ND(B)
1021 UL=UL(B)
1022 IF (NF<0) AND (ND<0) THEN GOTO 2060
1023 IF NF=0 THEN GOTO 2030
1024 ND=NF
1025 B(ND,ND)=B(ND,ND)+UL*OM
1026 RETURN
1027 NF
```

MAS ALLA DE LA FORMA

María Eugenia Mendoza, Cristóbal Tabares*

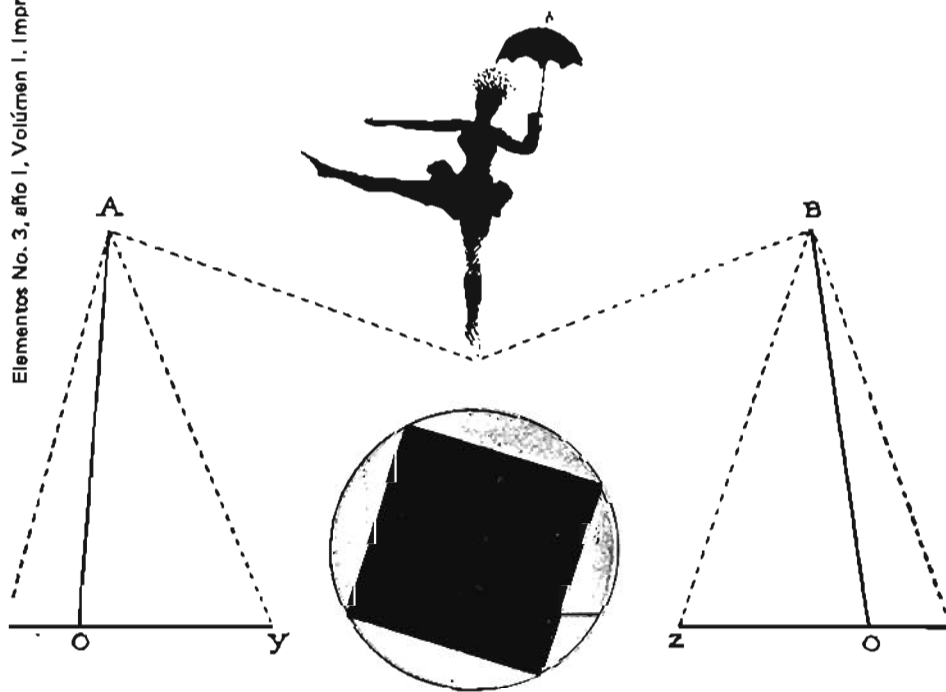
En su historia la humanidad ha pasado por diversas edades: la de piedra, la de bronce, la de hierro. . . Hoy vivimos una época que bien podría llamarse "la edad de los materiales", ya que se caracteriza por la utilización masiva de materiales fabricados "sobre medida". Debido a este uso generalizado su presencia pasa desapercibida, sin embargo los encontramos desde el cuchillo "cromo-molibdeno-vanadio" usado en la cocina hasta el televisor "estado sólido", pasando por la gran variedad de cintas magnéticas, los relojes de cuarzo, las calculadoras, etc. . . Ni la aventura espacial, ni el desarrollo de la aeronáutica, ni los trasplantes de órganos en los seres vivos (por mencionar algunos ejemplos remarcables) hubiesen sido posibles sin el desarrollo de materiales adecuados a ciertas condiciones de utilización. La capacidad de diseñar materiales para uso "tecnológico" se ha extendido a otros campos, y así, actualmente se puede hablar de la existencia del diseño de proteínas y de drogas.

En los cimientos de este desarrollo explosivo de la fabricación y utilización de materiales está el mejor conocimiento de la estructura cristalina de los sólidos.

En los sólidos existe un orden, que puede ser local o "infinito". En el primer caso el orden existe a cortas distancias y el resultado es un sólido llamado amorfo; si el orden se extiende a todos los átomos del sólido lo que se tiene es un cristal. Al ordenamiento periódico de los átomos se le llama estructura. La existencia de este ordenamiento fue probada experimentalmente en 1912 con el célebre experimento de difracción de rayos X por cristales de sulfato de cobre.

Para entender las características del orden cristalino viajemos al pasado y re-

Elementos No. 3, año I, Volúmen I. Impreso en México.



* Laboratoire de Chimie Appliquée, Sciences II
30 quai Ernest Ansermet
CH-1211 Genève 4 Suisse

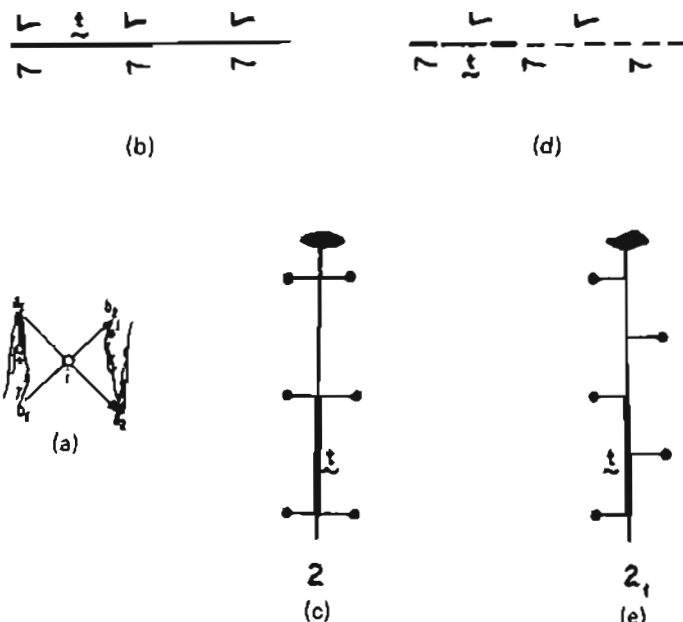
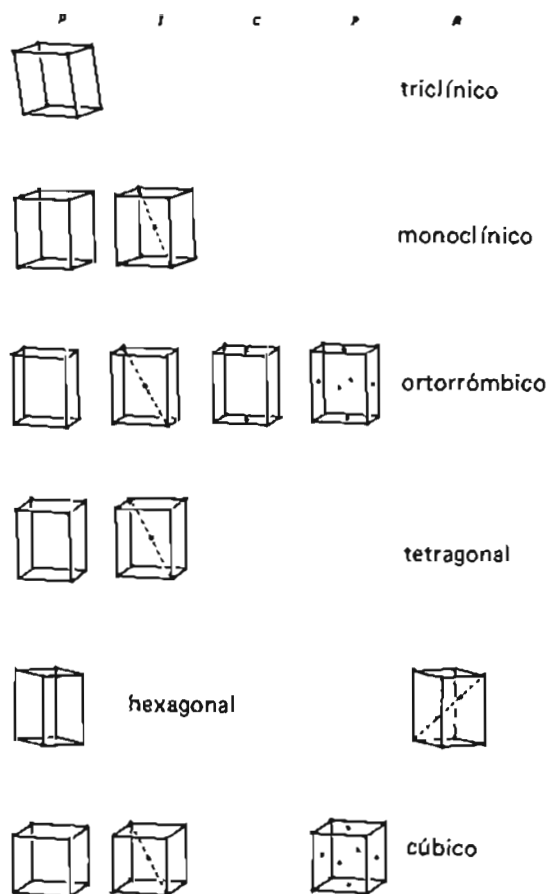


Figura 2. Elementos de simetría: (a) centro de inversión, (b) espejo, (c) eje de rotación, (d) espejo con deslizamiento, (e) eje helicoidal.

Figura 1. Las 14 redes de Bravais y su distribución en los sistemas cristalinos.

corramos el camino seguido por quienes se interesaron en tal problema. Kepler y Hooke (siglo XVII) trataron de encontrar una relación entre la forma externa de los cristales y la regularidad interna de los mismos. Ambos enfocaron el problema desde un punto de vista geométrico; en otras palabras, trataron de resolverlo estudiando cuáles eran las posibilidades de llenar el espacio. De esta forma llegaron a explicar ciertas formas cristalinas como el alumbre y los copos de nieve. Herederos de estas ideas fueron Guglielmini, R. de l'Isle y Haüy (siglo XVIII) quienes, además, las enriquecieron al proponer que el espacio debe ser llenado completamente por el apilamiento regular de pequeñas unidades poliédricas idénticas.

A mediados del siglo XIX, Frankenheim y Bravais afinaron los trabajos anteriores y llegaron a definir las diferentes posibilidades para estas unidades poliédricas. Recordemos que todo este trabajo se desarrollaba teóricamente, pues no había aún medios de experimentación. Ellos suponían que existe una unidad que al repetirse produce una

estructura. El grupo de traslaciones de una figura periódica puede ser concreto considerando los extremos de los vectores que representan las traslaciones. El conjunto de estos puntos forma una red. La malla de la red es el paralelepípedo construido con 8 nodos, es decir, con 3 vectores que tienen el mismo origen y son "no coplanares". Los conjuntos de nodos que constituyen las redes poseen simetría en diferentes grados. Los diferentes tipos de redes se llaman modos; estos modos muestran toda la simetría de la red y los modos de la misma simetría se agrupan en un sistema.

Las redes tridimensionales pueden construirse yuxtaponiendo paralelepípedos para los cuales existen solo 7 simetrías diferentes (son los 7 sistemas cristalinos) que se subdividen en 14 modos de redes conocidos como redes de Bravais (figura 1).

La celda (paralelepípedo elemental) está definida por las longitudes de sus lados a , b , c y por los ángulos α , β y γ , que son los ángulos formados entre pares de lados.

Por otra parte se sabía que cuando

una figura periódica finita posee numerosos elementos de simetría, éstos deben cruzarse al menos en un punto, y este conjunto forma un grupo puntual. En el caso de los cristales debe existir una compatibilidad entre la simetría del grupo puntual y la de la red, lo que conduce a 32 grupos puntuales en tres dimensiones, conocidos también como las 32 clases cristalinas. Estas se diferencian por sus elementos de simetría: centro de simetría, espejos y ejes de rotación (figura 2). Una operación de simetría —la inversión a través de un centro, la reflexión en un plano y la rotación por un ángulo definido alrededor de un eje respectivamente— convierte al cristal en una forma indistinguible de la que poseía antes de que la operación se efectuase.

En 1890-1895 Sohncke, Fedorov, Schönflies y Barlow caracterizaron el ordenamiento cristalino mediante el conjunto de movimientos en el espacio que dejan invariante el arreglo; para ello consideraron no sólo los elementos de simetría de las 32 clases cristalinas sino también elementos de simetría con traslación: espejos con deslizamiento y ejes helicoidales (figura 2). De esta manera llegaron a establecer el número de diferentes clases de arreglo posibles en las estructuras cristalinas. Este se eleva a 230 grupos de simetría conocidos como los 230 grupos espaciales.

Consideremos ahora un cierto número de cristales conocidos y veamos cómo es su distribución en los diferentes sistemas cristalinos:

Sistema	Inorgánicos	Orgánicos	Proteínas	Total (%)*
Triclinico	2	6	2	4
Monoclinico	14	49	35	27
Ortorrómico	18	30	43	23
Tetragonal	14	6	6	11
Trigonal	12	4	6	9
Hexagonal	11	2	2	7
Cúbico	30	4	5	20

* Los porcentajes están basados en 5572 compuestos inorgánicos, 3217 orgánicos y 224 proteínas; *Crystal Data*, No. 6, 1967.

Los cristales inorgánicos son preponderantemente cúbicos, ¿cómo explicarlo? Una primera razón es que los compuestos binarios son más abundantes que los ternarios y cuaternarios y estos últimos en general producen simetrías más bajas que la simetría cúbica. Otra razón, más bien práctica, es que primero se intentan resolver las estructuras fáciles y las más difíciles (a menudo triclinicas) se dejan para más tarde.

Aproximadamente un 80% de las estructuras inorgánicas y un 60% de las orgánicas son céntricas, tal vez porque algunas de las fuerzas interatómicas importantes son fuerzas centrales. Las fuerzas iónicas dependen de la distancia interatómica pero no del ángulo. Los enlaces covalentes dependen del ángulo y así el porcentaje de cristales acéntricos es mayor en los sólidos orgánicos. En los compuestos biológicos la simetría de inversión y los espejos son prácticamente inexistentes, tal vez porque la mayoría de los seres vivos tienen quiralidad. Esta proviene del proceso de replicación en el cual las hélices de ácidos nucleicos transmiten el código genético. Estas hélices poseen la simetría de los ejes helicoidales, de modo que muchos cristales de origen biológico contienen esta simetría. Como ejemplo de cristales biológicos se encuentran las proteínas, que son una de las clases más importantes de moléculas biológicas. Ellas incluyen las enzimas, las hormonas y los anticuerpos. Actualmente se sabe que las diferentes funciones biológicas de estas moléculas complejas están determinadas por y dependen de su estructura tridimensional y de la habilidad de tales estructuras para responder a otras moléculas con cambios en la forma.

Tratando de encontrar relaciones entre las estructuras que se conocían se introdujo el concepto de tipo de estructura. Dos estructuras que tienen el mis-

mo número de átomos diferentes (por ejemplo TiC y LiF) se llaman isotípicas cuando muestran una analogía en su arreglo geométrico, es decir, cuando poseen: el mismo grupo espacial, eventualmente medidas diferentes de la celda pero las relaciones c/a , a/b , b/c y los ángulos de la malla α , β y γ similares o iguales, y el mismo número de átomos en la malla en posiciones puntuales (x , y , z) iguales o similares.

El isotipismo no implica una semejanza en el enlace químico o en la capacidad de formar enlaces mixtos.

Regresemos a nuestro análisis global de estructuras preguntándonos ahora, ¿cuántos tipos de estructura se conocen para los cristales? El número total de tipos de estructura para los compuestos inorgánicos se eleva a más de 2 000. De ellos se conocen 31 tipos de estructuras de elementos, 73 tipos de compuestos equiatómicos (AB) y 98 tipos de compuestos AB_2 . Algunos ejemplos importantes de tipos de estructura inorgánicos son las estructuras de: cobre (poseída también por Al, Ni, Pt, Pb, Ag y Au);



diamante (presentada por el Ge), cloruro de sodio (estructura muy común, encontrada en los haluros alcalinos, excepto CsCl , CsBr y CsI); en los óxidos, sulfuros, selenuros de Mg, Ca, Sr y Ba; en óxidos de los metales de transición como el FeO , y en muchos compuestos intermetálicos. La estructura de zinc-

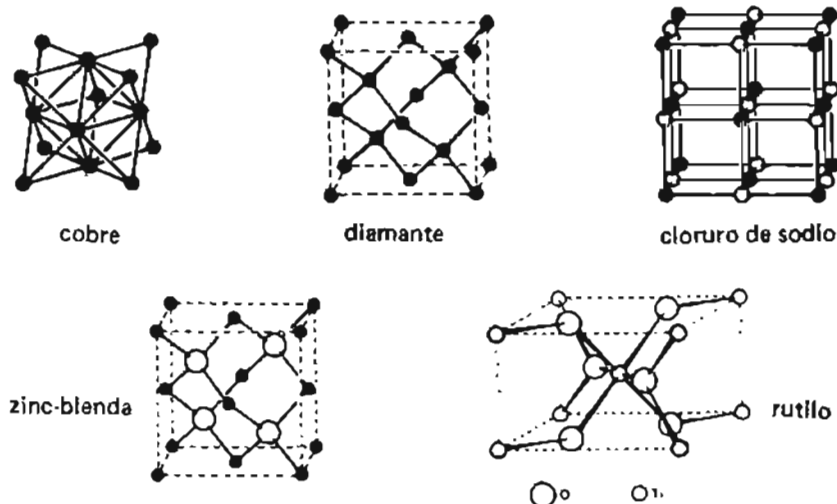


Figura 3. Algunos ejemplos de tipos de estructura simples.



blenda la presentan una gran variedad de compuestos, tales como BeS, CdS, GaAs y InSb.

Para los compuestos orgánicos, cada compuesto cristaliza según su propio tipo y se conocen más de 30 000 tipos diferentes. En cuanto a las proteínas, el número de estructuras conocidas con alta resolución es muy pequeño para intentar clasificarlas en términos de un número finito de arquetipos.

Nos resta por precisar que para determinar las estructuras cristalinas existen diferentes métodos que podemos clasificar en 2 grandes grupos: los métodos de difracción, y otros diferentes de la difracción. Entre los primeros encontramos rayos X, neutrones, electrones, radiación de sincrotrón, rayos gamma y la microscopía electrónica de alta resolución. Entre los métodos que no utilizan la difracción tenemos: la resonancia paramagnética electrónica (RPE), la resonancia magnética nuclear (RMN), el infrarrojo (IR) y la espectroscopía Mössbauer, entre otros.

A continuación trataremos exclusivamente algunos métodos de difracción, por ser los más empleados debido a que proporcionan una mayor cantidad de información.

La difracción de ondas es la base de varios métodos poderosos para la deter-

minación de estructuras. Las ondas son difractadas por objetos con dimensiones comparables a la longitud de onda de la radiación. En el caso de las estructuras cristalinas las ondas deben tener una longitud de onda comparable al espaciamiento entre los átomos, es decir 150 pm en promedio ($1\text{Å} = 100\text{ pm}$).

Los rayos X que se producen al bombardear una placa metálica (anticátodo) con electrones de alta energía, tienen una longitud de onda que depende del elemento que constituye el anticátodo y su valor está comprendido entre 21 y 230 pm. La difracción de rayos X es el método más empleado ya que resulta más económico. Del diagrama de intensidad de rayos X difractados es posible reconstruir un cuadro detallado de las posiciones de los átomos y, aún más, es posible también llegar a determinar la distribución de densidad electrónica en los enlaces individuales. Los rayos X son útiles para detectar casi todos los elementos, excepto los átomos ligeros en presencia de átomos pesados. Igualmente no es posible distinguir la difracción producida por átomos de número atómico cercano, como el Cu y el Zn en el bronce gama.

Los neutrones generados en un reactor nuclear y luego frenados a energías térmicas tienen una longitud de onda

de unos 100 pm. La difracción de neutrones es particularmente útil para la detección de las posiciones de átomos ligeros (en especial los de hidrógeno), para la distinción entre átomos de número atómico cercano, para la investigación de materiales magnéticos (debido a la difusión adicional de neutrones producida por los átomos que poseen momentos magnéticos) y, en fin, para el estudio de sistemas que no presentan un orden perfecto como los líquidos, los gases y los defectos.

Los electrones moviéndose a una velocidad de $20\,000\text{ km}^{-1}$ (después de ser acelerados por una diferencia de potencial de 4kV) tienen una longitud de onda de 40 pm. La difracción de electrones es mucho más fuerte que la de rayos X, lo cual tiene ventajas y desventajas. La principal desventaja es que la teoría es complicada, lo que dificulta la determinación de la estructura. Sin embargo es un método ampliamente empleado en el estudio de superficies:¹ celdas, posiciones atómicas, defectos, cambios durante el crecimiento de capas delgadas, etcétera.

La radiación de sincrotrón, que es la radiación X emitida por un sincrotrón de electrones, se emplea en estudios tales como la quimisorción (por ejemplo de Br sobre Si y Ge) o la electrodeposición (por ejemplo Cd y Tl sobre Cu).

Así pues, el conocimiento de la estructura de un sólido nos permite en principio responder a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo están ordenados los átomos?
- ¿Cómo pudo producirse este ordenamiento?
- ¿Cómo este orden permite ciertos mecanismos de movimiento electrónico y atómico?
- ¿Cómo estos movimientos producen las propiedades observadas?

Lecturas recomendadas:

- *Crystal structures: a working approach*, H.D. Megaw, W.B. Saunders Company, 1973.
- *Protein crystallography*, T.L. Blundell & L.N. Johnson, Academic Press, 1976.
- *Thirteenth International Congress of Crystallography*, Collected Abstracts, 9-18 august, 1984, Hamburg, FRG Edited by U. Bonse. Este libro proporciona una idea del estado actual en el estudio de estructuras.

1 Existen diferentes variantes del método: difracción de electrones de baja energía (LEED), difracción de electrones en haz convergente (CBED), y otros.



GALILEO Y LA IDEALIZACION¹

Elia Nathan*

En este trabajo examinaremos la introducción de la idealización a la física que Galileo llevó a cabo. Hemos dividido el trabajo en dos secciones. En la primera estudiaremos qué es y cómo funciona una ley idealizacional; utilizaremos para ello las obras de madurez galileanas. En la segunda intentaremos mostrar muy brevemente la importancia revolucionaria que tuvo la introducción de la idealización a la ciencia.

En esta sección sostendremos que Galileo introduce, por primera vez, leyes idealizacionales a la física (en estática ya habían sido introducidas por Arquímedes, aunque el recurso a la idealización no fue adoptado por las restantes teorías científicas sino hasta que Galileo lo hizo en física). Desde entonces, el uso de leyes, conceptos, o teorías idealizacionales se ha vuelto común y corriente, tanto en la física (pueden encontrarse ejemplos de esto en [1], [10] y [15]**), como en las ciencias sociales (cfr. [1], p. 258; [13]). Nos centraremos aquí solo en el caso de leyes idealizacionales. Destaquemos que la tesis que queremos sostener no es que desde Galileo toda ley es idealizacional, o que toda ley teórica es idealizacional,² sino sólo queremos sostener que algunas leyes son idealizacionales, mientras que otras son no-idealizacionales o factuales.

* Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM

** Véanse las referencias bibliográficas al final del artículo (N. del E.).

1 Para la elaboración de este artículo me resultaron de suma utilidad los comentarios de los profesores Cesáreo Morales, Mario Otero, Daniel Quesada y Margarita Valdés a una versión anterior a éste.

2 Un ejemplo de ley teórica no idealizacional es el segundo principio de Newton ($F=ma$). Un ejemplo de ley no-teórica (i.e. de ley que no es un principio de la teoría) pero idealizacional es la ley galileana de caída. O sea, el problema de la idealización es distinto al de la teoriedad.

Galileo

Para conceptualizar las características y el funcionamiento de las leyes idealizacionales nos centraremos en la ley galileana de caída libre.

a. La ley de caída libre, como la enunció Galileo, consta de dos aserciones:

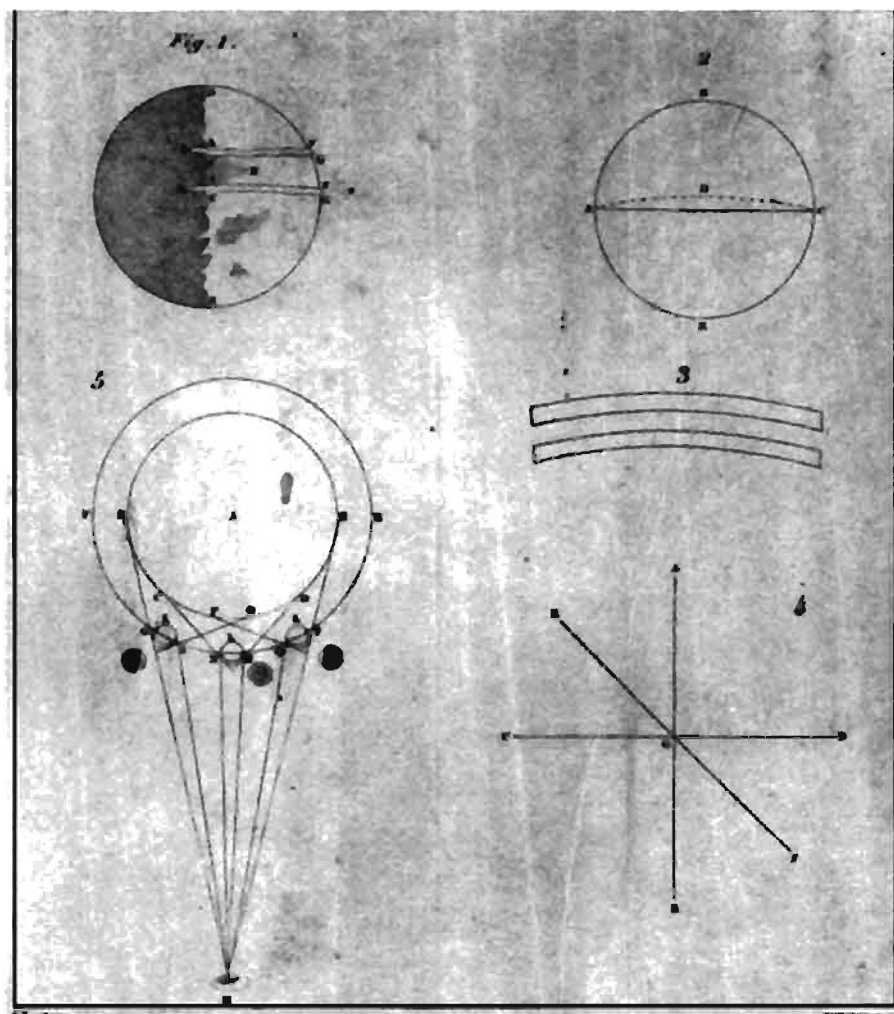
1) La caída de un grave en el vacío (ie. donde la resistencia del medio es nula) es uniformemente acelerada, es decir, la velocidad aumenta proporcionalmente al tiempo ([8], pp. 161, 163, 170; [7], p. 221). A partir de la tesis de que la velocidad es proporcional al tiempo, Galileo demuestra que la distancia es proporcional al cuadrado del tiempo, ie. que los espacios recorridos en cada unidad de tiempo guardan la misma proporción que los números impares comenzando por el uno ([8], pp. 174-176; [7], p. 222), y otras propiedades.

2) Todos los cuerpos, independientemente de su peso, dimensiones y naturaleza caen en el vacío con la misma aceleración ([8], p. 72), es decir, la aceleración de la caída libre es una constante universal.

Hablemos ahora sobre las leyes idealizacionales. Consideremos que una ley incluye no sólo una afirmación acerca de ciertas entidades o relaciones entre entidades (o sus propiedades) sino también las condiciones bajo las cuales se cumple dicha afirmación. Tomemos como ejemplo la ley galileana de caída libre:

Dadas cualesquiera x y y , si x y y se mueven en el vacío (ie. en un medio en que la fricción que actúa sobre x o sobre y es igual a cero, y la fuerza ascensional del medio que actúa en x o en y es igual a cero), entonces la velocidad media con la que x cae es igual a la velocidad media con la que y cae.

Usualmente se considera que esta ley es *idealizacional* porque contiene al menos una *condición ideal conocida*, es decir, una condición que no se satisface en situaciones reales (aunque algunas situaciones reales se pueden aproximar a las condiciones ideales). La condición ideal en esta ley es que los cuerpos se muevan en el vacío ([10], pp. 15-17; [1], p. 258). Para el caso de Galileo el carácter ideal de esta condición del vacío es un poco problemático, ya que Galileo argumentó correctamente que es posible



el movimiento en el vacío, y que además se pueden producir vacíos con cierto instrumento ([8], p. 67). Este problema puede ser resuelto de dos maneras: a) Galileo fue consciente de que en las situaciones reales, fuera del laboratorio, la condición del vacío no se cumple y, por ello, con respecto al mundo sensible, "normal", que es el que se pretende explicar, cabe considerarla como ideal. Así, por ejemplo, frente a la objeción del aristotélico Simplicio de que no se puede evitar la resistencia del medio y por ello la ley de caída libre (enunciada para cuerpos que caen en el vacío) no se cumple en la realidad, Galileo no responde sosteniendo que el vacío pueda darse en la realidad sensible, sino hablando sobre ciertos aspectos del método idealizacional ([8], p. 251, cfr. también p. 74). b) Otra solución consiste en considerar que la característica fundamental de las leyes idealizacionales no es que contengan condiciones ideales (aunque en muchas leyes idealizacionales es evidente que

las condiciones son ideales), sino el que algunas de las condiciones establecen que hay ciertas variables cuyo valor es cero, aun cuando se sabe que en las situaciones normales reales el valor de dichas variables no es cero. Así, la ley galileana de caída libre es idealizacional porque considera que el valor de la resistencia del medio es cero, es como si no existiera, aun cuando Galileo sabe, y lo dice repetidas veces, que en las situaciones reales normales (fuera del laboratorio) el valor de la resistencia no es cero; o en otros términos, la ley que describe la caída es idealizacional porque en ella no se toma en cuenta la resistencia que el medio ofrece a la caída de un grave, aun cuando se sabe que la resistencia sí influye en la caída normal de los cuerpos.³

3 Aún cuando prefiero esta segunda caracterización de ley idealizacional, usaré intercambiamente cualquiera de las dos.

No toda ley es idealizacional, también hay leyes factuales. Estas se caracterizan por el hecho de que las condiciones que enuncian son satisfactibles por situaciones reales. Un ejemplo de ley factual es la siguiente:

Si un cuerpo cae libremente en un medio resistente, entonces

$$V = c \frac{G \cdot G_m}{G}$$

(donde "v" es la velocidad media, "c" una constante de proporcionalidad, probablemente la constante de aceleración en el vacío, "G" es la gravedad o peso específico del cuerpo que cae y "G_m" la gravedad específica del medio)⁴.

Así, la diferencia básica entre las leyes factuales y las idealizacionales es la satisfactibilidad o no de sus condiciones por objetos reales, o en otros términos, el que las variables que influyen en el fenómeno descrito por la ley no tengan, o tengan un valor de cero.

b. Dada la caracterización de las leyes idealizacionales se nos presenta la siguiente perplejidad: ¿cómo se relacionan con, o se aplican a, la realidad leyes que sólo son vigentes para casos ideales? Claramente esta relación tiene que ser indirecta y compleja. Se logra mediante dos procedimientos: la factualización y la experimentación.

Veamos el uso de estos dos procedimientos en Galileo. Para ello es necesario antes examinar la concepción que Galileo tiene del problema de la idealización.

Los términos que Galileo usa son los de "abstracto" y "concreto". Con el término "abstracto" se refiere tanto al aspecto matemático o cuantitativo de una ley, como también al hecho de que una ley contenga condiciones ideales.

4 Esta fórmula o ley no aparece en Galileo. Presumiblemente Dijksterhuis ([5], p. 336) y Koyré ([9], p. 241, nota 102) la formularon a partir de la afirmación galileana de que la velocidad de caída de un cuerpo en un medio resistente está determinada por el exceso de gravedad específica que el cuerpo tiene con respecto a la gravedad específica del medio ([8], p. 76. Esta afirmación implica que $V = G - G_m$; la razón por la cual $G \cdot G_m$ se debe dividir entre G es que si se hace esto, entonces para el caso del vacío $G_m = 0$ con lo que se obtiene $V = c \frac{G}{G} = c$, i.e. la afirmación galileana de que en el vacío todos los cuerpos caen con la misma velocidad media o aceleración.

Así, por ejemplo, consideró el problema de cómo las matemáticas, que son abstractas, pueden decirnos algo de lo concreto o real ([7], pp. 203-208). Por otra parte, sostuvo que las conclusiones que se prueban en lo abstracto acerca del movimiento uniformemente acelerado —vgr. que de la proporción $v \propto t$ se sigue matemáticamente que dt^2 — serán diferentes cuando se apliquen a los casos concretos —o sea, a la caída real de un objeto— dada la resistencia del medio ([8], p. 251). Esta aseveración hace referencia al hecho de que la ley de caída libre es abstracta en el sentido de ser idealizacional, i.e. de contener la condición ideal del vacío. Con "concreto" Galileo se refiere a lo real, i.e. a la realidad sensible aprehendida o descrita de acuerdo con una cierta posición "teórica" o "filosófica" que, en su caso, es el mecanicismo.

Considero que aunque se puede decir que las leyes matematizadas y las idealizacionales son abstractas, lo son en sentidos distintos. Veamos. Un concepto, ley o enunciado es abstracto si es que no toma en cuenta ciertos aspectos de la realidad.⁵ Así, la razón que Galileo pudo

5 Léase con detenimiento esta nota pues es muy importante.

El concepto de abstracción es un tanto confuso. Se dice que toda generalización es abstracta ya que sólo toma en cuenta propiedades o aspectos comunes y deja de lado los no comunes. Por otra parte, también se considera que las leyes (generales) idealizacionales son abstractas, aunque lo son en el sentido de dejar de lado (o más precisamente, considerar que su valor es cero) ciertos factores que se sabe, afectan el fenómeno a que se refieren dichas leyes. Ahora bien, conviene distinguir entre abstracción (como proceso o actividad) y abstracto (como característica). Considero que el procedimiento de abstracción puede dar lugar a leyes o generalizaciones empíricas, y a leyes no-empíricas o abstractas. Por ejemplo, usualmente se considera que se llega a la generalización empírica "todos los cuervos son negros", la cual no es abstracta porque describe directamente algo que está presente ya en el mundo sensible, por medio de un proceso de abstracción en que sólo se toman en cuenta propiedades comunes. En cambio, la ley idealizacional de caída libre es abstracta porque no describe directamente, o no representa, un evento del mundo sensible; para llegar a ella se requirió abstraer, o dejar de lado, un factor que, se sabe, influye en la caída de los cuerpos. Así pues, el que las leyes idealizacionales requieran de un proceso de abstracción no implica el que sean generalizaciones empíricas, en verdad, son leyes abstractas.



haber tenido para considerar que las leyes físicas matematizadas son abstractas, es que éstas sólo toman en cuenta relaciones funcionales entre cantidades, dejando de lado toda consideración de cualquier otra característica de objeto u objetos que tienen las cantidades en cuestión —p.j. la ley de caída libre no toma en cuenta el tipo de cosa que es el objeto que cae, el lugar desde donde cae o en dónde cae, etc. Por otra parte, la ley de caída libre sería abstracta por no tomar en cuenta en la correlación funcional un factor, que se sabe, afecta dicha correlación, o sea, la resistencia del medio. Así, pues, aunque las leyes idealizacionales y las leyes matematizadas son abstractas, el carácter de la abstracción que incluyen es distinto. En el caso de las leyes matematizadas se supone que las variables que se dejan de lado no afectan al fenómeno considerado, mientras que en el caso de las leyes idealizacionales se sabe que las variables que se dejan de lado sí influyen en el fenómeno que describen dichas leyes.

Hemos tratado de distinguir entre matematización e idealización. Veamos qué relación guardan. Según Nowak, Galileo pudo introducir la matemática a la física porque su física contenía leyes idealizacionales ([13], p. 7). El que un requisito para la matematización sea la idealización, Nowak lo explica de la siguiente manera:

La aplicación de las matemáticas directamente a la descripción de los fenómenos como nos aparecen en nuestra experiencia es imposible —muchas influencias actúan allí. Algunas de estas influencias —con la ayuda de presupuestos idealizacionales (p. ej. la eliminación de la resistencia del medio)— tienen que eliminarse, y sólo entonces se pueden establecer relaciones simples cuantitativas entre entidades físicas ([13], p. 7).

Considero que la tesis de Nowak de que la matematización de la física requiere necesariamente de presupuestos idealizacionales, i.e. que la matematización es dependiente de la idealización, no es correcta. Bástenos recordar la llamada ley peripatética del movimiento. Para esta ley $V = \frac{F}{R}$ (donde V = velocidad,

F = fuerza, y R = resistencia). Esta ley nunca fue considerada como idealizacional por sus sustentadores medievales, ni por Aristóteles,⁶ ya que ellos no establecieron que esta ley contiene condiciones ideales; tampoco los críticos de esta ley consideraron que tuviese vigencia para algún caso ideal.

Así como la matematización no requiere en principio de presupuestos idealizacionales (o condiciones ideales), claramente la idealización no requiere de la matematización —por ejemplo, la teoría marxista contiene conceptos idealizacionales (el concepto de modo de producción capitalista es uno de ellos) pero no está matematizada. Por ende, podemos decir que los procedimientos científicos de idealización y matematización son, en principio, diferentes.

Sin embargo, en el caso de Galileo ambos procedimientos se encuentran relacionados de manera bastante íntima. El tratamiento matemático de la caída libre y del movimiento de los proyectiles lo realizó Galileo bajo el presupuesto idealizacional de que estos movimientos ocurrían en el vacío, sin la intervención de un medio resistente. Esto se debe al hecho que señala Nowak: la matematización de una ley requiere de la eliminación de gran cantidad de influencias presentes en un fenómeno real, y una

manera de lograr esta eliminación es vía supuestos idealizacionales.

En síntesis, los procedimientos de matematización e idealización son, en principio, distintos. En Galileo están íntimamente relacionados —es gracias a asunciones idealizantes que logra darnos leyes matematizadas; esto lo lleva a confundir o identificar estos dos procedimientos, y considerar que ambos no son más que casos de abstracción (en el mismo sentido). A pesar de esta confusión, su respuesta al problema de la aplicabilidad de los enunciados abstractos a los casos concretos es interesante y correcta, por lo cual la examinaremos.

De acuerdo con Galileo hay dos maneras en que los enunciados abstractos se relacionan con los casos concretos. La primera es por medio de un proceso de factualización (cfr. [10], pp. 23-25), o manipulación teórica, que nos permite



Newton

aplicar los enunciados abstractos a los casos concretos (i.e. a las situaciones reales normales). La segunda es por medio de la experimentación, la cual nos permite aplicar los enunciados abstractos directamente (i.e. sin un proceso de manipulación teórica) a casos concretos (i.e. a situaciones reales, artificiales o de laboratorio); y esto posibilitaría alguna verificación del enunciado abstracto. Examinaremos cada uno de estos procedimientos.

En los *Dos sistemas del mundo*, Simplicio le objeta a Salviati la introducción de las matemáticas a la física sosteniendo que, dada la imperfección de la materia, las conclusiones a las que se llega en lo abstracto no se pueden aplicar a lo

concreto —así, por ejemplo, una línea tangente a la superficie de la Tierra de hecho no la toca en un sólo punto como se afirma en la geometría. A esto responde Salviati-Galileo que no es el caso de que lo concreto sea distinto de lo abstracto ya que, para retomar el ejemplo, una tangente no toca a la esfera terrestre en un sólo punto porque dicha esfera no es perfecta. Y continúa:

Pero te digo que aun en lo abstracto una esfera inmaterial, que no es una esfera perfecta, puede tocar un plano inmaterial, que no es perfectamente aplanado, no en un punto, sino en una parte de su superficie, de tal forma que lo que sucede en lo concreto hasta este punto sucede también de la misma manera en lo abstracto. (...) Así como el computista que desea que sus cálculos versen sobre el azúcar, la seda y la lana, debe descontar las cajas, fardos, y otros envoltorios, así también el científico matemático (filósofo geómetra) cuando quiere reconocer en lo concreto los efectos que ha probado en lo abstracto debe restar los impedimentos materiales, y si es capaz de hacer esto, te aseguro que las cosas no estarán menos en acuerdo que los cálculos aritméticos. ([7], p. 207; cfr. también [8], p. 170).

La idea de Galileo es que no hay una diferencia tajante entre matemáticas, i.e. lo abstracto, y el mundo real, i.e. lo concreto;⁷ éstas se adecúan perfectamente si se toman en cuenta los factores que las matemáticas han abstraído, o viceversa, si se dejan de lado los factores que las matemáticas abstrayeron. Esta tesis, así enunciada, es interesante pero demasiado general como para ayudarnos en casos particulares.

En *Dos nuevas ciencias*, Galileo especifica más cómo se relacionan los enunciados abstractos —abstractos por ser idealizaciones— con situaciones concretas: por medio de la reintroducción de los factores abstraídos. Veamos:

Concedo el que estas conclusiones probadas en lo abstracto serán dife-

7 Es precisamente porque lo abstracto se obtiene a partir de lo concreto (p. ej. el círculo ideal que estudia la geometría no es más que un círculo concreto perfeccionado, o bien, las condiciones ideales no son más que condiciones reales que se les lleva a un límite y se les da valor de 0 por lo que, en principio, es posible aplicar lo abstracto a lo concreto.

6 Aristóteles nunca enunció esta ley en la forma matemática de correlación funcional que damos aquí. Para Aristóteles era un enunciado cualitativo de proporcionalidad, y por ello un tanto vago ([9], p. 217).

rentes cuando se apliquen a lo concreto, y serán falaces en esta medida, que ni el movimiento horizontal será uniforme, ni la aceleración natural se dará en la proporción asumida, ni la trayectoria de un proyectil será una parábola, etc. (. . .) Cuando deseamos aplicar nuestras conclusiones probadas a distancias que, aunque finitas, son muy grandes, es necesario que *inferamos, a partir de la verdad demostrada, qué corrección debe hacerse* por el hecho de que nuestra distancia desde el centro de la Tierra no es realmente infinita [condición ideal del enunciado abstracto] (. . .) y una vez descubiertos y demostrados los teoremas [sobre caída libre, movimiento de un proyectil, etc.] para el caso de no resistencia, usarlos y aplicarlos con aquellas limitaciones que la *experiencia* nos enseñara. ([8], pp. 251-253; subrayado mío).

Así, Galileo sostiene que para aplicar leyes idealizaciones a situaciones reales hay que corregirlas, es decir, hay que sustituir las condiciones ideales por condiciones reales o fácticas (proceso de factualización). Esta corrección se da en base a principios teóricos o a principios que nos enseña la experiencia.

La ley de caída libre —todos los cuerpos caen con la misma aceleración en el vacío— se corrige introduciendo la resistencia del medio. Aunque Galileo no es totalmente preciso acerca del modo como se hace esta corrección, hace anotaciones bastante específicas.

Nuestro autor afirma que la *experiencia* nos enseña que la resistencia del aire se presenta de dos maneras: por una parte, ofrece mayor resistencia a los cuerpos menos densos que a los más densos, y por otra parte, ofrece mayor resistencia a un cuerpo que se mueve más rápido que al mismo cuerpo si se mueve más lento ([8], p. 253). Este principio experiencial, si bien nos ayuda a comprender cualitativamente por qué en el aire los cuerpos no caen con la misma aceleración, no nos ayuda a determinar cuantitativamente (ie. numéricamente) cuál es su velocidad.

En otra sección de *Dos nuevas ciencias*, Galileo apela a un principio teórico hidrostático para calcular las velocidades de los cuerpos que caen en un medio resistente, ie. para hacer la corrección necesaria. Dicho principio reza así: “el medio disminuye el peso de cualquier sustancia inmersa en él en una cantidad

igual al peso medio desplazado; de tal forma que el aire en el aire pierde todo su peso” ([8], p. 81). Basándose en este principio Galileo afirma que la velocidad real de un cuerpo que cae en algún medio resistente se calcula “Observando qué tanto el peso del medio sustrae [*destrae*] del peso del cuerpo que se mueve” ([8], p. 75).⁸ En otros términos, la fórmula para calcular la velocidad media de un cuerpo que cae en un medio resistente sería la que mencionamos anteriormente:

$$c = \frac{G \cdot G_m}{G}$$

Veamos ahora la segunda forma en que los enunciados abstractos (ie. idealizaciones) se relacionan con el mundo concreto o real, a saber, la experimentación. Tomemos como ejemplo la ley de que los cuerpos caen con movimiento

8 Lo que Galileo literalmente dice es que este método para calcular las velocidades reales se sigue del principio de que todos los cuerpos caen con la misma velocidad en el vacío ([8], p. 75). Esta derivación no es muy clara, principalmente porque Galileo no explica como interviene el peso de un cuerpo que cae en el vacío, y por ello resulta un tanto extraña la introducción del peso en el cálculo de velocidades reales. De acuerdo con algunos comentaristas contemporáneos, el peso o gravedad específicos de un cuerpo si interviene en (y más específicamente, es la causa de) su caída en el vacío; y la razón por la cual a pesar de que los cuerpos de distinto material, o sea, de distinto peso específico, caen a la misma velocidad es que las diferencias de peso (que está en función de la cantidad de materia o masa) se encuentran contrabalanceadas por diferencias iguales de masa (ie. resistencia interna a la aceleración) ([4], p. 140; [9], p. 229). Estos autores reconocen que Galileo no tenía el concepto de masa; sin embargo hay al menos un pasaje en que Galileo parece vislumbrar este concepto de masa o resistencia a la aceleración ([7], pp. 213-215).

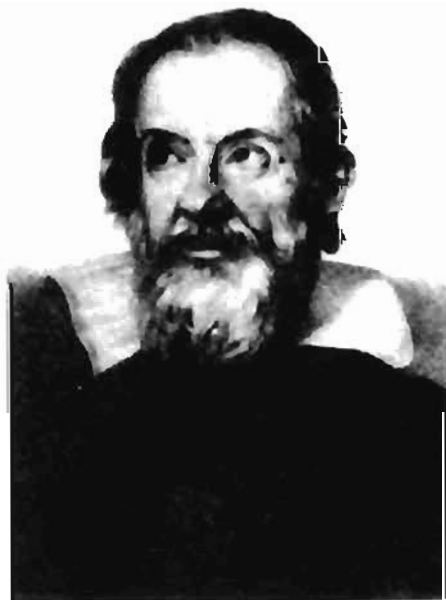
En general, las tesis de Galileo acerca de la influencia del medio resistente no son muy claras. A veces parece confundir la resistencia que el medio presenta a su penetrado por un cuerpo que cae (acción mecánica) y el empuje hacia arriba que el medio ejerce sobre el cuerpo que cae (principio hidrostático). Así, por ejemplo, Galileo sostiene que “el hecho de que cualquier medio fluido disminuye el peso de una masa sumergida en él, se debe, Simplicio, a la resistencia que este medio presenta a ser abierto, empujado de lado y finalmente levantado”. ([8], p. 81). Por otra parte, también habla de la fricción que se produce al moverse por un medio, pero su discusión es bastante inconclusa ([8], pp. 88-90).

uniformemente acelerado en el vacío. A partir del principio de que en dicho tipo de movimiento la velocidad es proporcional al tiempo, Galileo deriva el teorema de que en el movimiento uniformemente acelerado la distancia recorrida es proporcional al cuadrado del tiempo. Después confronta este teorema con la experiencia sensible, y dado que encuentra que están en acuerdo concluye que el principio $V \propto t$ es verdadero y por tanto, que la caída libre es un caso de movimiento uniformemente acelerado (método hoy día llamado hipotético-deductivo) ([8], p. 160).

La manera como se confronta el teorema at^2 con la experiencia sensible es a través de la experimentación.

El experimento que Galileo dio o sugirió es el de trabajar con planos inclinados por los cuales ruedan pelotas. Escogió trabajar con pelotas que ruedan por planos inclinados en vez de objetos que caen libremente porque en el primer caso la caída es más lenta, y dado que no tenía relojes muy finos, había mayor posibilidad de determinar con precisión el tiempo de caída ([8], p. 84; [7], p. 28). La situación experimental es la siguiente:

Un pedazo de moldura de madera, de unos 12 codos de largo, medio codo de ancho y tres dedos de grosor, se tomó; en su orilla se cortó un canal de un poco más de un dedo de am-



plitud; una vez hecho este canal muy derecho, liso y pulido, lo forramos con pergamino, también tan liso y pulido como fue posible, y rodamos en él una bola de bronce muy dura, lisa y redonda. Colocamos esta tabla en una posición inclinada, elevando un extremo uno o dos codos arriba del otro, y rodamos la pelota, como decía, por el canal, midiendo, de la manera que lo describimos abajo, el tiempo requerido para el descenso. Repetimos este experimento más de una vez con el fin de medir el tiempo con una precisión tal que la diferencia entre dos observaciones nunca excediese una décima de un latido del pulso. (...) en dichos experimentos, repetidos unas cien veces, siempre encontramos que los espacios recorridos eran unos a otros como los cuadrados de los tiempos, y esto fue verdad para todas las inclinaciones del plano. ([8], pp. 178-179).

Destaquemos los puntos centrales de este experimento.

1) Llama la atención el énfasis que Galileo hace en el hecho de que el canal es muy derecho, liso y pulido, y la pelota es muy redonda, pulida y lisa. En los *Dos sistemas del mundo* también usa el experimento (imaginario) del plano inclinado para probar el principio de inercia, y dice lo siguiente: "Recuerda que

dije una bola perfectamente redonda y una superficie altamente pulida, con el fin de eliminar todos los impedimentos accidentales y externos. Igualmente, quiero que retires cualquier impedimento que el aire cause por su resistencia a ser separado" ([7], p. 146, subrayado mío; cfr. [8], p. 253). Recordemos que para Galileo la ley de caída libre ($V \propto t$) es idealizacional por cumplirse bajo la condición ideal del vacío ([8], p. 170), al igual que el principio de inercia. Por tanto, esta ley, o sus consecuencias ($d \propto t^2$) no se pueden confrontar directamente con la experiencia sensible, sino que esta experiencia debe darse bajo condiciones (ie. reales) que sean lo más similar posible a las condiciones ideales. Como la condición ideal es que no haya resistencia del medio, la condición real en que se da la caída de bolas por planos inclinados tiene características tales que reducen al máximo posible la resistencia del aire. Este, me parece, es un punto fundamental. La experimentación es una situación en que las condiciones en que ocurre un fenómeno están controladas. Y una razón por la cual puede requerirse el control de las condiciones es la necesidad de adecuar los fenómenos a la teoría, y más precisamente, de aproximar las condiciones reales del fenómeno a las condiciones ideales de la ley. A partir de

estas consideraciones podemos concluir que una razón fundamental por la cual se puede recurrir a la *experimentación*, a la creación de situaciones artificiales, y no a la mera experiencia sensible, es la necesidad de adecuar o poner en relación leyes abstractas (ie. idealizaciones) con fenómenos concretos.⁹

El que el experimento tiene la función de conectar leyes abstractas con fenómenos concretos ha sido notado por algunos historiadores de la ciencia. I.B. Cohen sostiene que "Galileo fue el primero en poner a prueba experimental las leyes escolásticas del movimiento [en particular la ley o definición de movimiento uniformemente acelerado], probando que se podían aplicar al mundo real de la experiencia. (...) nadie más en ese intervalo de trescientos años había tenido la intuición de ver cómo se relacionaban dichas abstracciones con el mundo de la naturaleza". ([3], p. 112).

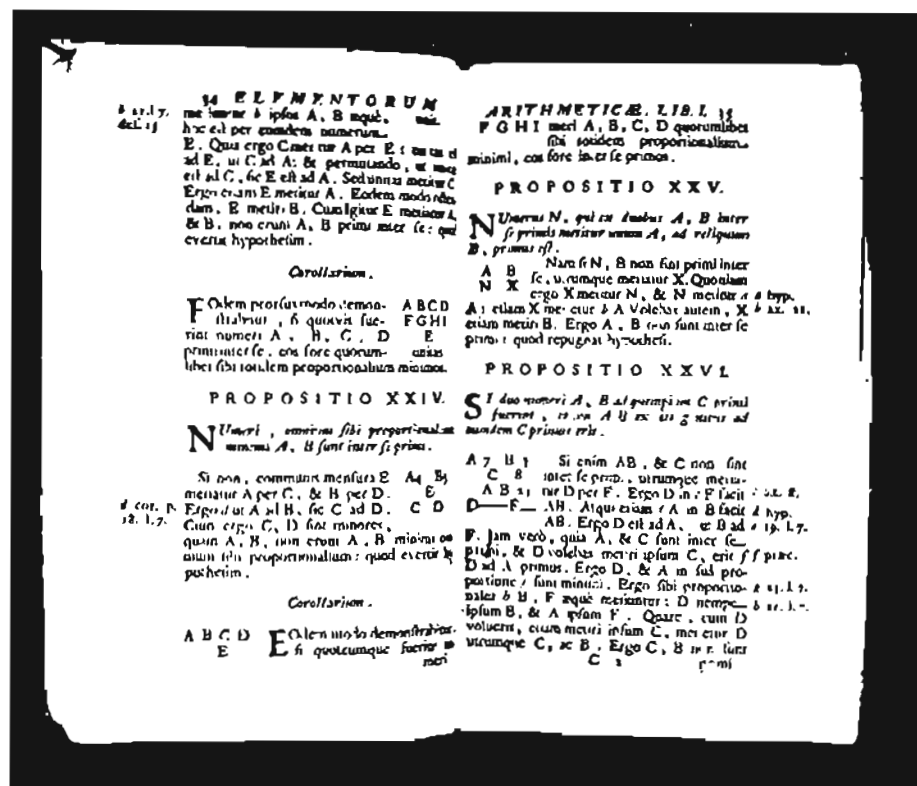
2) Galileo enfatiza que repitió muchas veces el experimento con el fin de obtener resultados precisos o exactos. El que se exija que los resultados sean precisos se debe al hecho de que la ley que se trata de relacionar con el mundo concreto es abstracta, o sea, está matematizada, por lo que se trata de relacionar números que se obtienen teóricamente con números que se obtienen experimentalmente.

3) Una característica notoria de la experimentación que se realiza en relación con teorías matematizadas es el uso que hace de instrumentos que permiten la generación de situaciones artificiales o que permiten mediciones cada vez más precisas.

Para concluir, la manera en que las leyes abstractas se ponen en relación con, o se aplican a, el mundo concreto es a través de dos procedimientos: 1) un procedimiento de manipulación teórica en que las condiciones ideales se sustituyen por condiciones reales; y/o 2) un procedimiento de manipulación experimental que busca aproximar las condiciones reales a las condiciones ideales.

c. Ahora bien, si la aplicación de las leyes idealizacionales generalmente requiere de la factualización, ¿por qué

9 Es posible una prueba experimental de las leyes idealizacionales porque éstas se aproximan más o menos a algunos datos experienciales; más concretamente, esta aproximación se da cuando en las situaciones reales el valor de las variables que se han idealizado es cercano a 0.



la teoría contiene leyes idealizaciones, y no dichas leyes factualizadas (y por lo cual su aplicación a la realidad sería más inmediata)? La respuesta a esta pregunta es compleja. Parte de esta respuesta, como veremos, también nos informa qué función teórica cumplen las leyes idealizaciones.

A partir del ejemplo de factualización de la ley de caída libre resulta claro que la sustitución de condiciones ideales por condiciones reales, o en otros términos, la sustitución de variables cuyo valor es cero por variables con valores numéricos reales, altera la relación funcional que se enuncia en el consecuente de la ley. Ahora bien, no siempre es posible o conveniente la sustitución de condiciones ideales por reales por dos razones. a) Es posible que no se logre descubrir una relación funcional tal que incluya las variables con valores reales. Esto le sucedió a Galileo: "Con respecto a la perturbación que surge de la resistencia del medio, ésta es más notoria, y dadas sus múltiples formas, no está sujeta a leyes físicas ni a una descripción exacta" ([8], p. 252). b) Es posible que la ley factualizada resulte muy complicada, por lo cual puede ser conveniente conservar en la teoría una ley idealizacional simple. Así pues, es en parte por razones pragmáticas que una teoría física contiene leyes idealizaciones.

En segundo lugar, el uso de leyes idealizaciones (especialmente cuando éstas no se pueden sustituir por leyes factualizadas) cumple una función teórico-heurística ya que permite organizar, aunque sea de manera burda, los datos empíricos con que se cuenta. Esta organización de datos puede permitir ya sea el refinamiento futuro de la teoría o el refinamiento de los instrumentos o de las técnicas manipulativas que intervienen en la situación experimental ([2], p. 55; [11], p. 194). Recordamos que la aplicación de leyes idealizaciones a la realidad puede darse por un proceso de manipulación teórica o experimental. El refinamiento futuro de la teoría se dará en la medida en que se especifiquen de manera más precisa cómo se pueden sustituir las condiciones ideales por condiciones reales, con lo cual se logrará una mayor aproximación de la ley a las situaciones reales. Por otra parte, las leyes idealizaciones cuantificadas permiten el mejoramiento de los instrumentos o las técnicas manipulativas de las situa-

ciones experimentales dado que actúan como criterio para juzgar la confiabilidad de éstos —por ejemplo, se puede juzgar que x instrumento productor de vacío es mejor que otro, porque en el vacío que produce el primero la velocidad media que tienen dos cuerpos que caen es la misma, mientras que la velocidad de estos cuerpos al caer en el vacío producido por el segundo instrumento no es la misma.

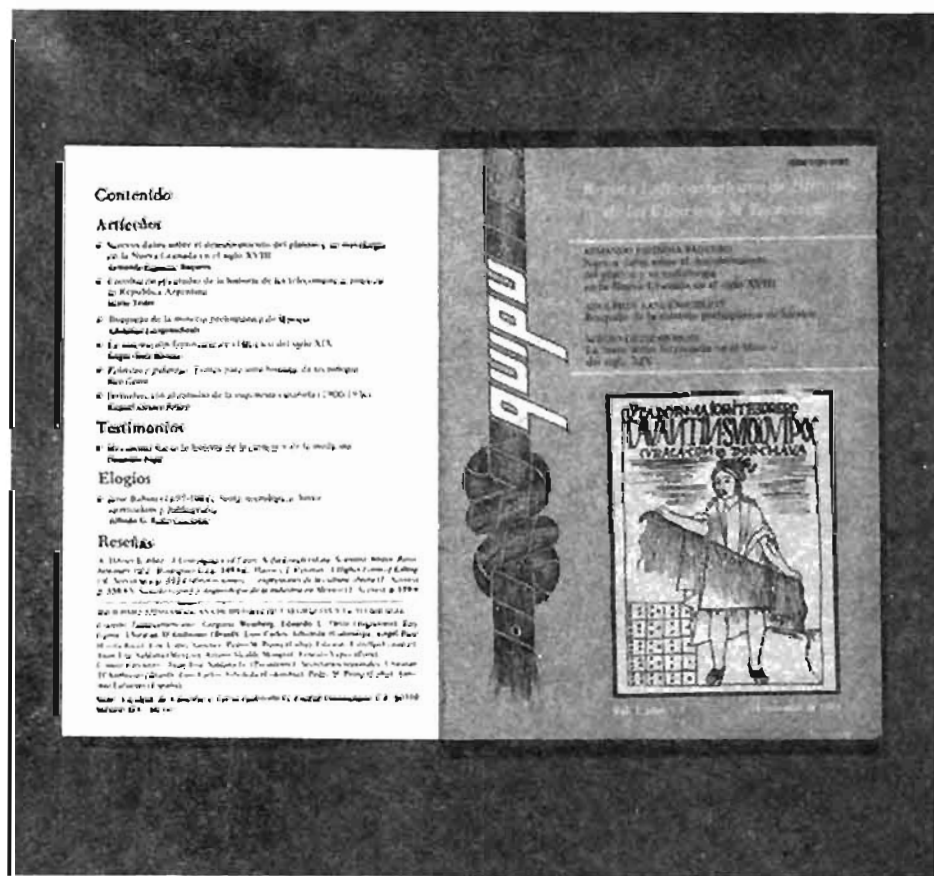
En tercer lugar, es conveniente que una teoría contenga leyes idealizaciones porque éstas, dada su mayor simplicidad (debida al uso de pocas variables), aclaran el campo teórico, y nos permiten una mejor comprensión intelectual de la realidad.

En términos galileanos, el uso de leyes idealizaciones aclararía el campo conceptual porque en dichas leyes se distingue entre factores esenciales o primarios —como el peso o gravedad para la caída— y factores accidentales o secundarios (aunque siempre presentes) —como la resistencia del medio (cfr. [10], p. 26; en Galileo, [8], p. 74).¹⁰

Algunos autores consideran que hay una relación estrecha entre leyes idealizaciones y fundamentos teóricos. Por ejemplo: "gracias a esas situaciones idea-

lizadas, Galileo y Newton realizaron su gran contribución a la mecánica. De igual modo debemos estudiar con gran interés los movimientos simples e ideales para obtener una comprensión real de los fundamentos de la dinámica" ([6], p. 342). Considero que el que Galileo haya enunciado la ley de caída libre bajo la condición ideal de no-resistencia del medio contribuyó a fundamentar la mecánica clásica en la medida en que en dicha ley se establece el verdadero papel que juega

10 La distinción entre factores primarios y secundarios, o entre factores que se toman en cuenta en la ley y factores que no se toman en cuenta (i.e. se considera que su valor es cero), se hace en términos de razones empíricas y razones no-empíricas, o teóricas, o sólo en términos de éstas últimas. Como sugiere la frase de Galileo, "el medio resistente es un impedimento accidental y externo" ([7], p. 146), una de las razones por la cual él deja de lado el medio en la ley de caída es la idea filosófica (aristotélica) de que la caída es un movimiento natural y por ello causada por la propia naturaleza del cuerpo que cae, o sea, por su peso, mientras que la influencia del medio es externa, por ello accidental, y, por tanto, secundaria. En otros términos, el proceso de abstracción requiere de algunas razones que no sean empíricas.



la resistencia del medio en el movimiento de los cuerpos. Lo que esta ley implica es que la resistencia del medio no es una condición necesaria para que ocurra el movimiento. Y esta afirmación fue fundamental para el surgimiento de una nueva mecánica, una mecánica no-arisotélica.¹¹ Notemos que aquí sólo sostenemos que algunos principios o fundamentos teóricos son idealizaciones. En verdad, no todo principio es idealizacional (vgr., el segundo principio newtoniano, $F=ma$, no es idealizacional porque no se enuncia bajo condiciones ideales), ni toda ley idealizacional es un principio (vgr. la ley de Boyle-Mariotte).

Así pues, las leyes idealizacionales cumplen una función teórica básica ya que aclaran el campo teórico al distinguir entre factores esenciales o primarios y factores accidentales. Además, algunas de ellas, precisamente por llevar a cabo esta distinción, pueden servir de fundamentos o principios de una teoría.

En cuarto lugar, podemos destacar que las teorías científicas tienen necesidades o requisitos propiamente teóricos. Uno de éstos es el de la sistematización, o en el caso de las teorías cuantificadas, el de la deducibilidad. Las leyes idealizacionales pueden ser teóricamente aceptables porque son deducibles de otras leyes.

Galileo consideró que su ley de caída libre (la caída es uniformemente acelerada) era teóricamente aceptable, aunque

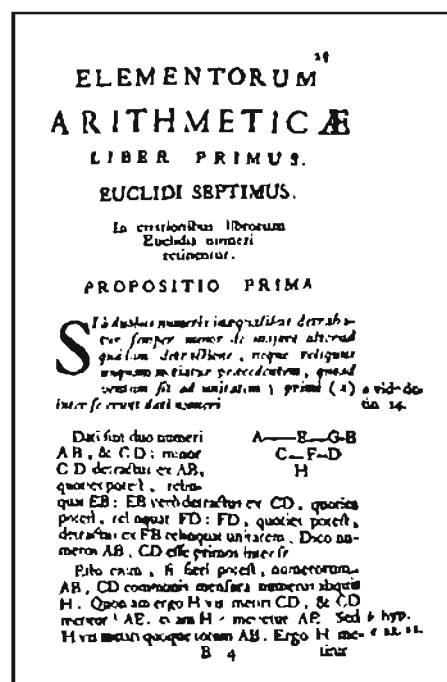
fuese idealizacional porque podía ser aprobada teóricamente (ie. era deducible matemáticamente de ciertas asunciones que eran aceptables racionalmente, en particular, de la asunción de que la velocidad es proporcional al tiempo) ([8], pp. 161-176). En otros términos, Galileo no sintió la necesidad de buscar otra ley de caída libre que fuese factual porque su ley idealizacional cumplía con los dos requisitos básicos de aceptabilidad de una ley: a) podía demostrarse teóricamente y b) a través de la experimentación (y/o de un proceso de factualización) se adecuaba con los datos empíricos.

En este punto hemos tratado de abogar por la idea de que las teorías científicas son relativamente independientes de su adecuación con el sector de realidad que buscan conocer, o en otros términos, los valores que rigen la aceptabilidad a la realidad, sino también otros que son netamente teóricos. Para Galileo, por ejemplo, estos valores son los de demostrabilidad matemática y de simplicidad ([8], p. 161). Además, él consideró que estos valores son tan básicos que, aun cuando no pudo especificar con detalle el proceso de factualización que permitiría aplicar con una aproximación aceptable su ley de caída libre a la caída de objetos reales, sostuvo que su ley era aceptable porque satisfacía los valores netamente teóricos de demostrabilidad matemática y de simplicidad.

Con respecto a la evidencia que se tiene para las leyes idealizacionales podemos decir lo siguiente.

Hemos visto ya que un tipo de evidencia con que cuentan estas leyes es que son demostrables teóricamente.

En cuanto a la evidencia empírica, ésta puede ser al menos de dos clases. 1) En muchos casos la evidencia empírica puede ser directa, ie. es posible aplicar a la realidad —usualmente vía la experimentación— una ley idealizacional. Esto sucede cuando el valor real o concreto de las variables es pequeño (o sea, cercano a cero), por lo cual el resultado que se obtiene a partir de la ley idealizacional se aproxima bastante al resultado experimental (o experiencial). En este caso se encuentra, por ejemplo, la ley de caída libre (caída uniformemente acelerada) ([10], p. 28). Conviene destacar aquí que para algunos autores contemporáneos, una característica fundamental de las leyes idealizacionales es que éstas son *aproximadas* por algunos fenómenos o enti-



dades concretas ([1], p. 266; Galileo a veces parece tener esta idea, cfr. [8], p. 253 y 256). 2) En otros casos, la evidencia empírica es algo más indirecta. El procedimiento consiste en considerar que la ley idealizacional queda probada en la medida en que los valores reales que se obtienen experimentalmente, al ser llevados a un límite o valor extremo (usualmente cero) dan el resultado que la ley idealizacional predice ([1], p. 269 y [10], p. 23). Por ejemplo, Galileo prueba que en el vacío (condición ideal) todos los cuerpos caen a la misma velocidad argumentando que en el caso de medios muy tenues y poco resistentes (condición real) los cuerpos caen casi a la misma velocidad, por lo que si se lleva la condición real (ie. el medio poco resistente) a un valor extremo (ie. a una resistencia nula), los cuerpos caerán con la misma velocidad ([8], pp. 71-72). Este tipo de procedimiento está justificado por el hecho de que las condiciones ideales de las leyes idealizacionales, no son más que idealizaciones de las condiciones reales (ie. valores reales llevados a un límite) ([10], p. 23).

II

En esta sección intentaré desarrollar (muy esquemática y tentativamente) algunas ideas presupuestas en la sección anterior. Para ello defenderé la siguiente tesis: gracias a la obra física galileana se legitimó el desarrollo de teorías abstractas.

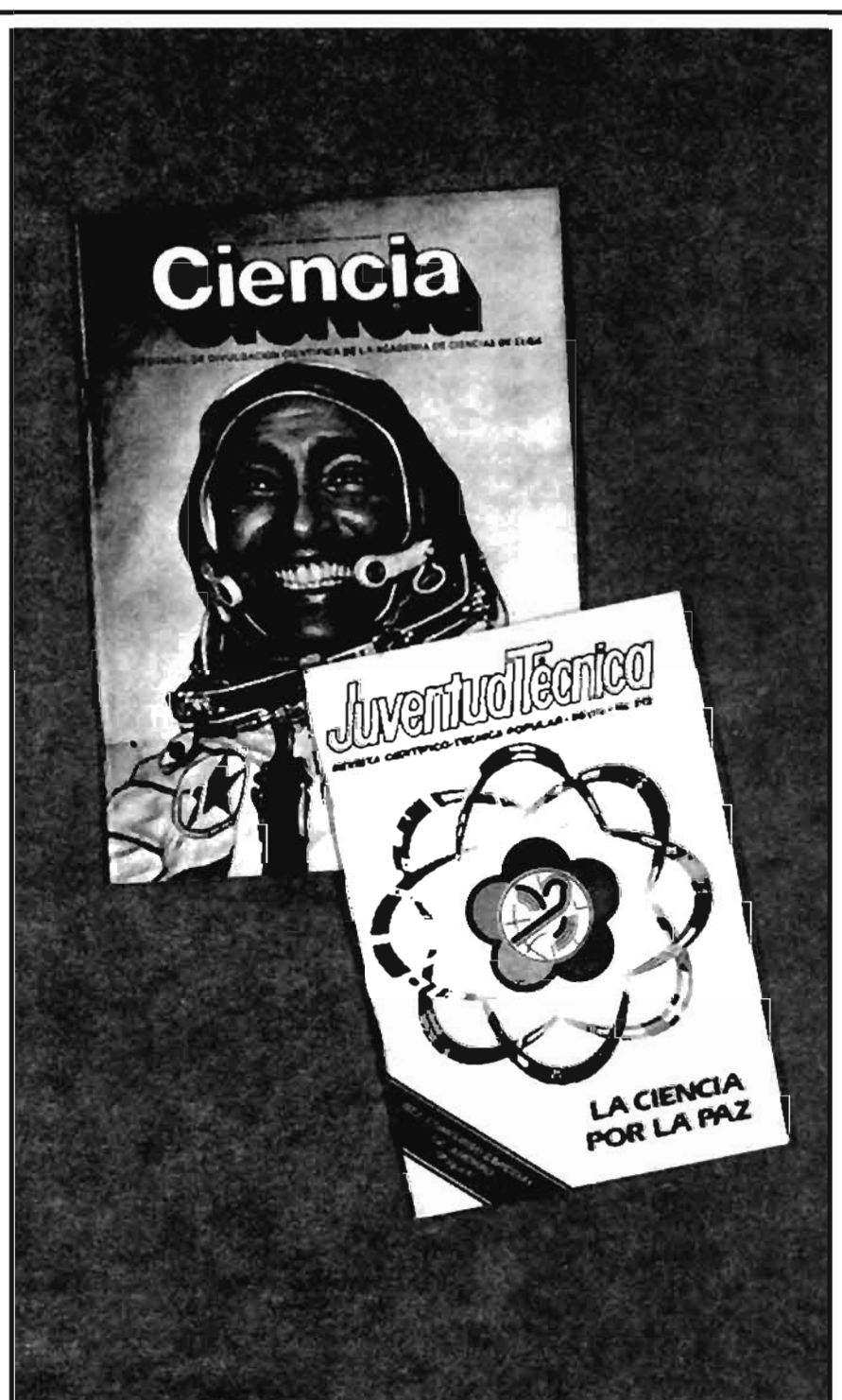
11 Para la mecánica aristotélica el medio es necesario para la ocurrencia del movimiento por dos razones: (a) El medio contribuye a mantener el movimiento cuando el motor externo que origina el movimiento no acompaña al objeto movido (y dado el principio de que todo movimiento debe estar causado por un motor que tanto origina como lo mantiene) —p. en el caso del movimiento de un proyectil. (b) El medio actúa como resistencia necesaria ya que $V = \frac{F}{R}$ por lo que si $R = 0$, entonces

$V = \infty$, lo cual, dice Aristóteles, es absurdo. Frente a esto Galileo afirma que 1) (a) y (b) son contradictorias, ya que el medio no puede a la vez conferir el movimiento e impedirlo; ii) la experiencia contradice la tesis de que el medio confiere movimiento ([7], pp. 151-153); iii) la experiencia contradice el que la velocidad sea directamente proporcional a la fuerza o peso, y el que sea inversamente proporcional a la resistencia o densidad del medio, y iv) si se rechaza la ley peripatética del movimiento, como debe hacerse por las razones anteriores, entonces es posible (lógica o teóricamente, por lo menos) el movimiento en el vacío ([8], pp. 61-67).

tas en todos (o casi todos) los campos científicos. Anteriormente, dada la dominación de la visión aristotélica, el conocimiento en sentido estricto, o ciencia, tenía que desarrollarse por medio de teorías concretas o empíricas. En términos muy generales, podemos decir que una de las contribuciones más *revolucionarias* de Galileo fue precisamente el mostrar *cómo* se podía desarrollar una teoría abstracta del mundo sensible. Para defender esta tesis expondré primero qué es una teoría abstracta y por qué la galileana lo es, y en segundo lugar por qué la teoría aristotélica no lo es.

a. Como se sugiere en la nota 4, (convenirá releer también para esta sección las notas 6 y 9), un concepto, ley o teoría es *abstracta* si no corresponde o se adecúa *directamente* con la realidad *sensible*. Ejemplos de teorías abstractas son las físicas mecanicistas de Galileo, Descartes y Newton. Estas son abstractas porque su objeto de estudio, la materia con o sin movimiento, y con o sin fuerzas que actúan a distancia, no representa directamente el mundo *sensible*; nuestro mundo perceptual tiene perros, piedras; movimientos lentos y rápidos, etc.¹² Esta idea Dijkstra la expresa así: "Al idealizar radicalmente los fenómenos mediante la eliminación de todas las influencias obstaculizadoras y esquematizando todo en forma igualmente cabal por medio de abstracciones simplifica-

12 Nótese que la cuestión del carácter abstracto de una teoría es distinta a la cuestión de la interpretación realista de una teoría. Las teorías mecanicistas usualmente han sido interpretadas realistamente por sus autores (piénsese por ejemplo en Descartes), es decir, a partir de dichas teorías ellos construyeron una ontología de acuerdo con la cual el mundo físico consistía sólo en materia en movimiento (con o sin fuerzas), y por lo cual la teoría describía directamente el mundo *físico*. Sin embargo, aun cuando aceptemos esta interpretación realista, podemos continuar sosteniendo que cualquier mecanicismo es una teoría abstracta dado que no describe directamente el mundo *sensible*, que es el mundo que no sólo importa explicar sino también interactuar prácticamente con él (ie. manipular o controlar). (Téngase en cuenta que el mecanicismo no es abstracto porque deje de lado las llamadas cualidades secundarias como colores, etc., ya que, programáticamente al menos, se trata de reducir las cualidades secundarias a las primarias —como tamaño, forma, etc., o sea, propiedades cuantificables, ie., explicar las secundarias en términos de las primarias).



Revista *Ciencia*: Información a: Depto. de Divulgación de la Academia de Ciencias de Cuba, Industria y Dragones, Zona Postal 2, Habana Vieja, Ciudad de La Habana, Cuba.

Revista *Juventud Técnica*: suscripción anual desde el extranjero: Empresa de comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Habana 1. Apartado Postal 605 \$ 20.00 dólares U.S.A. América del Norte \$ 25.00 dólares U.S.A. América del Sur \$ 27.00 dólares U.S.A. Europa y el resto del mundo.

doras (por ejemplo, al imaginar que todas las verticales son paralelas y al considerar que los cuerpos son puntos materiales), la mecánica se desarrolló en una ciencia autónoma bastante remota de la realidad física" ([5], p. 346).

Hay al menos dos procedimientos de abstracción que permiten la construcción de teorías abstractas: la matematización (ie. la introducción de las matemáticas a una teoría "no-formal") o la idealización.¹³

Es precisamente porque los procesos de abstracción como la matematización y la idealización no llevan a generalizaciones empíricas (cfr. nota 4), por lo que las teorías abstractas son *relativamente autónomas o independientes* de la experiencia, ie. pueden rebasar la experiencia. Así, por ejemplo, el que en la teoría galileana se analiza teóricamente el movimiento de un proyectil en dos movimientos simples, el horizontal uniforme y el vertical acelerado, nos muestra que esta teoría va más allá de la experiencia sensible. Por otra parte, las teorías abstractas son *relativamente independientes* de la experiencia en el sentido en que en ellas se pueden establecer leyes o principios sobre la base de consideraciones teóricas y no necesariamente empíricas; ie. no toda justificación de una ley o principio consiste sólo en su verificación. Así, por ejemplo, hemos visto que criterios intrateóricos de la aceptabilidad de las leyes para Galileo son los de demostrabilidad matemática y simplicidad.

13 Conviene que ya aclaremos una idea implícita en este trabajo. Considero que es una hipótesis plausible la aseveración de que en su origen algunas ramas de la matemática se desarrollaron por procesos de abstracción similares a los de la idealización; es decir, considero que algunas ramas de la matemática no siempre han sido ciencias formales, constituidas por verdades analíticas, sino ciencias empíricas —p.e. la geometría euclídea fue concebida por muchos autores (Platón, Descartes, Kant) como la ciencia del espacio. Por otra parte, si bien originalmente muchos conceptos matemáticos (p.e. el de círculo, o el de "dos"), o algunos enunciados matemáticos, pudieron haber sido abstraídos de la experiencia sensible, esto no impidió que las ramas matemáticas en cuestión adquiriesen posteriormente una independencia tan fuerte que se convirtiesen en autónomas (en dos sentidos: 1) que la justificación de sus enunciados es totalmente intrateórica, por lo cual son inmunes a contraejemplos empíricos y 2) que pueden remontarse tan lejos de la realidad que no tienen aplicabilidad empírica alguna por largo tiempo).

Dada nuestra esquemática caracterización de las teorías abstractas resulta claro que éstas guardan una relación *indirecta* con el mundo sensible. En el caso de teorías matematizadas se requiere el uso de un instrumental de medición para correlacionar sus leyes con el mundo sensible, muy probablemente sea necesario algún proceso de factualización (ya que, por ejemplo, la tierra se concibe como un círculo perfecto tocada en un sólo punto por una tangente), y seguramente, lo que se pone en relación no es sólo una ley sino un conjunto, dada la fuerte interrelación que implica la derivabilidad matemática. En el caso de que la teoría sea abstracta por idealización, su aplicabilidad a la realidad requerirá de un proceso de factualización. En verdad, Galileo mostró cómo se podía desarrollar una teoría abstracta mostrando cómo ésta se puede aplicar a la realidad (principalmente a través de la factualización y el uso de instrumentos).

b. La física aristotélica es una teoría concreta por las siguientes razones.

En primer lugar, el objetivo de la física aristotélica es captar teórica o intelectualmente el mundo sensible, en toda su complejidad y diversidad, en su concreción. Así, por ejemplo, la ley peripatética del movimiento toma en cuenta todos los factores que se consideraba que intervenían en el movimiento. Por otra parte, se habla de movimientos naturales y violentos, gravedad y liviandad, etc. En segundo lugar, su aplicación al mundo sensible es muy directa. La ley peripatética nos dice que a mayor fuerza, o peso, más rápido se moverá el objeto, y a mayor resistencia, menos rápido el movimiento, afirmación que cotidianamente comprobamos experiencialmente.

En tercer lugar, la teoría física aristotélica no tiene elementos idealizacionales ni es matematizada. En particular, Aristóteles sostuvo precisamente que no se podía matematizar la física porque las matemáticas son una teoría en la que se hace abstracción del cambio y las cualidades, mientras que la física tiene por objeto explicar el cambio en un mundo cualitativamente diverso.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Barr, William F. "A syntactic and semantic analysis of idealizations in science". *Philosophy of Science*, vol. 38, no. 2, 1971.
- 2 Barr, William F. "A pragmatic analysis of idealizations in physics". *Philosophy of Science*, vol. 41, no. 1, 1974.
- 3 Cohen, I. Bernard. *The Birth of a New Physics*. New York: Doubleday tuchor Books. 1960.
- 4 Crombie, A. C. *Historia de la ciencia: de San Agustín a Galileo*. Vol. II. Madrid: Alianza Editorial. 1974.
- 5 Dijksterhuis, E.J. *The mechanization of the world picture*. Oxford: Clarendon Press. 1961.
- 6 Física. Elaborado por el Physical Science Study Committee. 2a ed. Vol. II. México: Editorial Reverté, S.A. 1966.
- 7 Galileo, Galilei. *Dialogue concerning the two chief world systems*. Translated, with revised notes, by Stillman Drake. 2a. ed. Berkeley, University of California Press. 1974.
- 8 Galileo, Galilei. *Dialogue concerning two new sciences*. Translated by Henry Crew and Alfonso de Salvio. New York: Dover Publications. 1954.
- 9 Koyré, Alexandre. *Estudios de historia del pensamiento científico*. 2a. edición. México: Siglo XXI. 1978.
- 10 Krajewski, Wladyslaw. *Correspondence principle and growth of science*. Dordrecht and Boston: D. Reidel Publishing Company. Series Episteme. 1977.
- 11 Kuhn, Thomas. "The function of measurement in modern physical sciences". *The Essential Tension*. Chicago: University of Chicago Press. 1977.
- 12 Moody, Ernest. "Galileo and his precursors". *Studies in medieval philosophy, science and logic*. Berkeley: University of California.
- 13 Nowak, Leszek. "Galileo of the social sciences". *Revolutionary world*. Vol. VIII, 1974; Gruner Publishing Co.
- 14 Shapere, Dudley. *Galileo. A philosophical study*. Chicago: The University of Chicago Press. 1974.
- 15 Shapere, Dudley. "Notes towards a post-positivistic interpretation of science". In Achinstein, P. and S. F. Barker (eds). *The legacy of logical positivism*. Baltimore: The John Hopkins Press. 1969.
- 16 Weisheipl, J. A. *The development of physical theory in the middle ages*. Michigan: University of Michigan Press. 1971.

EL PROYECTO DE UNA CIENCIA UNIVERSAL EN CRISTIAN WOLFF

Mauricio Beuchot*

El proyecto de Wolff

Para darnos una idea de la fama que le había dado a Christian Wolff el proyecto de un método universal emparentado con las matemáticas, podemos atender a un trozo del libro de Teodoro de Almeida intitulado *Recreación filosófica*, en el que dialogan Silvio y Teodosio, dos personajes de dicha obra:

Silvio:

- Pues qué, ¿tan apasionados de Wolfio son los alemanes?

Teodosio:

- Además del amor natural que tienen a su paisano y del crédito que logra por toda Europa, hay otra causa que los hace creer firmemente todo cuanto dice este filósofo, y es aquel estilo nuevo y admirable de llevarlo todo por método de demostración matemática; y así como sería reputado por loco el que dudase de una demostración geométrica, así ellos se burlan de los que dudan de la doctrina de Wolfio, por estar tratada geométricamente.¹

Así pues, a Wolff se le vinculaba con el proyecto de unir la lógica a la matemática. Pero veremos que Wolff difiere de los demás pensadores que desarrollan este proyecto, pues él no intenta dar a la lógica la presentación de un cálculo, sino hacer que proceda de manera matemática, o *more geométrico*, más concretamente, a semejanza de los *Elementos*

* Del Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.

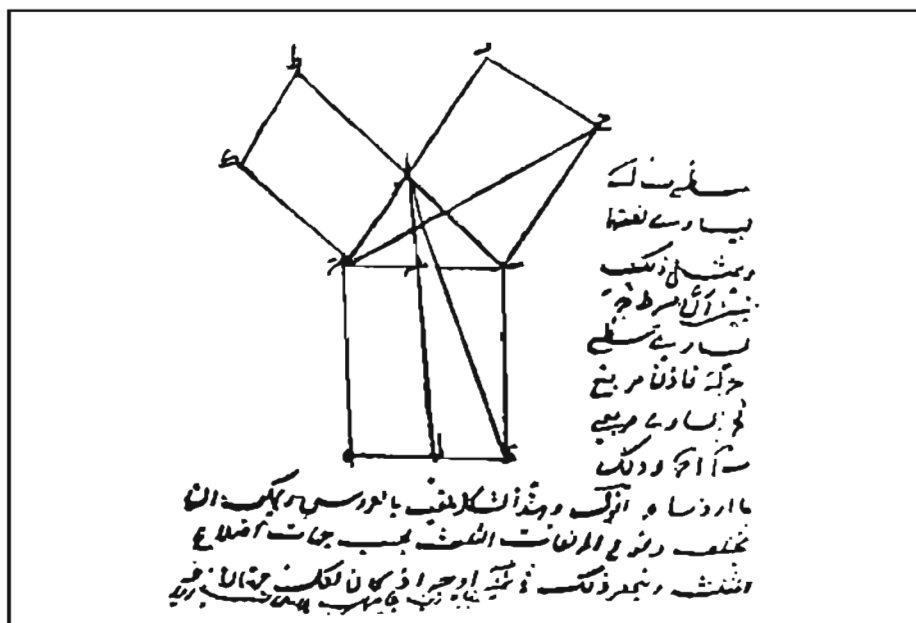


de *Geometría* de Euclides. Mas, a pesar de que no matematizó a la lógica más que en el modelo, será uno de los grandes impulsores del método hacia el cálculo lógico.

Inspirándose en Leibniz y su empresa de un método único de forma calculística, Wolff se afana en propugnar un método universal para todas las ciencias siguiendo el molde matemático. Es otra vez el *more geométrico* de los cartesianos y de los seguidores de Leibniz. Pero adquiere en Wolff un matiz especial. A pesar de que es profesor de matemáticas y buen matemático él mismo, no se afana en matematizar su método, sino sólo en que sea un método filosófico conforme o acorde a las matemáticas, entendiendo por ellas la obra de Euclides.

Fue tema sobre el que escribió ya desde su disertación doctoral en Leipzig: *Philosophia practica universalis mathematica methodo conscripta* (1703). Leibniz lo había persuadido de la importancia de la lógica, no sólo como arte demostrativa, sino también —y sobre todo— como arte inventiva. Y su maestro Tschirnhausen había escrito la *Medicina mentis* con este espíritu. En varios de sus trabajos, Wolff habla desde el título de ese método universal que es científico. Por ejemplo en su *Philosophia rationalis sive logica methodo scientifica pertractata*, y su *Ius nature methodo scientifica pertractatum*. Aspectos de ese método se hallan dispersos en toda su obra. Han sido tratados por Jean École al comentar el lugar más apropiado donde se encuentran, a saber, en las *Horae subsceivae margurgenses*.² Pero queremos abundar sus trabajos tratando el tema en la sección tercera de los *Mathematica mathematico-philosophica*, que recoge escritos suyos desde 1707 hasta 1753, un año antes de su muerte.

Wolff está convencido —como se ve en estos escritos— de que el método de la filosofía en general debe ser idéntico al de la matemática: “el método de la filosofía tiene las mismas reglas que el método de la matemática.”³ Pero no desarrolla ningún cálculo lógico, simplemente sostiene la continuidad del método filosófico con el de la matemática: “el conocimiento matemático debe conectarse al de la filosofía, donde hay que afanarse en la mayor certeza que se da.”⁴ Su empresa, pues, no consiste en implementar un cálculo o álgebra lógica, sino en tratar la lógica como si fuera matemática, y hacer que las disciplinas científicas



Demostración del Teorema de Pitágoras en una de las ediciones más antiguas en árabe de los *Elementos* de Euclides.

cas y filosóficas discurran siguiendo ese modelo matemático euclidiano. Además del valor teórico que tiene el método universal o científico en sí mismo, Wolff lo propone para ser aplicado en filosofía, derecho, medicina, teología dogmática, teología moral, etcétera, además de las matemáticas, donde se origina. Veremos primero el valor que da a este método en sí mismo, para pasar después a las variadas aplicaciones que le atribuye en diversas materias.

El método universal en sí mismo

De entre los autores que cita Wolff como predecesores suyos en esa empresa del método universal, se encuentran Descartes, Malebranche, Leibniz, Locke, Roberto Hooke (*Algebra philosophica*), Mariotte (*Tentamen logicae*) y Tschirnhausen (*Medicina mentis*); todos ellos buscan el método (VII, 131-132).⁵ Claramente se ve el influjo de Leibniz, de quien dice que en una ocasión le confió que demostraría la teoría de las mónadas al modo como los geómetras —siguiendo a Euclides— demuestran sus teoremas (XVI 204). Wolff lo describe como un “método cuidadoso, como gusta a los matemáticos y con el que nosotros hemos empezado a hacer filosofía” (IX, 148), y le da diversos nombres, como método “demostrativo”, “científico” o “filosófico”—tanto inventivo como demostrativo—. Para simplificar, lo llamaremos “método universal”.

Wolff describe su *método universal* como un procedimiento semejante al de Euclides. El método universal procede por citas, definiciones, axiomas, teoremas, problemas, corolarios y escolios: “el verdadero método exige tales definiciones, por las cuales se determine lo definido, de manera tal que las demás cosas que le convienen necesariamente puedan demostrarse a partir de ellas como de cosas asumidas. Exige además proposiciones en las que el sujeto se determine de manera tal que, a partir de las cosas que se asume que se predicán de otra, pueda demostrarse que el predicado le conviene a ella misma. Y exige finalmente demostraciones que, por la continua concatenación de raciocinios legítimos, de esas cosas que se asumen del sujeto se colija el predicado, y no se admita que entren en los raciocinios más premisas que aquellas de las que se ha convenido antes, y por ello, que se han de citar desde ahí” (XIV, 176). Tal es la manera —ciertamente cercana a la euclídea— por la que Wolff cree que el método adquirirá vigor y certidumbre.

De esta manera no habrá saltos en las inferencias, sino que se tratará de una argumentación cerrada y ceñida al objeto del que se habla, como extrayendo todas sus propiedades a partir de la noción de él como sujeto, por medio de su definición. Así, las leyes supremas del método científico, en cuanto *demostrativo*, son las siguientes: (i) todas las cosas que se han de tratar deben ser expresadas

en definiciones cuidadosas, esto es, que contengan todas las notas necesarias y suficientes para reconocer y distinguir una cosa; (ii) todo lo que se afirma de la cosa debe expresarse en proposiciones determinadas, es decir, en las que se presente el sujeto bajo la noción con la que compete al predicado; (iii) se debe demostrar la verdad de cada proposición. "Y se demuestra una proposición si, de la noción del sujeto, por ratiocinios concatenados se colige el predicado; y los ratiocinios tienen que ser correctos en cuanto a la forma, de modo que no transgredan las leyes de la lógica, y también correctos en cuanto a la materia, de modo que no se use ninguna premisa que no esté ya antes demostrada, a no ser una que se refiera a nociones comunes, y que por ello sea concedida por todos sin prueba" (XI, 163).

En cuanto a la parte inventiva de la lógica, Wolff juzga que sería muy útil sistematizarla. Distingue entre lógica y arte inventiva. La lógica sería más bien demostrativa, como en Aristóteles la *Analítica*, y el arte de descubrir o arte inventiva sería como la *Tópica* del estagirita. Y así como distingue entre lógica natural y lógica artificial, también distingue entre arte inventivo natural y artificial. El primero es cierta agudeza de ingenio para el descubrimiento, y el segundo si requiere ser sintetizado en sus reglas pertinentes. Y puede hacerse. Wolff no lo hace ni remite a algún lugar donde lo haya hecho. Se contenta con decir que tiene un carácter matemático, pero que su utilidad trasciende las matemáticas hacia todas las demás disciplinas y ciencias. A partir de los ejemplos concretos de descubridores y descubrimientos, Wolff cree que se pueden extraer las reglas generales del arte inventiva y de ellas *a priori* las que aún estén latentes (VII, 135).

Se nota cierta insistencia por parte de Wolff en dejar bien claro que el método universal no es más que la aplicación de la lógica genuina (XI, 164; XIII, 169), que en el fondo no es otra cosa que el recto uso de las facultades cognoscitivas (XIV, 179). Sólo que no debe buscarse en los escritores de lógica habituales ni en los manuales de lógica al uso, sino en la praxis misma de los antiguos geómetras: "se pregunta, pues, cuál es ese método correcto que lleva a la verdad nítida o a una verdad meridiana y que a todos los que pueden alcanzarla se les presenta como deseable. Consta que Euclides estructuró sus *Elementos* con ese método,

de manera que quien los lee atentamente, quíeralo o no, es arrastrado al asentamiento y es vencido por la verdad. (...) El método de Euclides es el que vulgarmente se llama 'matemático' y que yo denomino 'científico', y que en la construcción contenida en el *Discurso preliminar sobre toda la filosofía*, que antepuse a la *Lógica*, es llamado 'filosófico'" (XVII, 183).

Y es que su *Lógica*, según dice él mismo, no es sino una lógica acomodada al uso de los geómetras. En ella ha puesto ejemplos matemáticos para hacer ver lo que debería ser la demostración. Cree haber sido el primero en presentar satisfactoriamente dicho método, que también aplicó a la psicología y la filosofía práctica, y con él enseña en el tomo V de los *Elementos mathesis universae* (XVII, 185). Siempre se ha dedicado a inculcar su método —afirma—, que es el de la geometría. Más aún, dice que desde joven quiso revocar todas las disciplinas al método único, emparentado con las matemáticas. Sobrepasando las matemáticas, él fue el primero en usarlo en la filosofía (XI, 164).

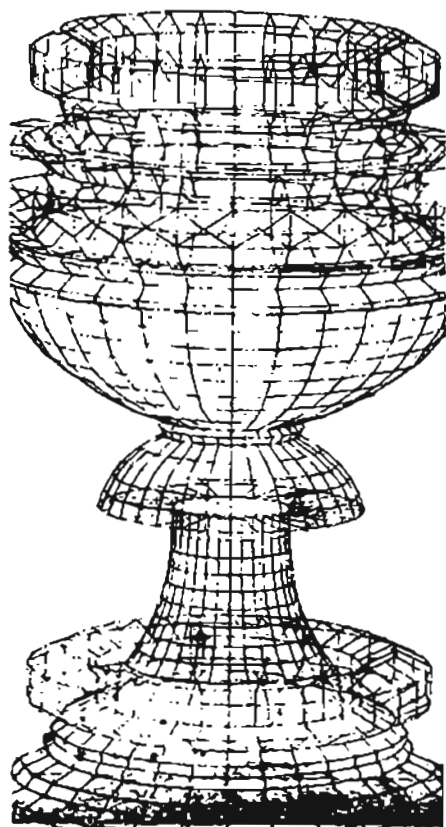
Aplicación del método universal en las principales disciplinas

Pasa Wolff a hablar de la utilidad que tendrá la aplicación de su método fuera de las matemáticas, en las demás disciplinas. Y alude a los autores que, a imitación de él y continuándolo, han tratado de hacer tales aplicaciones. La principal consideración que lo mueve a buscar ese método es el mismo desacuerdo que encontró Descartes en los científicos, excepto en los matemáticos. También considera, de manera semejante a Leibniz, que un método científico acabaría con todas las discusiones, haciendo brillar la verdad única (VII, 136).

Los filósofos viven en continua disensión, pues hay tantos sistemas cuantas cabezas o filósofos, y eso indica la falta del método adecuado. También los juristas viven en la disensión, pues al reo que unos juzgan merecedor de la pena de muerte otros lo juzgan digno sólo de un par de años en la cárcel, y esto vale tanto para el derecho natural como para el derecho positivo y de gentes. Eso delata que tampoco poseen el método correcto. Igual situación viven los médicos. Lo que un médico prescribe, causa risa a otro. Y así vemos que también ellos carecen del método conveniente. Incluso puede verse esto en los teólogos. Viven también la disensión, y esto tanto en teología dogmática como en teología moral; por lo cual requieren el método apropiado. Estas constataciones llevan a Wolff a la conclusión de que todas estas disciplinas necesitan el verdadero método (XIV, 181-182), y tal necesidad será remediada por el método universal que él promueve.

Este método, tomado de las matemáticas, él lo ha cultivado por sí mismo (cita su obra *Horae subsecivae*) y lo ha aplicado a las diversas partes de la filosofía, con el aplauso de unos y el vituperio de otros. Además de usarlo en filosofía, él mismo lo ha aplicado al derecho, y lo han hecho otros con éxito —siguiéndolo a él—, como Augspurgius y Cramer; éste último tanto en su aspecto demostrativo cuanto en su aspecto inventivo. En efecto, el jurista a veces requiere ser inventor, y para ello le puede servir el desarrollo que ha hecho Cramer del método que Wolff ya ha usado en otros sitios al ocuparse de matemáticas. Pero sobre todo lo ha aplicado al derecho en el aspecto demostrativo, en las famosas *Horae* (cfr. VII, 139; IX, 147 y XVI, 204). Igualmente se puede aplicar a la medicina, y Wolff dice que se ha hecho,





pero no menciona quién se ha dedicado a ello (VII, 137). También puede aplicarse a la teología, como lo declara en las mismas *Horae*, porque se pueden reducir las palabras de la Sagrada Escritura a nociones claras y distintas, y a partir de ellas procede la demostración. Y dichas nociones tienen que ser conformes con la mente del autor sagrado, para no obtener otros sentidos en las inferencias. Eso servirá para evitar las disensiones de los teólogos y la charlatanería de los oradores sagrados (XIII, 170). Siempre es el método filosófico que embona con el matemático de los *Elementos* de Euclides; en teología dogmática ha intentado aplicarlo Bernsau. Y, finalmente, también puede aplicarse en teología moral, donde se ha dado el intento bien logrado de Bertlingius. Ciertamente hay diferencias de objeto entre la filosofía moral y la teología moral, pero pueden conectarse por el método, de modo que en una y en otra se deduzcan las conclusiones con el mismo rigor; en una, a partir de los principios naturales —filosofía moral o ética—, y en la otra de los principios revelados en la Sagrada Escritura —la teología moral— (XVIII, 209).

Wolff declara que su máximo interés es inculcar este método universal y científico. Si algunos ven que él lo deja incompleto, pide que lo continúen; o si

ven que él o sus seguidores se han equivocado, que esos otros los corrijan (XIII, 171), pero que no se queden en las críticas negativas. Él se dedicará a ganar adeptos para su método. Como él mismo lo dice, no es que pretenda el título de “profesor del género humano”, que algunos le han insinuado, sino solamente desea cumplir con el deber que le impone el derecho natural de enseñar a los demás, sobre todo a los jóvenes (XIV, 196).

Apreciación valorativa

Como ha podido observarse, Wolff no es uno de los que estructuraron algún cálculo lógico o álgebra filosófica. Pero su aportación es digna de tomarse en cuenta —sobre todo si se atiende al gran influjo que ejerció en su momento sobre los pensadores más importantes de Alemania— porque llamó la atención hacia la unificación del método y hacia el carácter matemático del mismo. Si bien no matematizó la lógica, sino que le adjudicó un modo de proceder calcado sobre el modelo de la matemática euclidiana, con todo sigue siendo un promotor del cálculo lógico de una manera un tanto indirecta y parcial: solamente por el relieve que da a la matemática en el pensamiento y por haber insistido tanto en la identificación del método lógico con el método matemático, constituyendo con éste último un método universal.

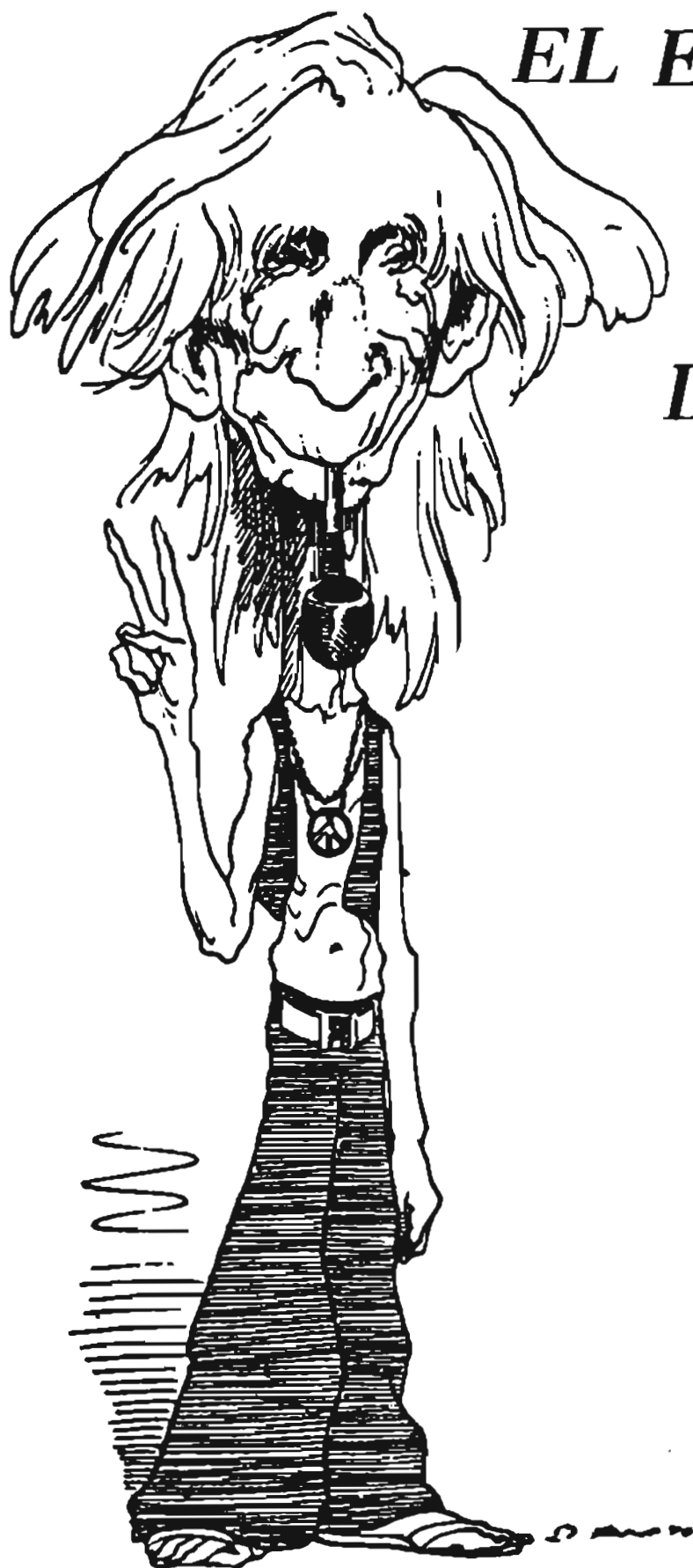
Wolff significa pues, en el proceso de la lógica para convertirse en álgebra lógica o lógica matemática, un impulsor de la evolución de esta disciplina mediante su proyecto de construir matemáticamente la ciencia. Se entiende esto como dar a la ciencia el rigor y el modo de las matemáticas, no ciertamente la simbolización algebraica de los términos, proposiciones e inferencias, sino la vertebración que se sigue en la prueba o demostración matemática, sobre todo a semejanza de la manera de proceder en la geometría euclídea. Con ello propició el que se siguiera ahondando en la comparación de la lógica con la matemática, y especialmente en la reflexión sobre el carácter matemático o, por lo menos, matematizable, de la prueba lógica.

En efecto, aun cuando Wolff propone esta matematización para la ciencia en cuanto tal, y no tanto para el método lógico que ella sigue, sin embargo la lógica es el método de la ciencia, y la primera que se veía afectada por las ideas

wolffianas era la propia lógica, en cuanto método o molde de la ciencia misma. Así, lo que suscitó de trabajos y meditaciones sobre el carácter matematizable de la ciencia fue al mismo tiempo reflexión sobre la posibilidad de construir matemáticamente la lógica. Tal vez sacó un poco de cauce los intentos de hacer simbólica la lógica, pero impulsó los intentos de hacerla matemática. Tal fue la aportación de Wolff a este proceso que siguió la lógica para convertirse en lógica matemática.

Bibliografía

- 1 T. de Almeida, *Recreación filosófica o diálogo sobre la filosofía natural para instrucción de personas curiosas que no han frecuentado las aulas*, Madrid: Imprenta Real, 1792 (2a. ed.), t. VIII, pp. 52-53.
 - 2 J. École, “De la méthode universelle selon Christian Wolff”, en *Filosofía Oggi*, 7 (1984), pp. 179-192.
 - 3 C. Wolff, *Lógica*, c. 4, s. 139.
 - 4 *Ibid.*, c. 1, s. 28; cfr. J. École, “Logique formelle et logique de la vérité dans la *Philosophia rationalis sive logica* de Christian Wolff (I)”, en *Filosofía Oggi*, 4 (1981), pp. 339-373 y (II) en *Ibid.*, 5 (1982), pp. 71-101.
 - 5 Citaremos con números romanos el opúsculo y con arábigos las páginas de la sección III de los *Maletemata mathematico-philosophica*, 1755, nueva edición, Hildesheim — New York: Georg Olms Verlag, 1974. (Aunque editados en un solo volumen, cada una de las tres secciones de los *Maletemata* tiene paginación independiente). Los títulos de los opúsculos citados son los siguientes:
- S VII: *Epistola gratulatoria ad . . . Jo. Ulricum Cramerum. . . qua disquiruntur: Num utile sit artem inveniendi in systema redigi* (1733).
 - S IX: *Methodus ad obtinendam certitudinem, cum testimonio eidem satisfecisse autorem* (1731).
 - S XI: *Praefatio ad Augspurgii Jura de dominio, etc.* (1739).
 - S XIII: *Praefatio ad Bernsau Theologiam dogmaticam* (1745).
 - S XIV: *Programma de necessitate methodi scientifica et genuino usu juris naturae ac gentium. . .* (1741).
 - S XVI: *Praefatio ad Leibnitii Methodum discendi jurisprudentiam* (1748).
 - S XVII: *Praefatio ad D. Bertlingii Elementa theol. moralis* (1753).



Bertrand Russell

EL ESTATUS DE LAS CLASES EN EL LOGICISMO DE RUSSELL

Ricardo Gómez*

Durante el último tercio del siglo XIX el desarrollo de la matemática fue conmovido por una serie de notables eventos: Cantor en su *Mengenlehre* edificó la matemática sobre conceptos y principios conjuntísticos desde los cuales introdujo rigurosamente las nociones de orden, límite, infinitud y continuidad, dando origen además a nuevos capítulos de la matemática, como la aritmética transfinita. Dedekind y Hilbert llevaron a cabo la aritmetización de la matemática: todo concepto del análisis, geometría y álgebra era introducido desde nociones aritméticas. Frege, a su vez, definió el concepto de número a partir exclusivamente de términos lógicos y dedujo las leyes de la aritmética desde principios lógicos. Peano, en la última década del siglo, logró la axiomatización de la aritmética utilizando exclusivamente símbolos lógico-matemáticos. Pero en 1893 Burali-Forti había descubierto que la aritmética ordinal cantoriana era inconsistente y Russell en 1901 llegó a la misma conclusión con respecto a la aritmética cardinal y a la sistematización de Frege de la aritmética.

La teoría de las clases constituye el núcleo central del intento russelliano de resolver tales dificultades. Como el concepto de número es un caso particular de clases, se concluye, en tanto se acepta la aritmetización de la matemática, que la pregunta por el estatus ontológico de los entes matemáticos es reducible a la cuestión acerca del estatus de las clases.

* Indiana University, mayo de 1979. Agradezco al Dr. Alberto Coffa sus sugerencias y observaciones críticas.

Por otra parte, acerca de la teoría de las clases de Russell y del logicismo en general se ha difundido una versión superficial e incorrecta. Así, por ejemplo, respecto al logicismo se ha afirmado muchas veces que él involucra el carácter analítico de los enunciados de la matemática cuando, por el contrario, según Frege, la geometría está constituida por proposiciones sintéticas *a priori*, y, para Russell, hasta 1912 todos los enunciados de la matemática son no-analíticos. A su vez, con referencia a las clases se ha tendido erróneamente a identificar a la teoría russelliana de las mismas con una concepción extensionalista de corte quineano.

Es por ello que creemos relevante adoptar como objetivos principales de nuestra propuesta los siguientes: 1) analizar las modificaciones más importantes de la teoría de las clases de Russell durante su periodo más creativo al respecto (1903-1910), centrando nuestra atención en los problemas relativos a su estatus ontológico; 2) relacionar tal desarrollo con la concepción russelliana del lenguaje, la lógica y la filosofía de la matemática; 3) indicar aquellos supuestos y propuestas que no se alteraron a lo largo de tal periodo. Para ello, hemos de considerar en su secuencia histórica aquellos trabajos en los que Russell se ocupa de las clases. La reciente publicación de artículos y correspondencia pertinentes nos provee de nuevos datos sobre el tema. Hemos de subdividir nuestro estudio en tres periodos mayores, que van desde *The principles of mathematics*¹ (1903), pasando por la crítica y abandono de la teoría de las clases que había sustentado en tal obra, hasta arribar a la sistematización de su nueva teoría de las clases en *Principia mathematica* (1910). En cada periodo hemos de sintetizar la correspondiente concepción de las clases tratando de enfatizar las principales facetas que sean relevantes para los objetivos 1)-3). Finalmente procuraremos inferir una serie de conclusiones que creemos tornarán claro que Russell arribó a una original concepción de las clases que es completamente diferente de la sostenida por la tradición matemática posterior y de la que sus críticos le adscribieron.

1903: The principles of mathematics

En esta obra encontramos tres aspectos principales relativos a las clases: 1. El

Desarrollo del Cálculo de clases. 2. La discusión acerca del status de las clases. 3. El intento de solución de la paradoja de 1901.

1. El Cálculo de Clases que Russell propuso en II-B tenía: a) tres nociones primitivas: "tal que", "función proposicional" y "ser elemento de" b) dos proposiciones primitivas: b1. Si x pertenece a la clase de términos que satisfacen a una función proposicional ϕx , entonces x es verdadera de ϕ .

$$b2. \phi x \equiv_x \varphi x \supset \hat{x}(\phi x) = \hat{x}(\varphi x)$$

Las proposiciones primitivas exhiben una concepción cantoriana de las clases: Toda clase es una colección de objetos distintos que consisten de la totalidad de términos que satisfacen a una función proposicional y dos clases son concebidas como distintas si y sólo si están constituidas por elementos distintos (si hay al menos un elemento de una de ellas que no es elemento de la otra).² Tal concepción es coherente con su creencia de que en matemática debemos operar con el conjunto actual de términos y no con los conceptos que eventualmente denoten a tal conjunto.³ Por lo tanto cabe preguntarse por la naturaleza de tal conjunto.

2. Para responder a tal cuestión debemos tener en cuenta a la siguiente terna de distinciones:



a) Clase-extension y clase-intension

Es posible, en general, definir una clase por la enumeración de sus términos (extensionalmente) o por la enunciación de la propiedad que todos los elementos de la clase tienen en común (definición intensional). Sin embargo, determinadas clases no pueden ser definidas extensionalmente: así, la clase nula y las clases infinitas requieren ser definidas intensionalmente. Pero ¿qué es una clase? Russell comienza contestando por la vía negativa: no es una colección, ni una mera totalidad, ni el resultado de una adición numérica de términos ni una función proposicional. El intento de proveer notas positivas caracterizadoras de la noción de la clase lo conduce a un intrincado y no resuelto problema conceptual.

b) Clase como una — clase como múltiple

Creemos que ésta es una distinción vinculada con una dificultad ontológica básica que le preocupó hasta 1905. Cantor había definido la noción intuitiva de clase como una colección de objetos distintos de nuestra intuición o de nuestro pensamiento, concebidos como una totalidad. Si las clases, como Russell suponía, son entidades que han de satisfacer a la definición de Cantor, deben ser "una" (pues si no fuera así, serían meras colecciones aditivas y no auténticas totalidades), aunque en un sentido distinto del que los objetos espacio-temporales son "uno". Pero, en tanto están constituidas por distintos objetos y en tanto asignamos las propiedades y la pluralidad de tales objetos, ellas deben ser concebidas como "múltiples". Así, sólo podemos decir que una clase A pertenece a otra clase B si la clase A es una (mientras que B es múltiple); y sólo podemos decir que una clase A es una subclase de una clase B si A es múltiple. Pero, ¿cómo podemos explicar la posibilidad de concebir a una clase como una y como múltiple? Entendemos que la distinción siguiente está íntimamente conectada con el intento de Russell de contestar dicha pregunta.

c) Clase-concepto. Concepto de una clase y clase

La clase es la entidad matemática en sentido estricto cuya naturaleza Russell

está tratando de determinar; la clase-concepto, a su vez, es el predicado que define intensionalmente a la clase; tal clase-concepto nos permite concebir a la clase como una, porque la clase-concepto hace explícita la propiedad común que unifica a todos los elementos de una clase. Por último, pareciera que el concepto de una clase nos permite pensar acerca de una clase como múltiple.⁴ Pero ni la clase-concepto ni el concepto de la clase pueden identificarse con la clase misma, porque distintas clases-conceptos pueden definir la misma clase y diferentes conceptos de una clase pueden estar relacionados con la misma clase. Esta proliferación de entidades vinculadas con las clases genera problemas que sólo han de desaparecer cuando Russell cambia su teoría de la denotación en 1905; justamente el mérito principal que Russell mismo ha de encontrar en la nueva teoría, ha de ser la eliminación del problema relativo a la clase como "una" y la clase como "múltiple".⁵

Las clases son pues cierto tipo de entidades, si no lo fueran no podrían establecerse afirmaciones acerca de ellas.⁶ Y la matemática muestra claramente que podemos hacerlo. Ellas tienen el mismo tipo de entitatividad que los objetos del pensamiento: tienen ser pero no existen. Pero su ser no depende del hecho de que pensemos en ellas porque "todo aquello que pueda ser pensado tiene ser y su ser es una precondition y no un resultado de su ser pensado".⁷ En verdad, Russell encontró un cúmulo de dificultades cuando trató de establecer una teoría coherente capaz de abarcar las diferencias entre entidades existentes; así, pueden percibirse enfoques incompatibles al respecto dentro de *The principles*: ciertos párrafos parecen establecer que la subsistencia excluye a la existencia, mientras que en otros sostiene que las entidades existentes son una subclase de la subsistentes.⁸

Russell se adscribe pues en 1903 a un peculiar platonismo respecto a las clases caracterizado por una no clara determinación del estatus ontológico de las mismas, lo que se manifiesta en la insatisfactoria y no coherente pléyade de distinciones que se ve obligado a establecer. Creemos al respecto que Quine ha simplificado en demasía la concepción que Russell propuso en *The principles*. Quine ha señalado que de acuerdo a *The principles* todo término es o un nombre propio o designa un concepto;

luego, como las clases no son conceptos debería de concluirse que son cosas.⁹ Pero ello no es así, pues para Russell la existencia está restringida a las cosas y hay un gran número de entidades (las clases entre ellas) que tienen ser pero no existencia. Podemos visualizar ahora con más claridad una de las facetas más importantes del problema del estatus ontológico de las clases de acuerdo al enfoque de *The principles*: ellas no son cosas (porque no tienen el tipo de unidad de las cosas), pero tampoco son conceptos.¹⁰

Podemos concluir que *The principles* nos presenta una oscura concepción del estatus ontológico de las clases; ellas son un tipo de entidad que no satisface a la propia clasificación de Russell de las mismas. Además no ha sido elucidado su aparente doble carácter una-múltiple. La conclusión al respecto es sorprendente: la clase como "una" es una entidad, pero no hay tal cosa para una clase como múltiple; mas, entonces, tal como cree Russell, ¿cómo podemos hacer aserciones acerca de ella? Finalmente, a pesar de ser obvio que ellas no son entidades existentes, no se ha establecido el tipo de subsistencia.¹¹ Pero a la vez no podemos prescindir de pensarlas como objeto, porque "sin un objeto correspondiente a las extensiones la matemática se derrumbaría".¹²

3. En *The principles* hay dos versiones conflictivas del intento russelliano para resolver la paradoja de las clases; ambas están íntimamente conectadas con la distinción "clase como una"-"clase como múltiple".

La primera versión (*The principles*, p. 104) asume la existencia de ciertas funciones proposicionales que determinarían a una clase como múltiple pero no a una clase como una: por ejemplo $x \notin x$; en tal caso, no cabe aplicar la ejemplificación existencial a la expresión $(\exists y)(x)(x \in y \equiv x \notin x)$. Sin embargo, el problema con este enfoque es que resulta arduo aceptar que una función determine a una clase que, pese a ello, no es auténticamente una clase porque no es una.

Por esta razón, en la segunda propuesta (*The principles*, apéndice B), todas aquellas funciones que no determinan a una clase como una no son consideradas realmente como funciones: por ejemplo, $x \notin x$. Así, Russell sugiere una teoría extensional de tipos sin órdenes, con el propósito de evitar la formación de ex-

presiones como $x \notin x$. El esquema general termina resultando excesivamente complejo porque asigna tipos diferentes a pares, ternas, etc. Además, permite combinaciones que generan nuevos tipos como, por ejemplo, pares de ternas. Finalmente, fuera de toda esta serie de tipos agrega el tipo "proposición" (como un objeto); y, los números constituyen también un nuevo tipo fuera de la serie. Por supuesto, desde estos nuevos tipos pueden formarse otras series de tipos. Esta compleja estructura categorial evita la paradoja de las clases, pero tiene un defecto radical: permite la emergencia de nuevas contradicciones.

Creemos oportuno redondear nuestra presentación de la concepción de Russell de las clases entre 1901 y 1903 sintetizando las tesis de Russell acerca de los aspectos que creemos íntimamente vinculados con su teoría de las clases: a) concepción de la lógica y de la matemática; b) el estatus de las definiciones y de los principios de una teoría (aspecto sistemático); c) el rol del análisis (aspecto metodológico); d) criterio subyacente de admisión de entidades (aspecto ontológico). Su teoría de las clases puede ser visualizada como corolario de a) - d).

a) La matemática es dividida en pura y aplicada. Aquella es la clase de todas las sentencias de la forma "p implica q", en las que "p" y "q" contienen las mismas variables pero no contienen constantes no lógicas.¹³ El matemático puro opera con entidades hipotéticas reducibles a clases; las clases son, en verdad, aquellas entidades que debemos admitir para permitarnos la fundamentación de la matemática clásica, siendo completamente irrelevante que las propiedades definitorias de tales entidades pertenezcan o no al mundo real. La lógica simbólica se ocupa de la inferencia en general; por ende, su única diferencia con las distintas ramas de la matemática pura es de generalidad. De acuerdo a sus primitivos, la lógica está compuesta por los cálculos proposicional, funcional, de clases y de relaciones. Por lo tanto la relación entre lógica y matemática es múltiple: desde un punto de vista lingüístico, la matemática es lógica simbólica; las fórmulas matemáticas son fórmulas lógicas: si aceptamos el simbolismo lógico podemos introducir los símbolos matemáticos. Desde un punto de vista epistemológico, como las premisas matemáticas utilizan constantes lógicas, "esto

nos da la formulación precisa de lo que los filósofos han significado al afirmar que la matemática es *a priori*.¹⁴ Desde un punto de vista ontológico, el mismo supuesto básico subyace a la lógica y a la matemática: "si un término significa algo significado por él". Luego, los términos de clase han de tener un correlato extralingüístico, y si todos los términos lo tienen se concluye que Russell asume un universo ontológico con una notable proliferación de entidades, entre las cuales las lógico-matemáticas subaisten pero no existen. Además, como en el sistema de *The principles* los indefinibles son o constantes lógicas o variables, entonces toda entidad obtenida por definición a partir de los indefinibles es también de naturaleza lógica. Debe pues quedar claro que, en 1903, lógica y matemática son acerca de algo con independiente entitatividad; en verdad, ya en 1902 Russell había concebido a la lógica como una investigación acerca de la esencia inmutable de las cosas actuales y posibles; coherente con ello, en tanto las sentencias de la lógica son acerca de algo y son *a priori*, debe concluirse que las mismas son sintéticas *a priori*.¹⁵ En consecuencia, resulta plausible la tesis ruse-lliana de 1903 señalando que es difícil establecer una clara distinción entre lógica y matemática pura. Russell, al mostrar que la noción cantoriana de clase o conjunto puede ser identificada con la noción lógica de clase, nos ha señalado dónde se encuentra la vía de paso desde

la lógica a la matemática. Además, es el modo en que tal noción es introducida lo que revela su naturaleza lógica, mientras que es la edificación de la matemática a partir de la teoría de las clases lo que exhibe el carácter lógico de aquella.

b) Como las definiciones han de permitir introducir nuevas entidades aceptables en la teoría, tales definiciones no son meramente estipulativas pues indican las propiedades que las entidades introducidas definicionalmente tienen; a través de ellas se provee de nombre a algo cuyo ser ya ha sido asumido previamente. A su vez los principios son aquellas proposiciones sintéticas *a priori* verdaderas que se adoptan como premisas mayores del sistema, en tanto a partir de ellas puede deducirse el corpus de la lógica y de la matemática pura. Es decir, su verdad es independiente de la experiencia y su adopción depende de su fructividad deductiva.

c) Los indefinibles de una teoría son aquellas entidades a las que se llega mediante el análisis o, de otro modo, son el residuo final de la aplicación de tal método. Desde dichas entidades se introducen definicionalmente las restantes entidades admitidas en la teoría. Las clases, si bien no eran indefinibles habían de ser admitidas pues eran introducidas a partir de aquellas por definición.

d) Por todo lo expresado creemos que la teoría de clases satisface, en 1903, a un criterio de admisión de entidades que creemos funcionó implícitamente en *The principles*, y que puede ser formulado como sigue: 1. Deben ser admitidas como entidades de una teoría aquellas que los indefinibles de una teoría denotan. 2. También han de ser consideradas como entidades de una teoría aquellas que son introducidas por definición a partir de los indefinibles. 3. Sólo han de ser entidades de una teoría aquellas que hacen posible la derivación de los distintos capítulos de la matemática. 4. Han de ser eliminadas aquellas entidades que conducen a contradicción.

Se concluye pues que la teoría de las clases de 1903 requería ser modificada. En tal sentido parecía ser necesario efectuar varias transformaciones sustanciales que efectivamente habrían luego de producirse: a) cambio en la concepción del lenguaje que asignaba significado y referente independiente a todas las expresiones por separado; b) restricción del criterio de admisión de entidades, que había resultado excesivamente permisivo

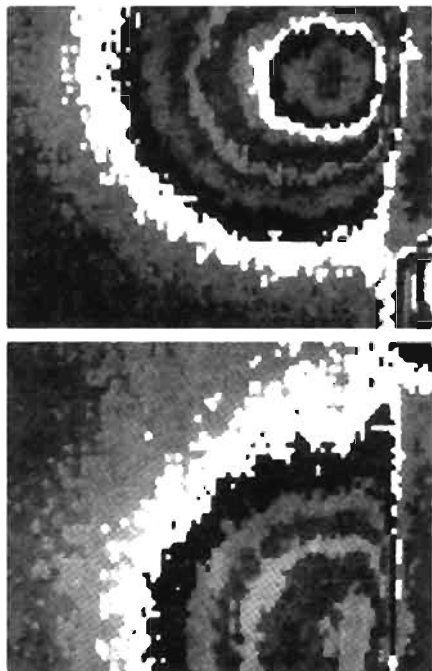
c) coherentemente, ha de requerirse un nuevo concepto de clase totalmente distinto al ya considerado.¹⁶ No sólo ha de modificarse el concepto de clase sino también el lugar que él ocupa en la teoría; en 1903 las clases eran consideradas como entidades fundamentales de una teoría fundacional de la matemática;¹⁷ pero, como veremos, las intensiones ocuparan luego el lugar de privilegio. d) quizás el giro filosófico que ha de acaecer consistirá en la inversión de la relación entre metafísica y lógica. En *The principles*, la metafísica determina la lógica a adoptar. Russell estableció en tal obra primero los constituyentes ontológicos y luego adaptó las tesis lógicas a tales supuestos ontológicos. Desde 1903 ha de desarrollarse un proceso que culminará con la inversión de prioridades, de modo que la metafísica dejará de funcionar como *explanans* de las propuestas lógicas.

1904-1907: hacia una teoría de las clases sin clases

Russell trató de encontrar, sin éxito, entre 1903 y 1904 la solución de las paradojas; también se ocupó del análisis de cuestiones vinculadas a la teoría del significado y la denotación pero adscrito aún a una postura realista análoga a la sustentada en *The principles*. Los pasos sucesivos que lo condujeron a la solución de los problemas relacionados con las paradojas y con la concepción de las clases puede esquematizarse como sigue:

En 1904 Russell concluyó que, dada una cierta función proposicional ϕ , todas las dificultades que conducen a las paradojas emergen sólo cuando se consideran todos los valores de ϕ ; ello era así porque en tal caso producíase un cierto tipo de círculo vicioso. También sugirió al respecto que era necesario pensar que no toda función proposicional debe considerarse como determinando una clase. Así, llamó "impredicativas" a aquellas funciones proposicionales que no determinan una clase. En resumen: era necesario evitar la emergencia de círculos viciosos y la formación de funciones impredicativas. Ambos proyectos se desarrollarán independientemente hasta 1907, cuando han de ser abarcados conjuntamente en una teoría única.

Al comienzo de 1905 Russell descubrió que las funciones impredicativas sólo aparecían cuando la misma variable acaece en posiciones de un tipo diferen-

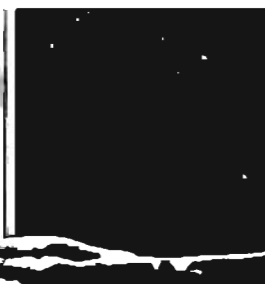


te, como en $x \in x$; por ende, había que reglamentar la eliminación sistemática de tal tipo de expresiones. Sin embargo, existían aún problemas para implementar técnicamente esta idea. Además, ya en 1905 él tenía claro que los problemas mayores de la teoría de las clases surgían cuando las concebimos como “una” entidad.¹⁸ En “On some difficulties in the theory of transfinite numbers and order types” (1905), son tratadas sistemáticamente las conclusiones antes citadas. En dicho trabajo Russell pretendió resolver el problema de las paradojas restringiendo la formación de clases desde funciones proposicionales, o mediante la eliminación de las clases. Para llevar a cabo la primera línea de pensamiento restringió el “axioma de comprensión” de modo tal que se evitaba la formación de funciones proposicionales no definidoras de una clase, sin necesidad de apelar a la teoría de tipos. Representó, aunque sólo esquemáticamente, dos versiones diferentes conducentes a obtener tal restricción: la teoría zig-zag y la teoría de limitación del tamaño. La teoría zig-zag prohíbe todas las funciones proposicionales que no satisfacen ciertos requisitos de simplicidad de forma.¹⁹ La teoría de limitación del tamaño formula la restricción no en términos de forma de las funciones proposicionales sino de la limitación del tamaño del conjunto definido; toda supuesta clase que tiene o va más allá de un cierto tamaño límite no es una clase en absoluto; esta versión es adoptada por Ph. Jourdain y es además una anticipación de la teoría de Zermelo de 1908. En verdad, tanto la teoría zig-zag como la teoría de limitación del tamaño procuraron evitar la formación de la clase universal (que conduce a la antinomia cuando se aplica a ella el teorema de Cantor y la definición de clase universal), y ambas tienen éxito con ello. La otra vía para resolver el problema era, como dijimos, la eliminación de las clases. Pero la versión de 1905 al respecto es distinta a otras posteriores, pues en el trabajo que consideramos las clases son también eliminadas notacionalmente; sin embargo, la principal razón por la cual la versión de 1905 fue abandonada radicaba en que la teoría resultaba excesivamente compleja. Pero 1905 resultó un año clave en el desarrollo de la teoría russelliana de las clases; hacia fines de la primavera de dicho año Russell ya había descubierto la teoría de las descripciones; “the”, que era una ex-

presión primitiva en *The principles*, deja de serlo y consecuentemente la expresión “the class of. . .” (la clase de. . .) deja de ser significativa independientemente de todo contexto, con lo que ya no tiene necesariamente que referir a entidad alguna. Por lo tanto uno de los supuestos ontológicos básicos de *The principles* ha sido abandonado: ya no es cierto que todas las palabras o expresiones de una sentencia son independientemente significativas y que hay siempre una entidad referida por ellas.

En “On the substitutional theory of classes and relations” (mayo de 1906), Russell aplicó por primera vez su nueva teoría de la denotación a la teoría de las clases y entonces todo funcionó satisfactoriamente. Así, él manifestó: “la teoría que yo quiero defender es que clases, relaciones, números y en verdad casi todas las cosas son ‘falsas abstracciones’ en el mismo sentido en que ‘el actual rey de Francia’ es una falsa abstracción”.²⁰ Un término de clases no tiene significado alguno por separado, para ciertas sentencias en las cuales tales términos de clase aparecen y tienen realmente significado. El lenguaje que habla supuestamente acerca de clases es considerado como una mera abreviatura y es siempre traducible a otro lenguaje en que no se usan tales términos. Bocher, en 1904, ya había concebido a las clases de tal modo y Russell había tenido noticias de ello, pero él había decidido entonces no hacer uso de tal enfoque porque aún no había encontrado el modo de sistematizar la aritmética sin utilizar clases; precisamente, Russell supuso en 1906 que su teoría sustitucional le permitía lograr ello. Creemos que en esta teoría ya se encuentra explícito el giro radical de la teoría de las clases de Russell con respecto a *The principles*; es por ello que nos ocuparemos brevemente del concepto de clase tal como es introducido en ella: una clase es concebida como una matriz que funciona como un operador. Así “p/a” es un símbolo de la frase “el resultado es sustituir a en

p”; es pues un operador como ∇^2 o d/dx y, por lo tanto, no designa por sí mismo entidad alguna. Los contextos en los cuales tales símbolos ocurren significativamente son de la forma “p/a;b”, que significa “el resultado de sustituir b por a en p”, de modo análogo a como d/dx ocurre significativamente en $d/dx f(x)$. Para indicar el resultado de la aplicación del operador escribimos “p/a;b/q” que significa “el resultado de sustituir b por a en la proposición p es la proposición q”, de modo análogo al que en análisis escribimos “ $d/dx f(x) = g(x)$ ”. Debe observarse que en lugar de clase de todos los números naturales podemos tener matrices de la forma “a es un número natural/a”. Por tal razón, podemos considerar a “p/a” como un símbolo de clase. Si escribimos “n es primo par/n” esta expresión representa la clase unitaria de 2, por lo tanto podemos afirmar que “p/a” representa la clase de los x tales que “p/a;x” es verdadera; de otro modo: “x es un elemento de la clase p/a” significa “el resultado de remplazar x por a en p es verdadera”. Las relaciones son introducidas de modo análogo mediante las expresiones: $p/(a;b)$, $p/(a;b;c)$, etc. Esta teoría de clases es ni extensional ni intensional en tanto no hay ni clases ni funciones. Además, en ella no puede obtenerse la paradoja de Russell porque “x es un x” es no significativa; de modo análogo se evitan las antinomias del máximo cardinal y ordinal.²¹ Pero esta teoría continúa asumiendo fuertes supuestos ontológicos, porque en ella las proposiciones son consideradas como entidades; pese a ello, Russell opinaba que la teoría sustitucional tenía una gran ventaja sobre las precedentes: permitía evitar el viejo problema de la clase como “una” y como “múltiple”; en tal sentido la teoría sustitucional era fiel a la máxima clásica: todo lo que es, es uno. Sin embargo, Whitehead en su correspondencia con Russell durante 1906 advirtió a éste que la teoría sustitucional era impracticable. Por esta razón, Russell buscó una



nueva presentación teórica operativa-manageable que pudiera lograr los mismos objetivos que la teoría sustitucional.

En septiembre de 1906 Russell respondió a objeciones de Poincaré sobre el origen de las paradojas; estuvo de acuerdo con éste acerca de su origen: éstas eran generadas por la presencia de cierto tipo de circularidad, pero a la vez se opuso a la idea de Poincaré que señalaba al infinito actual como responsable último de las antinomias. Es en esta época que Russell adopta explícitamente por vez primera el "principio del círculo vicioso"; es de recalcar al respecto que Poincaré nunca fue capaz de sugerir cuáles eran los medios adecuados para evitar las paradojas.

Hacia fines de 1906 ya Russell había bosquejado su teoría ramificada de tipos, a la cual visualizaba como herramienta indispensable para resolver también las posteriormente llamadas paradojas semánticas. Pero en el mismo año Russell percatóse de las dificultades que se originaban si se intentaba reunir la teoría de las no-classes (no-class theory) con la teoría ramificada de tipos; así por ejemplo, no se podían introducir los números reales. Para resolver eso percibió que era necesario introducir el axioma de reducibilidad. Si además recordamos que en marzo de 1906 Russell había considerado la posibilidad de adoptar una versión del axioma de infinitud, entonces podremos concluir que a comienzos de 1907 ya disponía de todas las piezas que era necesario reunir en un todo coherente: el resultado de ello aparece sistemáticamente rigorizado en principio.

Todo el desarrollo previamente esquematizado nos muestra que a comienzos de 1907 el criterio permisivo de admisión de entidades ha sido remplazado por uno más restrictivo: la nota *Z*. ha sido abandonada porque todo símbolo o expresión que puede ser definido en términos de los primitivos no necesariamente refiere a un objeto sea cual fuere su tipo de entitatividad.

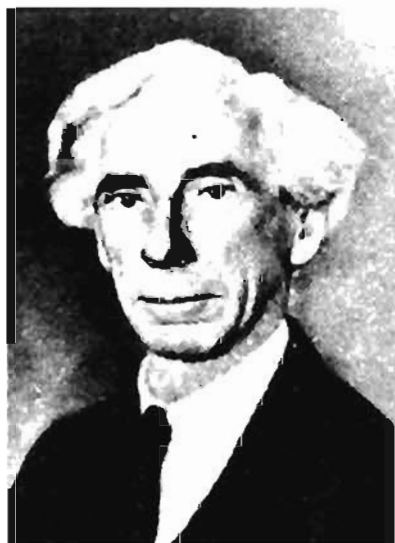
1908-1910: La teoría de no-classes de *Principia mathematica*

No hay diferencias importantes entre las propuestas de Russell en *Mathematical logic as based in the theory of types*, (1908) y su posterior ampliación y rigorización en *Principia mathematica* (1910). Es por ello que hemos de siste-

matizar conjuntamente los aspectos centrales de ambas obras para comprender la concepción de Russell acerca del estatus ontológico de las clases que desarrolló en *Principia*. Hemos de considerar brevemente como acápites previos a su teoría de clases a:

A) Principio del círculo vicioso

Russell pensaba desde 1906 que la totalidad de las paradojas sería evitada si se descubría y eliminaba de los razonamientos cierta clase de errores generados por una incorrecta formación de conceptos o definiciones viciosamente circulares, tal como Poincaré había señalado. Russell llamó a éstas, "definiciones impredicativas". Luego el principio del círculo vicioso era propuesto para distinguir y permitir erradicar los conceptos impredicativamente generados y que referirían a totalidades que sería necesario evitar.²² Como todas las paradojas presuponen totalidades ilegítimas y todas son reducibles a aquéllas en términos de funciones proposicionales y



proposiciones, entonces es necesario prevenir la emergencia de círculos viciosos causados por la admisión de funciones con argumentos que presuponen la misma función. Si eso se hace, se respetará la vigencia del principio del círculo vicioso. El intento de evitar la emergencia de tales funciones conduce a la teoría de tipos.

B) Teoría de tipos

Esta es la teoría que indica cómo construir las totalidades legítimas. El presupuesto filosófico que subyace a ella es que el universo de la teoría está compuesto por individuos, atributos y

relaciones entre ellos; si se asume, además, que atributos y relaciones pueden ser predicados de atributos y relaciones, se obtiene así una jerarquía abierta de individuos, atributos y relaciones entre individuos, atributos y relaciones entre atributos y relaciones entre individuos y así sucesivamente. Como resultado de predicar adecuadamente atributos o establecer relaciones se obtienen proposiciones. La estratificación en tipos y órdenes es primariamente efectuada en términos de matrices, funciones proposicionales y proposiciones.²³ Pero, aquélla es también traducible en términos de individuos, clases, clases de clases, etc., luego de la introducción del símbolo de clases. Sin embargo, en 1908 y 1910 las funciones proposicionales tenían precedencia sobre las clases, no sólo desde el punto de vista definicional sino también desde la jerarquía de tipos. Mientras que la teoría de tipos de *The principles* era una estratificación de clases reales, las nuevas versiones de 1908 y 1910 no son de naturaleza extensional aunque fueron concebidas como estratificaciones a nivel ontológico.²⁴ Ha de remarcarse además que estas nuevas versiones de teoría de tipos tienen connotaciones constructivistas: sólo son admitidas aquellas expresiones que se obtienen a través de un proceso de construcción a partir de una totalidad dada de individuos mediante el uso de especificaciones predicativas.²⁵ Russell encontraba en esta versión de su teoría de tipos tres ventajas con respecto a la de 1903: no aparecía como *ad-hoc*, porque las restricciones se fundaban en una teoría sistemática que permitía resolver las dificultades y obtener nuevas consecuencias; además, no sólo resolvía la paradoja de Russell y las antinomias de la teoría de Cantor, sino también las paradojas semánticas; finalmente, parecían no ser obtenibles nuevas contradicciones en la teoría. Pero la teoría resultante no era conservativa. Por ejemplo, no permitía la aplicación del principio de inducción matemática. Si decimos, como Russell en 1908, "un número finito es uno que posee todas las propiedades que *O* y... tienen", entonces en la teoría ramificada de tipos estamos obligados a restringir tal expresión a todas las propiedades que pertenecen a un cierto orden. En general, no podríamos hablar de la totalidad de propiedades. Como consecuencia, la noción de identidad no podría definirse adecuadamente e importantes

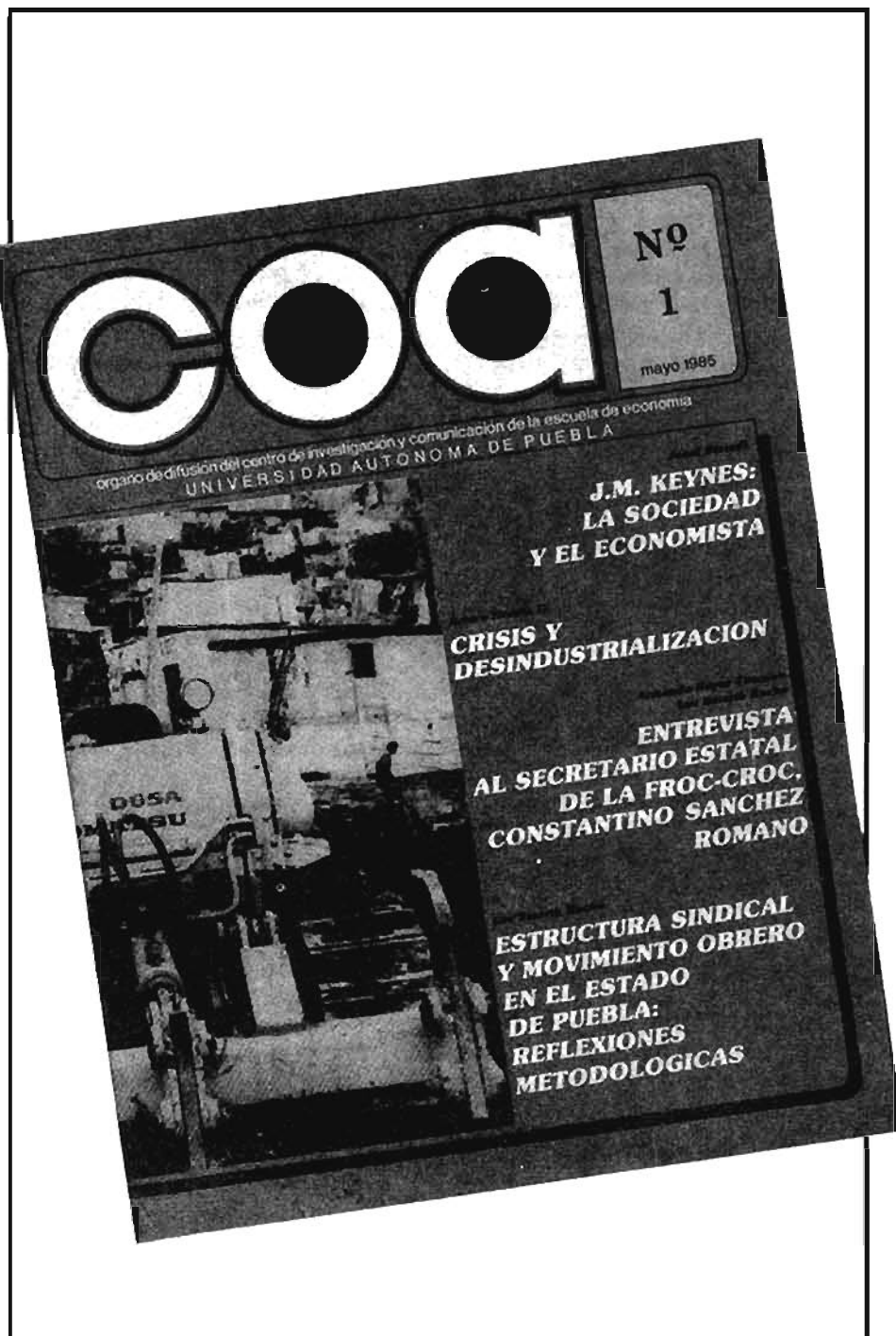
teoremas de la teoría del número real se perderían. Russell percibió que para resolver las dificultades planteadas se necesitaban recursos que permitieran reducir el orden de una función proposicional sin afectar la verdad de sus valores. Y también concluyó que eso era obtenible en dos modos: mediante la adopción del axioma de reducibilidad o mediante la suposición de que las clases son entidades reales.

C) Axioma de reducibilidad

Este axioma, $((\exists f): \phi x \equiv_x f(x))$, afirma que para toda función proposicional cualquiera sea su orden existe siempre una función correspondiente de primer orden (predicativa) que es extensionalmente equivalente a la dada. El permite que todas las funciones proposicionales de primer orden abarquen los resultados que de otro modo requerirían hacer referencia a la totalidad de propiedades (cualquiera sea su tipo). Es interesante observar que si se asumiera la existencia de clases reales el axioma de reducibilidad resultaría supernumerario. En efecto: si hay clases, entonces dada una función proposicional ϕ de cualquier orden hay siempre una clase constituida por los objetos que satisfacen a ϕ . Pero entonces, toda expresión de la forma ϕx puede ser considerada equivalente a " $x \in \alpha$ " y tal expresión no tiene variables aparentes; luego, es predicativa y toda sentencia en la cual es usada dicha expresión es de primer orden. Es por esta razón que Russell llamó también "axioma de las clases" al axioma de reducibilidad. Pero si asumiésemos clases reales y pretendiésemos que no surgieran las paradojas necesitaríamos concebir a las clases como diferentes de los individuos, para evitar así que x pudiera ser sustituida por α en $x \in \alpha$. Sin embargo, en tal caso reaparecerían todos los problemas conceptuales de *The principles*. Es por ello que Russell optó por la adopción del axioma de reducibilidad e introdujo, a través de una sutil definición contextual, el símbolo de clase elaborando luego una teoría de las clases que no las asume como reales. Pero no desaparecerían así completamente los problemas vinculados con la adopción de supuestos de existencia, pues el axioma de reducibilidad postula la existencia de ciertas funciones proposicionales; es evidente que tal supuesto desafía el programa logicista de Russell en tanto la lógica no puede hacer aserciones acerca de la existencia o no de entidades. Algo simi-

lar acaeció con otros axiomas de *Principia*, tales como el axioma de infinitud y el axioma multiplicativo, pero en verdad ninguno de ellos ha sido objeto de crítica tan vasta como el axioma que nos ocupa. Es ampliamente aceptado que sería necesario eliminar tal axioma porque aparece como un principio existencial sintético fundamentando a la matemática (contra logicismo y formalismo), y como un postulado no-construtivo (contra conceptualismo o intuicionis-

mo). Chwistek, Ramsey, Carnap y Quine han mostrado que el axioma de reducibilidad puede ser eliminado, pero a un precio que Russell no hubiera aceptado en 1910. Así por ejemplo, Ramsey y Carnap han permitido explícitamente la introducción de conceptos impredicativos (aunque no circulares) y han asumido desde el "vamos" una teoría simple de tipos. Lo importante es que para la versión de la teoría de clases de 1908-1910 imbricada en un sistema que pre-



tendría resolver todos los tipos de paradoja y fundamentar a la matemática, el axioma de reducibilidad resultaba imprescindible.²⁶

Ahora podemos centrarnos en la teoría de clases.

Los símbolos de clase son concebidos como símbolos incompletos. Para mostrar que $\hat{x}(\phi x)$ es un símbolo incompleto se requiere, al menos, que sea introducido contextualmente; además tiene que ser introducido desde símbolos ya aceptados (en este caso, desde símbolos de la teoría funcional de tipos).

Por lo tanto la definición ha de ser de la forma:

$f[\hat{x}(\phi x)] = F(\phi, f)$, en la cual F es una cierta función de ϕ y f .

Además, $F(\phi, f)$ tiene que estar íntimamente vinculada con $f[\phi(\hat{x})]$, porque a) $\hat{x}(\phi x)$ es la clase determinada por ϕ ; b) si decimos que $\hat{x}(\phi x)$ tiene f , parece plausible afirmar que ϕx tiene f . Sin embargo, no podemos considerar a $F(\phi, f)$ idéntica a $f[\phi(\hat{x})]$; es decir, no podemos definir contextualmente a las clases como sigue: $f[\hat{x}(\phi x)] = f[\phi(\hat{x})]$. Si se las definiese de tal modo, dicha definición violaría una de las condiciones de adecuación que según Russell toda definición de un símbolo de clase debe satisfacer; a saber: todo lo que puede afirmarse acerca de una función (ϕ , en nuestro caso) también debe poder afirmarse acerca de la clase definida por esa función. Pero Russell mismo ha mostrado que esto no acaecería en todos los casos si se adoptase la definición de clase arriba citada. En efecto: la expresión " $f[\phi(\hat{x})]$ " es obviamente una función f de la función ϕ . Hay dos tipos de función de una función ϕ : extensional e intensional. Por una parte, una sentencia de la forma $f[\phi(\hat{x})]$, es una función extensional f de la función ϕ , si su valor de verdad permanece inalterado a través de la sustitución de ϕ por cualquier función formalmente equivalente a ϕ . Por lo tanto, la verdad o falsedad de una función f de una función ϕ depende de la extensión de su argumento ϕ (por definición de extensión de una función). Luego, si la función f de ϕ es extensional, entonces $f[\phi(\hat{x})]$ puede ser considerada como afirmando f de la clase determinada por ϕ . En este caso sería correcto proponer que $f[\hat{x}(\phi x)] = f[\phi(\hat{x})]$. Por otra parte, una función f de una función

ϕ es intensional si no es una función extensional de ϕ . Sea ϕ , $\hat{x}$ es un autor de Waverley, y sea f , George IV cree que Scott es $\hat{x}$. Luego, $f[\phi(\hat{x})]$ es, George IV cree que Scott es un autor de Waverley. Si remplazamos, " $\hat{x}$ es un autor de Waverley", por una expresión formalmente equivalente a ella, entonces $f[\phi(\hat{x})]$ no tiene necesariamente el mismo valor de verdad. Por lo tanto, en este caso, la verdad o falsedad de $f[\phi(\hat{x})]$ no depende de la extensión de ϕ , y no puede ser considerada como afirmando f de la clase determinada por ϕ . En consecuencia, " $f[\phi(\hat{x})]$ " no puede ser usado como *definiens* de " $f[\hat{x}(\phi x)]$ ".

Necesitamos pues la función extensional de ϕ que esté conectada con $f[\phi(\hat{x})]$ como *definiens* de $f[\hat{x}(\phi x)]$. Russell intentó resolver el problema mediante la introducción de la llamada función derivada de la función f . Ella puede definirse como sigue: por función derivada f' de la función $f[\phi(\hat{x})]$ entendemos la expresión "hay una función predicativa ϕ formalmente equivalente a ϕ que satisface f' ". La función derivada f' es una función extensional de ϕ . Además, si $f[\phi(\hat{x})]$ es extensional entonces $f'[\phi(\hat{x})]$ es también extensional y formalmente equivalente a aquella. Por lo tanto, f' puede considerarse como una aserción acerca de la extensión de ϕ . (1) Si $f[\phi(\hat{x})]$ es intensional, entonces f' , en nuestro ejemplo, podría expresarse como sigue: "hay una función formalmente equivalente a ' $\hat{x}$ es un autor de Waverley' tal que George IV cree que Scott la satisface". Esta aserción es verdadera porque es verdad que siempre hay una función formalmente equivalente a " $\hat{x}$ es un autor de Waverley" ($\hat{x}$ es idéntico a Scott) y, por supuesto, George IV cree que Scott la satisface". Luego, f' ha de ser también verdadera si sustituimos a " $\hat{x}$ es un autor de Waverley" por cualquier función formalmente equivalente a ella; por ejemplo " $\hat{x}$ es un autor de Ivanhoe". En consecuencia, f' es satisfecha por todas las funciones formalmente equivalentes a la función ϕ . Por ello, f' puede ser considerada como la extensión de la función ϕ que tiene f . (2)

De (1) y (2) puede escribirse como definición contextual del símbolo de clase $\hat{x}(\phi x)$ a la expresión:

$$f[\hat{x}(\phi x)] = (\exists \phi) (\phi!x \equiv \phi x, f\phi). \text{ Df.}$$

20.01 de *Principia*. Es decir: afirmar una proposición que establece que la clase determinada por la función ϕ tiene la propiedad f es afirmar que hay funciones predicativas ϕ formalmente equivalentes a ϕ que tienen f . Esta definición muestra que las clases como símbolos incompletos adquieren significado a través de intensiones. Además, Russell mostró que esta definición satisface los cinco requisitos por él estipulados que un símbolo ha de llenar para servir como símbolo de clase sin violar el principio del círculo vicioso.²⁷ Aplicando la definición puede probarse $(\exists \phi!) (\hat{x}(\phi x) = \phi!x)$. Sin embargo, $\hat{x}(\phi x)$ no puede identificarse con ϕ porque: a) ello significaría identificar clases con un cierto tipo de funciones proposicionales y Russell no lo aceptaría porque una clase puede ser definida a partir de cualquiera de las funciones proposicionales formalmente equivalentes a la dada, pero no puede ser identificada con ninguna de ellas en particular más que con cualquiera de las otras a las que es formalmente equivalente; b) ello involucraría que $\hat{x}(\phi x)$ no es un símbolo incompleto y por ende tendría un significado independiente de todo contexto en abierta oposición a lo que Russell sostiene en *Principia* (1910). En síntesis, una clase no puede ser identificada con función proposicional alguna.²⁸

Por otra parte, a partir de la definición contextual de clase (20.01) y asumiendo:

$$x \in \phi!z \equiv \phi!x \quad \text{Df. 20.02}$$

$$y = x = (\phi)(\phi!x \equiv \phi!y) \quad \text{Df. 13.01}$$

puede probarse

$$\neg \vdash \phi x \equiv x \phi x \equiv \hat{z}(\phi z) = \hat{z}(\phi z) \quad 20.05$$

Que es la propiedad fundamental de las clases en tanto establece que dos funciones proposicionales determinan la misma clase si y sólo si son formalmente equivalentes. Luego, puede obtenerse,

$$\neg \vdash \alpha = \beta \equiv: x \in \alpha \equiv x \in \beta \quad (20.43) \text{ que estipula la condición de identidad de clases.}$$

Además puede garantizarse que todas las clases pueden ser obtenidas desde funciones predicativas. Simbólicamente,

$$\neg \vdash (\exists \phi): \hat{z}(\phi z) = z(\phi!z) \quad 20.151$$

Si se define cuantificación sobre clases como sigue:

$$(\alpha) . f(\alpha) = (\phi) f[\phi(\alpha)] \quad \text{Df. 20.07}$$

$$(\exists \alpha) f(\alpha) = (\exists \phi) f[\phi(\alpha)] \quad \text{Df. 20.08}$$

entonces, podemos formular enunciados acerca de clases, clases de clases, y así sucesivamente; íntimamente vinculado a ello, Russell probó un número de propiedades tales como $\neg: \alpha = \beta \equiv: g! \alpha \supset g! \beta$ (20.71), que aparecen como formalmente análogas a las propiedades del parágrafo 13 (*Principia*) acerca de individuos. Por esta razón, expresiones tales como $\phi(\alpha)$ si bien no tienen un significado independiente, poseen análogas propiedades a las de los símbolos con significado independiente como símbolos de individuo. Este hecho nos explica por qué estamos inclinados a cosificar las clases o a concebirlas como si fueran individuos a pesar de carecer de entidadidad; en verdad, las expresiones en que aparecen símbolos de clase son meramente modos alternativos de hablar acerca de atributos.

¿Por qué introducimos el símbolo de clases?

En primer lugar, porque es operativamente más simple trabajar con clases que con funciones proposicionales; luego de introducir el símbolo de clases podemos operar como lo hace el matemático; es decir, dejando de lado la notación funcional y operando exclusivamente con la notación de clase. Además, porque él nos permite transformar en expresiones de primer orden proposiciones que refieren a una totalidad de funciones sin requerir de la enunciación explícita de ellas ni de sus órdenes. Finalmente, porque existe para la notación de clases un criterio no-opaco de identidad, cosa que no sucede con los atributos.

Nos corresponde proponer las siguientes conclusiones acerca de la concepción de las clases en *Principia* a modo de paralelo de las ya establecidas para tal concepción en *The principles*:

a) Los símbolos de clases nos proveen de una notación que nos permite operar en matemáticas sin necesidad de adoptar supuestos de existencia acerca de ellas. Russell ha señalado que la teoría de las no-clases también nos permite abstenernos de toda afirmación acerca de la no existencia de las clases. La concepción de las clases es una forma de agnosticismo.



b) En relación a la lógica y la matemática Russell continúa manteniendo que ellas están constituidas por proposiciones sintéticas *a priori* acerca de entidades que tienen ser (universales), pero tales entidades no son clases. Es decir, que el abandono de las clases como entidades no involucró el abandono de los universales como subsistentes ni negar el carácter sintético *a priori* de las proposiciones lógico-matemáticas.²⁹

Pero ahora la nueva teoría de las clases ha sido imbricada en una concepción de la lógica que ha variado desde *The principles*. Lógica y matemática se justifican inductivamente. Russell ya había afirmado en 1907 que los teoremas de un sistema proporcionan una justificación para sus axiomas y no conversamente. Es decir, en *Principia* la matemática justifica a la lógica; a partir de nuestras proposiciones matemáticas somos conducidos (por inducción y abstracción) a un conjunto de premisas lógicas desde las cuales podemos deducir, por ejemplo, la teoría cantoriana de los transfinitos. Coherentemente con ello, los axiomas de la lógica son menos obvios que sus consecuencias matemáticas aunque su evidencia es en ambos casos *a priori*.³¹ Si es así, no podemos garantizar que somos infalibles al adoptarlos como principios; es decir, las premisas lógicas han perdido su carácter de premisas ineludibles y han devenido "el hasta un determinado momento *minimum* irreducible de supuestos desde los cuales puede ser deducida la matemática ordinaria". En general, pues, los principios de un sistema se han reducido a meros postulados. La teoría de la definición también se ha modificado; a través de las definiciones se introduce un nue-

vo símbolo para indicar que, por separado o en combinación con otros símbolos, es equisignificativo con otra combinación de símbolos cuyo significado ya es conocido; luego las definiciones no son ni verdaderas ni falsas ni presuponen la existencia de objeto alguno que funcione como correlato de los símbolos que se introducen a través de las definiciones. Si, por ejemplo, el símbolo de clases es introducido definicionalmente, ello significa que es teóricamente prescindible.

c) El método de análisis es también en 1910 el método para arribar a los indefinibles; pero ahora, en vista del nuevo estatus de los principios del sistema, la ontología compuesta por las entidades denotadas por los indefinibles tiene un carácter provisional pues no podemos ser conclusivos sobre la no-existencia de ideas básicas más simples. Tal ontología se justifica también inductivamente: ella es la que permite justificar la derivación de la matemática. En este sentido, *Principia* puede ser entendida como una rigurosa justificación de la tesis de que las clases no pertenecen a tal ontología.

El criterio de admisión de entidades también ha cambiado radicalmente. Ahora no es suficiente que una entidad no conduzca a contradicciones para aceptarla en la ontología de la teoría. Tal requisito permisivo ha sido remplazado por uno nuevo: las entidades aceptadas en una teoría son aquellas de las cuales no puede prescindirse para construir la teoría. Ello supone que el requisito 2 que funcionaba en 1903 y fue abandonado en 1906 continúa no teniendo vigencia. Pero no hay duda que la nueva teoría de las clases conduce a la cuestión acerca del estatus de las funciones proposicionales. Russell en *Principia* parece oscilar entre concebirlas como entidades meramente lingüísticas o como atributos. La elucidación de esta cuestión va más allá de los alcances de nuestro trabajo, pero creemos que constituye uno de los más importantes problemas de la concepción de Russell acerca de la ontología de la matemática.

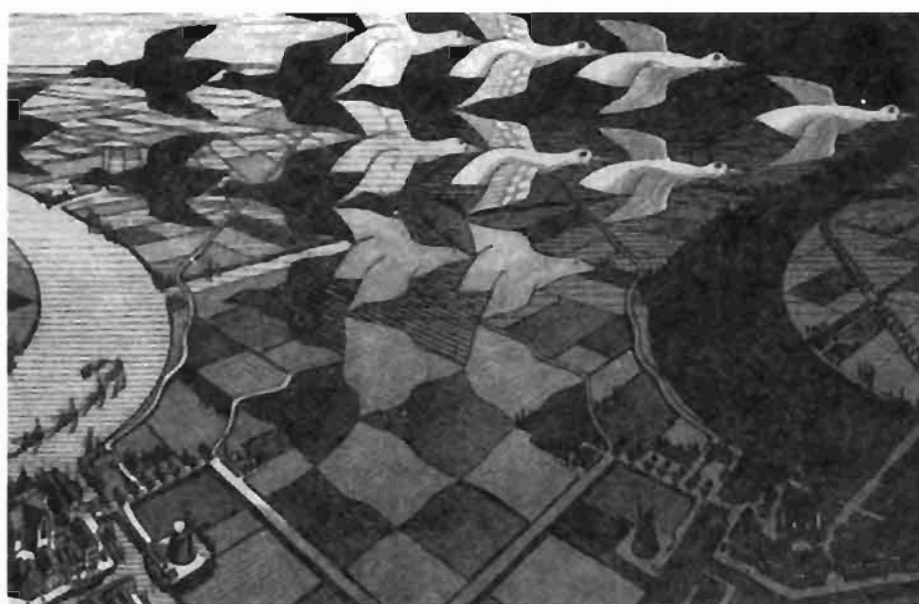
Conclusiones

Parece plausible establecer que desde 1903 hasta 1910 tuvo lugar un proceso de desplatonización acerca de las clases. Este proceso fue acompañado por algunas transformaciones fundamentales,

como el cambio en la concepción de la relación entre lenguaje, contenido significativo y referente extralingüístico (la teoría de las descripciones constituye el núcleo de tal cambio), las modificaciones en el criterio de admisión de entidades, las alteraciones en la teoría de la definición, el nuevo rol asignado a los principios de una teoría, el nuevo modo de entender la relación entre lógica y metafísica, y el paso de un optimismo metafísico a un agnosticismo con respecto a las clases. En toda esta evolución Russell nunca negó la utilidad de las clases como recursos técnicos. Este desarrollo, a su vez, no debe confundirse con las alteraciones de su teoría de los universales; en verdad, Russell nunca abandonó su creencia en la existencia de universales pero, como vimos, no accedió lo mismo acerca de las clases.

Sin embargo, hay también invariantes muy sugestivos: a) la búsqueda del vocabulario mínimo de cada teoría; así Russell trató siempre de aislar los indefinibles para las entidades básicas que era necesario asumir; b) la utilización del método de análisis para arribar a tales indefinibles; c) la presencia constante de un factor pragmático en la admisión de entidades: son admitidas como entidades aquellas que son necesarias para la derivación de las teorías matemáticas; d) la concepción, de tipo aristotélico, de la relación entre vocabulario primitivo de una teoría y el dominio de entidades que tal teoría pretende abarcar: hay un dominio entitativo presupuesto y los términos primitivos pretenden referir a determinados entes de tal dominio que se asume como previo e independiente respecto a la sistematización que la teoría efectúa de él; por lo tanto, los axiomas y teoremas enuncian propiedades y relaciones entre los objetos de tal dominio. Este punto de vista se opone a toda versión convencionalista de la lógica y de la matemática, según la cual los objetos de la teoría son los antes definidos implícitamente a través de los axiomas de la teoría. Russell siempre se opuso a toda interpretación convencionalista de las proposiciones lógico-matemáticas; éstas tienen notas distintivas que no son el resultado de una decisión del lógico, sino que son características que pertenecen a tales proposiciones.

En relación a la tesis logicista misma, *Principia* nos muestra que si el intento fue exhibir que la matemática es derivable desde la lógica, debe concluirse que



tal meta no fue alcanzada, porque Russell se vio forzado a introducir supuestos extralógicos para derivar la matemática clásica; pero *Principia* mostró a la vez que no es posible establecer una clara línea demarcatoria entre lógica y matemática; así, la teoría de las clases no es sólo una teoría lógica, sino también una formulación de la teoría de conjuntos. A través de dicha teoría, lógica y matemática se fusionan en un todo continuo. Por lo tanto, si se aceptase como versión atenuada de la tesis logicista afirmar una suerte de continuidad (en el sentido de no clara demarcación) entre lógica y matemática, entonces *Principia* habría exhibido la alta plausibilidad de tal tesis. Por otra parte, entendemos que el aspecto filosófico más importante que *Principia* revela en relación a la tesis logicista es que ha invertido la relación entre lógica y metafísica: ahora la lógica regimienta la adopción de supuestos metafísicos. No se adoptan como presupuestas lógicas aquellas que se adaptan a presupuestos metafísicos independientes sino que la lógica adoptada, en tanto funcional a la reconstrucción de la matemática, determina las entidades y supuestos a adoptar. En tal sentido, podría hablarse de una interpretación fuerte de la tesis logicista en tanto la lógica determina a la metafísica por la matemática.³³

Queremos cerrar nuestra propuesta con la que nos parece la conclusión más importante de la teoría russelliana de las clases: nos interesa enfatizar que Russell, en nuestra opinión, propuso una concepción de las clases que es completamente distinta a las conocidas desde Cantor

hasta nuestros días y que difiere de la interpretación que de ella han hecho sus críticos más conspicuos. Tal concepción es quizás la única teoría estrictamente intensional de las clases.

Explicaremos brevemente nuestra tesis: Russell siempre tuvo una actitud peculiar hacia las clases. A lo largo del desarrollo de su filosofía de la matemática encontró un número de importantes problemas que le impidieron proponer una teoría de clases que él considerara suficientemente satisfactoria. Así Russell concluyó que, por una parte, las clases consideradas como entidades actuales conducen a contradicciones y a problemas conceptuales acerca de su peculiar tipo de entitatividad y, por otra parte, si ellas fueran concebidas como meros recursos simbólicos entonces el programa original del logicismo parecería desafiado porque se requeriría la adopción de supuestos no lógicos obviamente distintos del sentido común, como el axioma de reducibilidad. En verdad, Russell nunca pudo conciliar en su teoría de las clases tres objetivos importantes que él explícitamente trató de alcanzar: el uso de la teoría para eliminar las paradojas, la construcción de la matemática y la satisfacción de su creencia de que toda teoría lógica debe apelar al sentido común.

Todos estos sentidos problemáticos relacionados a la teoría de las clases se reflejan en un rasgo constante del pensamiento de Russell: la preeminencia de las intensiones. Todas las definiciones de clases por él presentadas lo son en términos de intensiones y pese a ello

nunca consideró a las clases como recurso válido para prescindir de las intensiones. Es más, él siempre procedió como si el asumir intensiones no generase problemas análogos a los generados por las clases. Así por ejemplo, Russell consideró problemático que una clase (en tanto una) pudiera tener muchos miembros, pero no vio problema alguno en que un único atributo pudiera ser aplicado a muchas cosas. Desde un punto de vista ontológico él asumió consistentemente las intensiones; así presupuso "x es un hombre" y finalizó considerando que "x es un hombre" es sólo un recurso lingüístico.

La pregunta clave es, ¿por qué Russell no consideró problemático partir de intensiones? La razón no es meramente técnica, porque él mismo reconoció las ventajas operativas de trabajar con clases. ¿Pensó él quizás que la reducción a sentencias acerca de intensiones involucra un paso adelante en la dirección correcta hacia un nominalismo de particulares y notaciones? No lo sabemos, pero sí podemos afirmar que si hubiera procedido conversamente le hubiese sido imposible partir de individuos y clases reales, pues se hubieran suscitado los problemas ontológicos acerca de las clases ya conocidos desde *Principles*. Todo parece conducir a una referencia por los atributos, como si al definir las clases sobre la base de una teoría de atributos se estuviera explicando lo oscuro —clases, en su caso— en términos de lo más claro.³⁴ Este aspecto está en completa oposición respecto a las concepciones de matemáticos y filósofos acerca de clases y atributos.

Nuestra interpretación es opuesta incluso a la efectuada por críticos de Russell recientemente. Así, R. Jager afirma:

En *Principia mathematica* él mismo dio una variedad de razones para extender a las propiedades en general el privilegio que primero había reservado a las "propiedades numéricas"; esto es, tener una propiedad ha de ser explicado en términos de ser miembro de una clase, y tener una propiedad en común en términos de ser miembros de la misma clase. Durante un tiempo él sostuvo tanto que tener una propiedad era tener una relación externa con otro término, como que para algunas propiedades tener esa propiedad era ser miembro de una clase. Pero por razones lógicas no

relevantes encontró más y más conveniente adoptar el punto de vista que en todos los casos la relación externa en cuestión era "ser miembro de" y el término en cuestión era de clase.³⁵

Creemos que nuestro trabajo ha contribuido a mostrar que el desarrollo de

la concepción de las clases de Russell no siguió la trayectoria reseñada por Jager y, muy especialmente en *Principia*, la concepción nos parece claramente intencional. Es pues la sorprendente preferencia por las intensiones, lo que una investigación histórica más detallada habría de contribuir a explicar.

REFERENCIAS

- 1 B. Russell, *The principles of mathematics* (New York: Norton and Co., 1903), Cap. II-B, pp. 18-23.
- 2 Sin embargo, las relaciones, a su vez, son concebidas intensionalmente en esta obra.
- 3 Russell, *op. cit.*, p. 20.
- 4 *Ibid.*, p. 80: Comenzando por "humano" distinguimos (1) la clase-concepto "hombre", (2) los varios conceptos denotativos "todos los hombres", "cada hombre", "cualquier hombre", (3) los objetos denotados por estos conceptos, de los cuales aquel denotado por "todos los hombres" fue llamado "la clase como múltiple", de modo que "todos los hombres" (el concepto) fue llamado el concepto de la clase, (4) la clase como "una".
- 5 Las dificultades que esta teoría de 1901-1903 presenta se visualizan a través de la evidente incoherencia que la misma presenta, "si bien la clase-concepto permite pensar a la entidad como 'una' tal clase-concepto" no denota (*ibid.*, p. 67); en cambio el concepto de la clase, que permite pensar a la clase como múltiple denota a dicha clase. Podría pensarse que "la clase como una" y "la clase como múltiple" fueron utilizados como dos rótulos distintos para hablar del mismo objeto pensado de modos distintos; pero debemos desechar esta hipótesis porque Russell mismo enfatizó que la clase como una y la clase como múltiple son dos entidades distintas (*ibid.*, p. 80).
- 6 Russell, *op. cit.*, p. 449: "Números, los dioses homéricos, relaciones, quimeras y espacios tetradimensionales tienen todos ser, pues si no fueran entidades de un cierto tipo no podríamos hacer proposiciones acerca de ellas".
- 7 *Ibid.*, p. 51.
- 8 Russell necesitaba apelar a la subsistencia para poder siempre afirmar o negar existencia a algo, y, además, para hablar acerca de entidades no-espaciotemporales (ejemplo, clases); sólo su nueva teoría de la denotación insita en su teoría de las descripciones de 1905 le permitiría evitar las categorías de existencia y subsistencia respecto a las clases.
- 9 W. Quine, "Russell's ontological development", en Bertrand Russell, edit. D.F. Pears (Garden City, N. York: Doubleday and Co., 1972), pp. 290-305.
- 10 Además, suponer como lo hace Quine, que Russell concebía a las clases como cosas contradiría un rasgo fundamental de su logicismo (e incluso del logicismo de Frege): el estatus lógico de los números natu-

rales. De acuerdo a Frege los números naturales son atributos de conceptos y no cosas (en términos russellianos son clases de clases). Luego, ellos no son ni cosas ni propiedades de cosas, y en consecuencia las clases tampoco pueden serlo.

11 ¿Son las clases subsistentes en el mismo sentido en que lo son las quimeras o la raíz cuadrada de siete? Parece difícil que así lo fuera; pero, en tal caso, restaría por determinar las notas distintivas. Por otra parte, la falta de una precisa concepción de las clases se corresponde con la ausencia en *The principles* de una clara concepción del estatus de las funciones proposicionales desde las cuales se generan. Esto se pone de manifiesto en el hecho de que Russell no ha descubierto aún la condición restrictiva para la generación de clases desde funciones proposicionales; esta condición restrictiva será posteriormente fundamental para evitar la emergencia de contradicciones, las cuales constituían para Russell la principal evidencia de que algo había sido pasado por alto en la concepción de las clases.

12 Russell, *op. cit.*, p. 515.

13 H. Putnam en "The thesis that mathematics is logic" llamó "if-thenism" a esta versión del logicismo. Pero Putnam señaló además (creemos que erróneamente) que ella fue posteriormente remplazada por la versión de *Principia* de la reducción de la matemática a la lógica (derivabilidad desde la teoría de las funciones proposicionales). En verdad, Russell continuó adscribiendo al if-thenism con posterioridad a *The principles* y a *Principia*.

14 Russell, *op. cit.*, p. 8.

15 El carácter sintético *a priori* de las proposiciones de la matemática ya había sido propuesto por Russell en *The philosophy of Leibniz* (1899) y ha de ser mantenido hasta 1912 (*The problems of philosophy*). Wittgenstein será quien hará que Russell altere su posición acerca de la naturaleza de las proposiciones de la lógica y de la matemática.

16 Russell visualizó a tal extremo la necesidad de modificar su concepción de las clases que llegó a proponer una teoría de la aritmética que prescindía de las clases, suponiendo que de tal modo no podrían surgir las paradojas; pero su descubrimiento en 1903 de la versión intensional de su paradoja, púsole de manifiesto que nada se ganaba sin clases.

17 Así, Russell afirma: "Apareció a lo largo de todo el desarrollo que aunque el trata-

- miento simbólico debe trabajar mayormente en clases-conceptos e intensiones, las clases son más fundamentales para los principios de la matemática". (op. cit., p. 81).
- 18 En abril de ese año el matemático Bocher le había escrito diciéndole: "Yo no puedo admitir que una clase es en sí misma una entidad: para mí es siempre una multiplicidad de entidades; cuando hablamos de ellas como una entidad única estamos hablando de un nuevo objeto que asociamos con la clase, pero no de la clase misma."
- 19 Véase, B. Russell, *Essays in Analysis*, edit. D. Lackey (London: Allen and Unwin, 73) pp. 146-147.
- 20 *Ibid.*, p. 166.
- 21 Para lograr ello las matrices fueron subdivididas en tipos: el tipo de una matriz estaba dado por el número de sus lugares de sustitución. A su vez, los tipos eran subdividibles en subtipos de acuerdo a que los lugares de sustitución fueran de individuo o proposicional.
- 22 Hay en *Principia* tres formulaciones diferentes del principio del círculo vicioso: 1) "Si supuesto que una cierta colección tiene total, y ella tuviese miembros sólo definibles en términos de ese total, entonces dicha colección no tiene total." (*Principia*, p. 37). 2) "Es posible incurrir en falacia de círculo vicioso desde el 'vamos' mediante la admisión como argumentos de una función proposicional de términos que presuponen a la función" (*Principia*, pp. 38-39). 3) "Ninguna función puede tener entre sus valores alguno que presuponga a la función porque si los tuviera no podríamos considerar como determinados a los objetos denotados ambiguamente por la función hasta que la función fuese determinada, mientras que conversamente, como hemos visto, la función no puede ser determinada hasta que sus valores sean determinados" (*Principia*, p. 39). Russell consideraba estas enunciaciones como casos particulares del mismo principio. Acerca de si era realmente así, véanse las posiciones antagónicas de Gödel, que les supone distintos, y Chihara que sustentó la tesis opuesta, en K. Gödel, "Russell's mathematical logic" en P. Benacerraf y H. Putnam, edit. (N. Jersey: Prentice Hall, Englewood Cliffs, 64), pp. 217-229 y R. Chihara, "Russell's theory of types" en *Bertrand Russell*, ed. D. Pears (op. cit., pp. 248-249). El título en la obra editada por Benacerraf y Putnam es *Philosophy of mathematics*. Pero lo realmente importante es que la característica definitoria de la clase "y" que da lugar a la paradoja es " $(x)(x \in y \leftrightarrow x \notin y)$ ", pero esta expresión viola el principio del círculo vicioso porque incluye a "y" en el rango de la cuantificación usada para especificar a "y" misma, es decir, presupone a "y" para definir "y". Luego, para evitar las paradojas ha de evitarse la violación del principio del círculo vicioso.
- 23 La implementación técnica de esta idea puede reseñarse como sigue: los tipos son el rango de significación (conjunto de argumentos para los cuales tienen valores) de las funciones. El primer tipo está constituido por los individuos (éstos son términos

- de las proposiciones elementales, es decir de aquellas proposiciones que no contienen variables aparentes (ellos son aquellos objetos que no son ni proposiciones ni funciones). Para introducir los órdenes utiliza el concepto de matriz: ella es toda función proposicional de cualquier número de argumentos que no contiene variables aparentes. A continuación se estratifican las matrices (y también las funciones y proposiciones que pueden obtenerse por la generalización de matrices) como sigue: las matrices de primer orden son aquellas que sólo tienen individuos como argumentos. Una matriz de orden $n(n > 1)$ es aquella que tiene al menos una matriz de orden $n-1$ como argumento. El orden de una función proposicional es el menor entero mayor que el orden de todas sus variables ligadas. Si la función tiene varios argumentos y el mayor orden de la función que aparece entre los argumentos es n , entonces decimos que la función es predicativa si es de orden $n+1$ (luego, las matrices son funciones predicativas). La teoría así estratificada elimina efectivamente las funciones proposicionales impredicativas. Hemos tratado de sintetizar la presentación de la teoría de tipos tal como Russell-Whitehead la formularon; pero ella es susceptible de ser interpretada de modos distintos (véase al respecto R. Chihara, op. cit., y S. Kleene, *Introduction to mathematics*, Amsterdam, North Holland, 59, p. 44). Esta multiplicidad de interpretaciones no es contraria a la teoría russelliana, porque Russell mismo ha indicado que la forma particular que la teoría adopta es no necesaria; lo importante es que permite evitar las paradojas mediante la prohibición de ciertas clases de inferencias que de otro modo resultarían válidas.
- 24 En verdad, Quine (op. cit.) y Reinchenbach (*The philosophy of B. Russell*, edit. P. Schilpp, pp. 355-377) han afirmado que la jerarquía de órdenes y tipos en 1908 y 1910 no tenía connotaciones ontológicas. Pero Russell mismo en uno de sus últimos comentarios acerca de la cuestión, ha enfatizado que su definición de tipos de *Principia* fue errónea porque la había concebido ontológica y no simbólicamente. Véase, vol. Schilpp, op. cit., p. 691.
- 25 Gödel (op. cit.) ha enfatizado tal carácter constructivista de la teoría de tipos ramificada; en su opinión el principio del círculo vicioso sólo es plausible si las entidades involucradas son construidas por la actividad del matemático; si, por el contrario, los objetos existiesen independientemente de su eventual construcción, entonces la existencia de totalidades que contienen números que sólo pueden ser descritos a través de la referencia a tal totalidad no involucra absurdo alguno.
- 26 La teoría ramificada más el axioma de reducibilidad ($Tr + AR$) así propuesta, da como resultado una teoría estratificada en individuos y funciones distinta de la versión ramificada original. Surge entonces una importante pregunta: ¿es la teoría así resultante predicativa? Convendría elucidar previamente el significado de la expresión "teoría predicativa". Es conveniente distinguir al menos tres sentidos de tal ex-

presión vinculados con los tres diferentes sentidos en que Russell usa la expresión "predicativa". Si esta expresión es usada para expresar que una función es predicativa si no genera clases que conducen a contradicciones (sentido empleado en 1904), entonces la $Tr + AR$ es predicativa. Si "predicativa" es usada para expresar que todas las funciones proposicionales son de primer orden (sentido de *Principia*, 1910), entonces el sistema es impredicativo porque AR sólo es aplicado a aquellas expresiones que involucran totalidades de un cierto tipo, pero pueden continuar existiendo aquellas totalidades que no son predicativas (aquellas que no son predicativas pero que satisfacen las reglas de tipos y órdenes y no requieren que les sea aplicado el axioma de reducibilidad). Finalmente, si "predicativo" es usado para expresar que todos los conceptos que pueden ser generados son predicativos, entonces la pregunta no es tan fácil de responder. Dicha pregunta puede ser formulada como sigue: ¿puede garantizarse que es imposible la emergencia de definiciones impredicativas en tal sistema? (Recordemos que se dice que una definición es impredicativa si define un concepto en términos de una totalidad a la cual el concepto pertenece). Nos parece que Russell-Whitehead no han dicho palabra alguna al respecto: ellos procedieron como si el sistema fuera predicativo. Además, la tesis de Chwistek, Ramsey y Carnap obliga a reconocer que $Tr + AR$ resulta un sistema impredicativo, porque ellos no trabajaron a la Russell, sólo usando conceptos predicativos. Por otra parte, según Church (*Introduction to mathematical logic*, p. 355 y nota a pie de la misma página), Quine habría probado que $Tr + AR$ es impredicativa ("On the axiom of reducibility", *Mind* 45 (1936), pp. 498-500). Sin embargo, para lograr tal prueba Quine utilizó el principio de extensionalidad parcial para funciones proposicionales: él identifica funciones que son formalmente equivalentes y del mismo orden. En símbolos: $\phi x \equiv \lambda x. \phi x \supset \phi x = \phi x$. Pero en *Principia* Russell-Whitehead nunca hubieran aceptado tal principio, pues él conduce a la identificación de clases y funciones proposicionales que, como hemos de probar, es negado en 1910. Además, el principio de extensionalidad parcial, que fue utilizado en la segunda edición de *Principia* (1925), presupone que se ha eliminado el axioma de reducibilidad tal como acaece en dicha edición. Es decir: el principio de extensionalidad parcial, si bien es consistente con *Principia* (segunda edición), no lo es con *Principia* (1910). Luego, no es correcto utilizarlo para probar que $Tr + AR$ es impredicativa. En verdad estaría partiendo de la tesis que se quiere demostrar, pues si se acepta tal principio de extensionalidad el sistema es de hecho impredicativo, tal como Russell mismo afirmó con respecto al sistema de 1925. Por lo tanto, creemos que Quine no logró probar que $AR + Tr$ (1910) es impredicativa. Sin embargo, resultaría muy arduo defender la imposibilidad de definiciones impredicativas en el sistema resultante, porque tal imposibili-

dad parece depender de la adopción de una actitud constructivista, que automáticamente se abandona cuando se agrega el axioma de reducibilidad a la teoría ramificada de tipos. Nino Cocchiarella en "Mathematical Knowledge: A Review" *Philosophy Israel Quarterly* (1978), ha señalado que Tr+AR "es impredicativa en tanto establece la disponibilidad de conceptos o funciones proposicionales de un cierto tipo mediante cláusulas de comprensión o especificación que involucran la cuantificación sobre todos los conceptos o funciones proposicionales de ese tipo" (nota p. 3).

- 27 Tales requisitos son (Principia, pp. 76-77)
 1) toda función proposicional determina una clase. 2) dos funciones proposicionales formalmente equivalentes determinan la misma clase. 3) funciones proposicionales que determinan la misma clase son formalmente equivalentes. 4) en el mismo sentido metafórico en que decimos que hay clases, decimos también que hay clases de clases, . . . 5) no es significativo afirmar que una clase es idéntica a uno de sus miembros.
- 28 Por esta razón Russell continuará afirmando que las clases tienen un "shadowy being"; ello puede entenderse como señalando que ellas tienen aún una "shadowy" diferencia con las funciones proposicionales.
- 29 Russell, "The philosophical implications of math, logic", en *Essays in analysis* (op.

cit.), p. 293. "Lógica y matemáticas nos fuerzan a admitir un tipo de realismo en sentido escolástico; esto es, a admitir que hay un mundo de universales y de verdad que no se basa directamente sobre determinada existencia particular. Este mundo de universales debe subsistir. Tenemos conocimiento inmediato de un número indefinido de proposiciones acerca de universales; éste es un hecho tan básico como lo es la sensación" B. Klemke en "Logic and ontology in Russell's philosophy" *Essays on B. Russell* (Urbana: University of Illinois Press) pp. 416-455, ha afirmado que el carácter sintético *a priori* de las proposiciones lógicas se justifica en la referencia extralingüística de dichas proposiciones. Es cierto que eran sintéticas *a priori* para Russell en 1910, pero no resulta convincente la razón que de ello proporciona Klemke cuando afirma que la referencia extralingüística es el fundamento de tal carácter. En efecto: la referencia extralingüística no basta para garantizar el carácter informativo (sintético) de las proposiciones.

- 30 Véase, "The regressive method of discovering the premises of mathematics", en *Essays in analysis* (cit.), p. 275.
- 31 "En lógica matemática son las conclusiones quienes tienen el máximo grado de certeza: cuanto más nos acercamos a las últimas es mayor la incerteza y difi-

cultad que encontramos". B. Russell, "The philosophical implications of mathematical logic", *cit.*, p. 285.

- 32 B. Russell, "The regressive method. . .", *cit.*, p. 282.
- 33 Es por ello que no coincidimos con H. Putnam cuando afirma que el tipo de fundamentación filosófica que Russell había intentado después de 1906 ha derivado obsoleto porque creyó erróneamente que era posible encarar y resolver problemas filosóficos mediante el uso de recursos matemáticos. Habría que señalar al respecto que Russell, por una parte, nunca sostuvo que los problemas filosóficos se resolverían lisa y llanamente mediante el mero uso de recursos matemáticos y, por otra parte, Russell exhibió (luego de 1906) que ciertos problemas de filosofía de la matemática podrían encararse más fructíferamente si se explicitaba la lógica presupuesta y se exhibía la ontología que esta lógica determinaba; así, al menos, la relación lógica-ontología y por añadidura matemática-ontología resultaba más clara y manejable. Véase I. Grattan-Guinness, "Russell's logical progress, some new light from manuscript sources", *Historia matemática* 2 (1975), pp. 489-493; consúltese cita textual de Putnam en p. 493.
- 34 R. Jager, *The development of B. Russell-Philosophy* (London: Allen and Unwin, 72), nota p. 86.

Favor de suscribirme
a la revista

elementos

Revista de Ciencias exactas, naturales y aplicadas

Nombre _____

Dirección _____

CP _____

Ciudad _____ Estado _____

País _____ Tel. _____

UN AÑO
(cuatro números)

Nacional: 600.00 pesos
 EEUU, Canada y Europa:
 32.00 dólares U.S.
 Centro y Sudamérica:
 16.00 dólares U.S.

Adjunto: ☐ giro postal ☐

Envíe este cupón y giro postal a:
 Revista ELEMENTOS: Instituto de Ciencias de la UAP,
 Maximino Avila Camacho No. 219, CP 72 000,
 Puebla, Pue., México.

Ejemplar: 200.00 pesos

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA

crítica jurídica

Revista Latinoamericana de Política, Filosofía y Derecho

CONTENIDO DEL NUMERO 2

TEORIA

Una teoría contractualista de la justicia
Salvatore Veca

Ética y poder
Bruno Accarino

Política, moral y justicia: ¿encuentro imposible?
Luis Cervantes J.

De la justicia en Marx: notas para una discusión
Francisco Galván D.

Notas acerca de Charles S. Peirce
Marco Cupolo

Socialización organizada y sistema político
Fernando Danel J.

ANÁLISIS

Ley general de salud y programas de vivienda
Guillermo Farfán

Precios diferenciales y Estado de bienestar en México
Guillermo Farfán

Lógica de lo virtual y estrategia del terror
(Argentina 1976-1983)
Jorge A. García C.

TESTIMONIOS

La cultura, la honestidad y la rectitud al servicio de la justicia: El hombre clave, García Ramírez (Entrevista)
Cristina Pacheco

NOTICIAS Y BIBLIOGRAFÍA

Teoría de la justicia, de J. Rawls
Luis Cervantes J.

Oportunidades vitales, de R. Dahrendorf
Francisco Galván D.

Sociología y pragmatismo, de C. W. Mills
Francisco Galván D.

Trabajo y praxis en El ser y el tiempo, de M. Heidegger, de J. Rodolfo Santander
Fernando Quintana

Información

Crítica Jurídica es el órgano de *Crítica Jurídica A.C.*, y es editada por la Unidad de Ciencias Políticas, Filosofía y Letras, Universidad Autónoma de Puebla, con la coparticipación de la Dirección de Extensión Universitaria de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Suscripciones y correspondencia: Maximino Avila Camacho 229, 72000 Puebla, México. Tel. 42-2310.

CONTENIDO DEL NUMERO 3

Advertencia

TEORIA

Bodino y la teoría de la soberanía
Germán Pérez Fernández del Castillo

Política y razón
Luis Salazar Carreón

De lo político moderno: paradojas de la democracia
Francisco Galván Díaz

¿A pesar de todo... el socialismo como objetivo final?
Agnes Heller

La especificidad de la ciencia política
David Torres Mejía

ANÁLISIS

Autocrítica de la ciencia política latinoamericana
Wanderly dos Santos

La ciencia política en México: papel y desafíos
Carlos Sirvent

La ciencia política y el discurso político en México
Ricardo de la Peña

La profesionalización de la ciencia política en la FCPyS, UNAM
Jacqueline Peschard

El chancro y la policía
Julio Glockner

DOCUMENTOS Y TESTIMONIOS

Notas sobre el significado del estudio de la ciencia política
Jesús Reyes Heróles

La enseñanza de la ciencia política
Arnaldo Córdova

Notas sobre el Primer Congreso de Ciencia Política en México
César Cansino Ortiz

Sobre moral y policía, o la eficacia política de la ambigüedad
Roberto González-Villarreal

NOTICIAS Y HEMEROGRAFÍA

Avances para una hemerografía sobre la ciencia política en México
César Cansino Ortiz y Eusebio Torres

¿A qué le teme Daniel Bell?
Alain Touraine

Los orígenes y fundamentos del poder político
Víctor M. Alarcón O.

Nota crítica metodológica a los análisis de Castaingts
Roberto González-Villarreal

Materiales recibidos
Julio César del Angel

Usando hilos de luz buscamos encuentros más cercanos, a través de

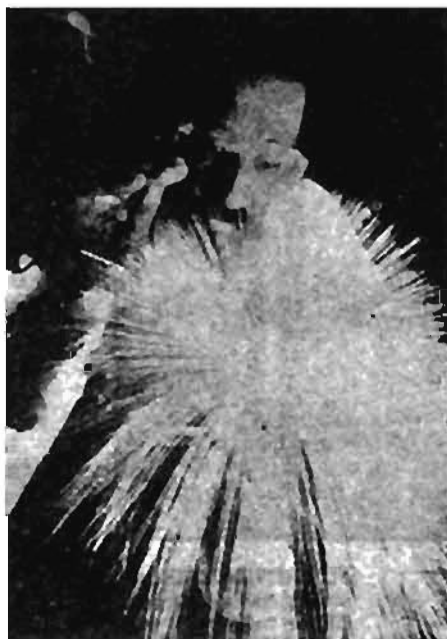
LOS TELEFONOS DEL FUTURO*

Ben Bova

Está creciendo, como una criatura viviente; sus tentáculos se esconden en nuestras paredes, serpentean por las calles, corren de polo a polo, tunelean por debajo del pavimento y arquean a través del espacio por microondas. Como un invasor extraterrestre con poderes sobre-humanos, se ha vuelto tan ubicuo que escasamente notamos su presencia entre nosotros. Aun, sus instrumentos han entrado virtualmente en todos los hogares de los Estados Unidos, y en toda oficina de negocios y de gobierno del mundo.

La mayor parte de los humanos no tienen idea de qué tan compleja es la criatura. Vemos poco más que un instrumento situado sobre un escritorio o colgado en la pared. Pero es sólo una terminación de un nervio del cuerpo de la criatura. Más allá del instrumento visible y palpable está el vasto sistema nervioso de la criatura, zumbando con señales eléctricas, vibrando con luz de láser.

La criatura es, por supuesto, el sistema telefónico, y su corazón —no, realmente su cerebro— reside en un complejo de edificios modernos ocupando un área de más de 25 millas cuadradas del norte de New Jersey: los laboratorios AT & T Bell Telephone (BTL). Desde 1925 los hombres y mujeres de BTL han servido a la criatura con fe, ayudándole a crecer y a desarrollarse. Junto con esto, ellos también han hecho contribuciones a la ciencia. Siete científicos de BTL han recibido el premio Nobel. El transistor fue inventado ahí. La radioastronomía comenzó ahí. La investigación básica que llevó al desarrollo del máser y del láser fue hecha ahí. Las fibras ópticas, que son conductos de luz que transmiten pulsos de luz de láser por muchas millas, son otros logros de BTL, como son los solitones, pulsos de luz que pueden propagarse por cientos de millas de cables de fibras ópticas, sin atenuarse.



UN PAR de estas fibras de vidrio, del grueso de un cabello, puede transmitir simultáneamente hasta un millar de llamadas telefónicas, gracias a la moderna tecnología del láser. El científico Bill Northover, de los laboratorios AT&T Bell examina un haz de estas fibras.

Cerca del conglomerado de New Jersey, los laboratorios se distribuyen en pueblos como Holmdel, Murray Hill, Whippany y Short Hills. Se parecen más a las ciudades universitarias que a los laboratorios industriales de investigación. Los edificios están impecables y nuevos, pero sus interiores tienen personalidades duales. Aunque sus vestíbulos semejan el decorado de la última película de Fellini, los laboratorios tienen todas las facilidades de investigación; por todas partes están llenos de equipo, mesas con

Traducido por Carlos Vázquez del Departamento de Física del ICUAP. Tomado de la Revista OMNI, febrero de 1985.

terminales de computadora y gente en constante actividad.

Los laboratorios Bell son la parte de American Telephone and Telegraph Corporation (AT&T) que conservó el nombre de Bell después de que AT&T renunció a sus derechos de operar las compañías telefónicas en 1983. Unos 18,000 hombres y mujeres trabajan en los laboratorios de New Jersey y en otro laboratorio en los suburbios de Chicago. Están apoyados por un presupuesto anual de 2 billones de dólares (2 X 10⁹ dólares, N. del T.). Es en estos laboratorios donde se planea el próximo paso de la evolución de la criatura.

Solomon J. Buchsbaum, vicepresidente ejecutivo de los laboratorios de AT&T prevé el tiempo en que la criatura hará aún más por las personas. No pasará mucho, dice él, antes de que el hombre americano promedio tenga teléfono, televisión, radio y una computadora. Buchsbaum ve a la computadora y al teléfono unidos en un sólo instrumento, una terminal telefónica.

En esencia, el teléfono actual está evolucionando en un dispositivo computadora-comunicador capaz de unir no solamente voces humanas, sino también datos de computación y señales de video. La cuestión clave, dice él, es, ¿qué clase de integración o sinergia podemos producir entre estas formas de servicios de comunicación? Para suministrar estos servicios y manejar la creciente demanda de la capacidad y tiempo de la criatura, la criatura misma está siendo cambiada. Está evolucionando, en las palabras de Buchsbaum, en una gigantesca computadora interconectada.

Las computadoras de hecho han tomado más y más parte del trabajo de la criatura en las dos últimas décadas. En épocas pasadas, los operadores humanos podían fácilmente manejar el tránsito telefónico; pero por los 50's llegó a ser obvio que los dispositivos de la comunicación por teléfono debían automatizarse o que todos los habitantes de los Estados Unidos necesitarían trabajar para la compañía telefónica. Gradualmente las computadoras comenzaron a hacer más tareas que el operador de teléfonos, tanto que en 1983, cuando unos

750,000 operadores y personas de servicio se pusieron en huelga por varias semanas, la criatura no fue afectada de manera apreciable.

Ahora, todo el sistema telefónico —incluyendo la transmisión de voz— está computarizándose. En el sistema viejo, cuando usted hablaba por teléfono, su voz se transformaba en una corriente eléctrica, que se mandaba a un intercambio telefónico, donde la corriente se convertía de nuevo en sonido audible. Esto se llama un sistema analógico. Hoy en día la señal eléctrica es convertida en bits digitales, de manera que puede ser procesada por computadoras.

Un sistema digital es poderoso. Puede manejar voz, datos de computación o señales de video con igual facilidad. Su calidad de funcionamiento es superior, ya que la señal digital es menos susceptible de ser distorsionada en la transmisión que una corriente eléctrica, que varía continuamente. Los sistemas digitales operan a costos menores que los analógicos, ya que los microchips que son el cerebro de todos los sistemas digitales son cada vez más baratos. Hoy en día más de la mitad de las llamadas urbanas de AT&T son digitales, y se espera que al final de este año se incrementen a tres cuartas partes.

Otra ventaja de los sistemas digitales es que pueden usar pulsos de luz en lugar de corrientes eléctricas. Las ondas de luz pueden aportar mucho mayor información que las corrientes eléctricas. La información se propaga mediante haces de láser, a través de fibras de vidrio, cada una no mayor que un cabello humano.

La mayor parte de las llamadas telefónicas aún son transmitidas por cables de cobre (probablemente el depósito más rico de cobre en el mundo —toneladas— yace como el nodo sobresaliente de un gran ganglio nervioso, por debajo de las calles de Manhattan). El cable de cobre promedio consta de 1,500 partes de alambres, y puede transportar 20,000 señales de voz en sus dos vías. Para mantener la amplitud de la señal, cada cable, tan grueso como el brazo humano, requiere de repetidoras especiales cada milla.

En contraste, los cables ópticos son del grosor de un dedo, media pulgada de espesor, con 144 fibras. La luz transmitida es generada por láseres semiconductores pequeñísimos, que emiten pulsos de luz. La potencia de salida es sólo de

algunos watts, pero es suficiente para mandar miles de conversaciones a través de los cables de fibras ópticas. Hoy en día, un cable puede portar 80,000 transmisiones de dos vías, y en algunos años deberá ser capaz de transmitir el triple de esa cantidad. Al igual que los cables de cobre, las fibras ópticas necesitan repetidoras, pero cada 6 a 20 millas, nada más.

Mientras el sistema nervioso central de la criatura comienza a funcionar con pulsos de láser transportando voz digital, datos de video y de computadora, la parte de la criatura que todos vemos —el teléfono— será adecuadamente transformada. Sobre el escritorio de Buchsbaum en los laboratorios Bell, cerca de una pluma de ave simbólica, está lo que parece una terminal de computadora, con su pantalla, su teclado de comandos y un teléfono integrado. Este sistema se llama EPIC (Everyone's Planning and Information Communication System), un sistema telefónico experimental diseñado para los negocios. EPIC es una computadora y un teléfono combinados. Tiene también una característica en su pantalla: para decirle a la máquina qué hacer, usted toca los puntos apropiados próximos a un menú de opciones indicados sobre la pantalla.

EPIC va un paso más allá que los teléfonos "inteligentes" que empiezan a aparecer. Así como ahora tenemos teléfonos capaces de recordar una lista corta de los números telefónicos usados más frecuentemente, algún día no necesitaremos directorios telefónicos. Las compañías telefónicas locales no necesitarán imprimirlos; el teléfono por sí mismo encontrará los números que usted quiera. La terminal almacenará su lista personal de números telefónicos y será capaz de proveer varios servicios de información de cualquier parte del país.

Cuando alguien llame, la pantalla de EPIC le mostrará el número telefónico de la llamada, de manera que usted podrá decidir si la toma, la ignora o la registra en su grabadora de mensajes. Si usted no está en casa, EPIC podrá transferir su llamada al teléfono más cercano adonde se encuentre. Podrá además tener sensores de humo, fuego o ladrones, y se comunicará con los bomberos o la policía. EPIC también servirá para la correspondencia —electrónicamente—: usted podrá telefonar sus cartas a otras terminales EPIC a la velocidad de la luz, en lugar

de hacerlo a la velocidad del servicio postal de los Estados Unidos.

En el futuro, EPIC (o alguno de sus descendientes) le permitirá pagar sus cuentas por teléfono, tendrá actualizadas sus cuentas de cheques y además le escuchará a usted. Algún día el sistema será capaz de reconocer voces y será programado para entender las voces individuales de la familia que posee la terminal. Los miembros de la familia serán capaces de hablar a su casa. EPIC les responderá con su propia voz.

Los planes de AT&T para EPIC no son todavía claros. Los laboratorios Bell han estado probando el *hardware* durante más de dos años, pero las cuestiones de precio y distribución aún no se deciden.

Por ahora, un sistema parecido a EPIC está probándose en Harrisburg, Pennsylvania y en Orlando, Florida. Allí la gente está usando un sistema desarrollado en BTL llamado CLASS (Customer Local Area Signaling Service). En un experimento de un año que comenzó en la primavera de 1983, los clientes habían tenido la opción de usar un conjunto de números para programar la computadora central de la compañía de teléfonos con instrucciones de qué hacer con las llamadas que entraban.

Una pequeña área de la pantalla que muestra el número telefónico del que llama informa a los usuarios de CLASS quién está llamando. Los usuarios de CLASS pueden también alertar a la compañía para seguir una llamada anónima, e instruir al teléfono para que no suene cuando una llamada viene de algún determinado número (el que llama oír una voz grabada diciendo: "por ahora, el lugar adonde usted está llamando no acepta contestar"). O también el teléfono sonará diferente cuando determinado número (¿su jefe?) está en la línea. Y un cliente de CLASS que acaba de perder una llamada puede decirle a su teléfono que marque el número de la última llamada que entró.

Mientras los teléfonos se vuelvan cada vez más inteligentes, también serán más baratos, pequeños y más portátiles. Una idea a realizar es el viejo sueño de ciencia-ficción de los comunicadores de pulsera. Dentro de una década, la tecnología del teléfono producirá tal dispositivo, que será la combinación de un teléfono, una computadora y un servicio de datos. Tendrá también un calendario inteligente para recordarle sus fechas



importantes, tales como las del pago de impuestos.

Ivan Bekey, director de programas avanzados de la NASA, prevé un día en que tendremos sistemas telefónicos de pulsera que serán operados por 25 millones de usuarios en miles de ciudades, pueblos y condados, con acceso instantáneo entre todos. Los teléfonos de pulsera serán pequeños y baratos (menos de 25 dólares, dice Bekey), y estarán unidos por un sofisticado satélite de comunicaciones moviéndose en órbita geostacionaria. Requerirá una potencia eléctrica de 280 kilowatts, mucho más de lo que necesitan los satélites de hoy.

Existen compañías trabajando que harán posibles los comunicadores de pulsera. Una de Pennsylvania, Mobilsat, ha pedido permiso a la Comisión Federal de Comunicaciones (FCC) para instalar un sistema nacional de teléfonos móviles. Esto consiste en poner en órbita geosincrónica un par de satélites de comunicaciones. La unidad costará en el mercado 2,000 dólares y será del tamaño de una máquina de contestar el teléfono, y los usuarios podrán instalarla en su coche. Con la unidad y una antena especial del tamaño de una lata de café, cualquiera podrá llamar a cualquier parte del país a través del satélite.

Aunque el propósito del sistema telefónico es servir a la humanidad (además, por supuesto, de la obtención de provecho de las compañías telefónicas) mejorando su tecnología y accesibilidad, nues-

tra dependencia se incrementará también. Es claro que desde el siglo pasado nuestra relación con el sistema telefónico ha crecido de manera compleja. Hoy en día tenemos una relación simbiótica con los teléfonos. En la sociedad del mañana, esta simbiosis, para bien o para mal, será aún más fuerte.

Mientras la tecnología continúe optimizando el tamaño de los circuitos usados en las comunicaciones, parece que a principios del próximo siglo los comunicadores miniaturizados podrán conectarse directamente al sistema nervioso del cuerpo humano. Acaba de empezar el matrimonio de la biología y la electrónica. Existen dispositivos médicos, diseñados en la escuela de medicina de la Universidad de Pittsburgh y en la Universidad de Utah, que pueden implantarse en el cuerpo humano para monitorear su funcionamiento y liberar medicamentos en el torrente sanguíneo. También el nuevo campo de electrónica molecular iniciado por la Universidad de North Carolina en Chapel Hill, EMV-Associates, de Rockville, Maryland y otras instituciones sugieren que algún día los chips de computadora podrían hacerse con material biológico, como las proteínas.

De tales desarrollos podrían provenir los biocomunicadores conectados directamente al cerebro humano, o a un sistema sensorial hecho por el hombre. Ésta es una idea tan revolucionaria que solamente los escritores de ciencia-ficción han contemplado qué podría significar

esto para el espíritu humano. Con esto en mente, ejercitemos una prerrogativa de escritor de ciencia-ficción y ofrezcamos una imagen de lo que sería un mundo de dispositivos electrónicos moleculares.

Algún día en el próximo siglo, estos dispositivos microcomunicadores serían instalados en el cráneo de un humano, tal vez en la pubertad —una versión futura del ritual actual de dar al jovencito su propio teléfono.

Los comunicadores microelectrónicos serían conectados directamente al sistema nervioso; pueden pensarse conectados a los receptores sensoriales del cuerpo. Esto permitiría a la persona no solamente hablar y recibir mensajes telefónicos, sino experimentar un rango lleno de estímulos sensoriales a larga distancia, con todas las sensaciones: vista, sonidos, texturas, sabores y olores. Como los que hoy deambulan por las calles con sus auriculares de música, la nueva generación de implantados se sumergirá en su mundo privado de estímulos sensoriales.

De hecho, algún día nuestros nietos encontrarán extraño que hubiesen existido humanos que vivían su vida entera sin comunicadores implantados, sin la habilidad de adquirir información a voluntad de la Biblioteca del Congreso, o compartir una experiencia con un amigo al otro lado del mundo. Algún día, podríamos oír las palabras: "qué solos estaban ustedes en aquellos días", mientras nuestros nietos conversan con nosotros desde las arenas rojas de Marte.

LA FISILOGIA DEL AEROBICS*

El aeróbico es un ejercicio completo, en tal forma que aumenta la habilidad de los músculos para usar el oxígeno en la producción de compuestos ricos en energía (trifosfato de adenosina o TPA) que alimentan las contracciones. Los músculos dotados de abundante oxígeno producen TPA rompiendo completamente el carbohidrato (glucógeno) almacenado y las grasas. Tanto como el 50 por ciento de la energía muscular puede provenir de las grasas. En las circunstancias correctas, estas reacciones pueden producir TPA por muchas horas —suficientes para correr un maratón— y se detienen solamente cuando las reservas de glucógeno se agotan. Los tiempos mostrados abajo entre paréntesis indican qué tanto duraría cada tipo de combustible si fuera la única fuente para los músculos durante el ejercicio aeróbico.

Pero cuando la demanda de TPA excede la capacidad del sistema aeróbico, los músculos dependen de las rutas bioquímicas que son anaeróbicas (ocurren sin oxígeno). El metabolismo anaeróbico entra en juego cuando los levantadores de pesas, lanzadores de bala y jabalina y corredores de carreras cortas hacen esfuerzos breves pero masivos, o cuando un corredor de grandes distancias acelera su carrera al final. En tales ocasiones, algo de glucógeno se rompe sólo parcialmente, para lactar, para producir TPA. Este tipo de metabolismo produce la máxima potencia y puede ocurrir inmediatamente, antes de que el corazón y los pulmones hayan tenido tiempo de incrementar el suministro de oxígeno a los músculos. Pero el lactato se forma pronto en los músculos y lleva a la fatiga, y finalmente al agotamiento.

El entrenamiento anaeróbico —levantamiento de pesas y similares— hace que los músculos se fortalezcan parcialmente al incrementar las concentraciones de enzimas en la fibra muscular de contracción rápida que se especializa en la glicólisis anaeróbica. Pero esta clase de entre-

namiento no hace mucho por el sistema cardiovascular.

El ejercicio aeróbico, por otra parte, produce cambios fisiológicos en el cuerpo que parecen estar ligados con la salud. El entrenamiento para la adaptabilidad aeróbica, digamos correr suficientemente rápido para elevar sustancialmente el ritmo cardíaco al menos por diez minutos, lleva a mejoras en la eficiencia del corazón y de la circulación. Los músculos entrenados para la resistencia en vez de la potencia anaeróbica también oxidan más grasas y menos carbohidratos, y pueden trabajar más intensamente y por más tiempo antes de llegar al "umbral anaeróbico", el punto en el cual el metabolismo aeróbico llega a ser inadecuado y los músculos llegan a producir lactato. La resistencia mejora después del ejercicio aeróbico regular, principalmente debido a que las fibras musculares que se especializan en metabolismo aeróbico, las fibras de contracción lenta, sintetizan más enzimas oxidativas y más mitocondria, el lugar de la respiración aeróbica de la célula.

Muerte en la cancha de squash: cómo no ejercitarse

¿Puede ser malo el ejercicio? Una muerte repentina durante (o poco después de) un ejercicio enérgico, en la cancha de squash o en los campos de entrenamiento del ejército, no es algo inaudito. Aun los corredores de maratón entrenados no son inmunes a ataques de corazón fatales. Pero nadie sabe qué tan comunes son las muertes repentinas ligadas con el ejercicio. El registro y la investigación de estos casos son muy incompletos; solamente una investigación nacional podría determinar la verdadera incidencia de la muerte repentina en el deporte. Pero el clima de la opinión médica se está desplazando en favor del ejercicio, tanto para una persona que se recupera de un ataque cardíaco como para un individuo sedentario promedio. El entrenamiento puede ayudar a la víctima de un ataque al corazón reduciendo la cantidad de oxígeno que necesita el corazón a cualquier nivel dado de trabajo, así que el paciente puede hacer más antes de alcan-

zar el punto donde los dolores de pecho indican un corazón hambriento de oxígeno. La cuestión es, ¿debería la gente de edad mediana, en particular, ser advertida de los signos de enfermedad del corazón antes de emprender un ejercicio vigoroso?

La mayoría de los casos de muerte repentina en el deporte es causada por arritmias letales en los latidos del corazón, a menudo en gente con una enfermedad coronaria no diagnosticada. En Norteamérica a cualquiera por encima de los 35 años se le recomienda tener un chequeo físico y un electrocardiograma con ejercicio (ECG) —una grabación de la actividad del corazón tomada durante el ejercicio—. Los británicos, en su mayoría, hallan estas pruebas innecesarias. No mucha gente muere por ejercicio, después de todo, y los ECG's son notoriamente imprecisos. Sin embargo, Robin Northcote y David Ballantyne, cardiólogos del Hospital Victoria en Glasgow, apoyan la prevención por ECG para gente de más de cuarenta años o gente más joven con riesgo a desarrollar una enfermedad coronaria (debido a la obesidad, el fumar, la historia familiar, o a la alta presión sanguínea). Los individuos que muestran una anomalía particular en sus ECG's tienen, dicen ellos, de 10 a 20 veces mayor riesgo de desarrollar subsecuentemente signos de enfermedad coronaria, o hasta de muerte repentina.

Pero la profesión médica no está de acuerdo en que ciertas precauciones son esenciales. Una persona sedentaria de edad mediana debería comenzar a hacer ejercicios a un nivel muy bajo, e incrementar la intensidad del ejercicio sólo gradualmente. El ejercicio debería ser regular y constante, en lugar de intenso y breve; así nadar, correr o andar en bicicleta son mejores que los juegos competitivos de squash.

Todos deberían tratar de hacer ejercicio aeróbico —actividad que promueve la habilidad del cuerpo para usar el oxígeno suficientemente. El entrenamiento para la potencia aeróbica tiene muchos profetas que apoyan esquemas específicos —más notablemente Kenneth Cooper, quien popularizó su entrenamiento "aeróbico" en varios *best sellers*—. Pero no hay nada especial en los varios esquemas o clases "aeróbicas". Todo lo que uno necesita es hacer ejercicio suficientemente vigoroso para elevar el ritmo

* Artículo tomado de la revista *New Scientist*, 23 de febrero de 1984. Traducido por Gerardo Torres del Departamento de Matemáticas del ICUAP.

respiratorio y del corazón —hasta 170 latidos por minuto— evitando hacerlo tanto que usted tenga que suplementar el metabolismo aeróbico con fuentes anaeróbicas de energía. El problema con el metabolismo anaeróbico es que el lactato producido colateralmente pondrá un alto a más ejercicio. Pero el ejercicio no necesita ser esclavo continuo para promover adaptabilidad cardiovascular: el así llamado “intervalo de entrenamiento”, donde diversos ejercicios enérgicos son separados por breves descansos (de digamos 30 segundos) puede también mejorar la capacidad aeróbica. Y hacer ejercicio vigorosamente por una hora o algo así, tres veces a la semana, parece ser suficiente.

El ejercicio isométrico no es muy útil. Los ejercicios isométricos, llamados así debido a que el músculo no es capaz de cambiar de longitud al contraerse contra una fuerza inmóvil, fueron muy populares al principio de los sesenta. Usted podría sentarse en su oficina, se decía, empujar contra un escritorio o una pared, y estar en buena salud y fuerte. Pero esta clase de trabajo a menudo causa un gran aumento en la presión sanguínea y no aumenta significativamente el ritmo cardíaco, así que no hace mucho por promover la adaptación cardiovascular,

y puede producir tensión extrema sobre el corazón.

La combinación de ejercicios isométricos de los músculos pequeños (tales como un apretón de manos) con trabajo dinámico con grandes grupos de músculos (tales como una caminata rápida) puede empujar muy alto el consumo de oxígeno de los músculos del corazón. Esta situación surge clásicamente, como lo expone Archie Young de la Universidad de Oxford, cuando “el ejecutivo de negocios de edad mediana, obeso, hipertenso, agresivo, trata de apresurarse a través de un aeropuerto llevando su maleta.”

Los calentamientos y enfriamientos son también una buena idea: calentamientos tales como una suave carrera o vuelta en bicicleta, lentamente bombean el suministro de oxígeno a los músculos, mientras que los enfriamientos (una conclusión gradual del ejercicio), pueden reducir la probabilidad de desarrollar un latido

del corazón arrítmico y desigual después del ejercicio. El detener el ejercicio repentinamente puede hacer que la sangre se acumule en las piernas, reduciendo el regreso de la sangre al corazón y a las arterias coronarias. Los extremos de temperatura —tales como el sauna o una ducha caliente inmediatamente después del ejercicio— son también desaprobados. Las altas temperaturas aumentan el ritmo cardíaco y pueden producir arritmias. Y al ejercitador se le aconseja poner atención a los dolores de pecho o a las sensaciones de fatiga extrema, ambos son comunes antes de la muerte repentina. En tal caso el mensaje es: dejar de jugar y buscar atención. El fumar, en cualquier momento, pero particularmente después del ejercicio, puede también producir un ritmo irregular del corazón. Y es probablemente mejor no hacer ejercicio mientras se tiene una infección viral: el ejercicio puede causar que una infección menor del corazón se convierta en algo mucho más serio.

LA FISIOLOGIA EN EL ICUAP

*Enrique Dóger, Enrique Soto**

La fisiología es una de las disciplinas del área biológica más cultivadas en nuestro país. La comunidad científica reconoce a la Sociedad Mexicana de Ciencias Fisiológicas como una de las sociedades científicas nacionales más activas y antiguas del país, y cuya organización le ha permitido mantener la realización de su congreso anual durante 27 años. Ya que, por primera vez en su historia, el Congreso Nacional de Ciencias Fisiológicas se realiza en Puebla, hemos decidido hacer una pequeña revisión del desarrollo de esta disciplina en la Universidad Autónoma de Puebla, y particularmente en el Instituto de Ciencias.

Nos limitaremos en estas consideraciones únicamente a la época que corresponde a los años setenta y ochenta; para nada se pretende analizar de forma exhaustiva la evolución de esta rama del conocimiento. Pretendemos rehacer una parte del cuento, tal como lo hemos vivido.

* Departamento de Ciencias Fisiológicas, Instituto de Ciencias, Universidad Autónoma de Puebla (ICUAP).



La fisiología se ha cultivado en nuestra Universidad asociada fundamentalmente a la enseñanza de las disciplinas básicas en las carreras de Medicina, Odontología y Ciencias Químicas. Al carecer en la Universidad de una escuela de Biología, la fisiología se ha desarrollado solamente en el plano docente. Los primeros intentos serios por impulsar el desarrollo de la investigación en fisiología se dieron en la escuela de Medicina en el año de 1974, cuando se decidió contratar a un distinguido fisiólogo: el Dr. Guillermo Anguiano L. Las condiciones materiales e intelectuales en la escuela de Medicina impidieron prácticamente toda posibilidad de desarrollo, a pesar de la distinguida participación del maestro Anguiano. La situación permanece en un estancamiento hasta que nuevamente en la escuela de Medicina, bajo la influencia del Hospital Universitario (HUP), se decide contratar personal especializado en el campo de la neurofisiología. Es así que a finales de los años setenta se contrata a la Dra. Carmen Lozada C., como jefe del departamento de Electroencefalografía del HUP, y profesora de fisiología y neuroanatomía de la escuela de Medicina. En torno a la Dra. Lozada se agrupa una serie de estudiantes, reforzando el grupo con la contratación de un profesor visitante, el Dr. Fernando Mora C. Coincidentemente, en la escuela de Medicina se cuenta ya en estos años con personal de alto nivel en bioquímica, y la Esc. de Ciencias Químicas cuenta con la colaboración del Dr. Jaime Kravzov.

Con base en este grupo inicial de profesores y un grupo de estudiantes de química y medicina, se decide iniciar, bajo control del HUP, un curso de especialización en Ciencias Básicas Biológicas. Este curso se mantiene funcionando en el HUP por dos años, hasta que finalmente en 1980, por renuncia de algunos profesores y abandono de otros, es cancelado. Se decide becar a 5 estudiantes para hacer cursos de posgrado en Ciencias Básicas en otras universidades del país y el extranjero.

Un nuevo intento de desarrollo en el campo biomédico surge en 1981, pero ahora es el Instituto de Ciencias, bajo la dirección del Dr. Kravzov, el encargado de impulsarlo. En esta ocasión se reúne personal de Ciencias Químicas, Medicina, y adicionalmente se contrata de tiempo completo a dos investigadores para el área de fisiología, Drs. Bjorn Holmgren

y Ruth Urbá; y un profesor visitante, Dr. Rubén Budelli, integrando con este grupo el departamento de Investigaciones Biomédicas del ICUAP. Este departamento, de composición heterogénea, se inicia en 1981, cultivando las áreas de Microbiología Médica, Bioquímica Microbiana, Microbiología del Suelo, Bromatología y Neurofisiología de la Conducta.

Para el año de 1982, el área de Fisiología recibe el refuerzo de tres egresados de Maestría, dos de ellos originados en el curso de especialización del HUP. En este mismo año se trae como profesor visitante al Dr. Huan Roig, figura en torno a la cual se logra dar marcha a un curso de fisiología avanzada para profesores de las escuelas de la UAP. Es así como, para 1982, la sección de Fisiología del ICUAP cuenta con un grupo de 8 investigadores, 6 de tiempo completo y dos profesores visitantes. Se echan a andar los proyectos de fisiología cardiovascular, fisiología sensorial y neurofisiología de vías y sistemas neurotransmisores en el SNC. Para este momento el proyecto de fisiología de la conducta se encuentra ya andando, y se ha producido su primera comunicación internacional.

Si el año de 1982 es el año en que se consolidó la planta docente de la sección de fisiología del departamento de Investigaciones Biomédicas, el año de 1983 es de consolidación en cuanto a la infraestructura de investigación. Durante 1983 se adquirió el grueso del equipo de investigación del departamento. En este año también se someten, por primera vez, dos proyectos de investigación para financiamiento extra UAP. Ambos fueron aprobados recibiendo apoyo de SEP y CONACYT.

A fines de ese año, el departamento de Investigaciones Biomédicas se había hipertrofiado: los grupos habían crecido todos a un ritmo imprevisto, cultivando disciplinas que por razón natural divergían desde el punto de vista académico. Por ello, a fines de 1983, el consejo académico del ICUAP aprueba la proposición del propio departamento de Investigaciones Biomédicas de constituir a partir de 1984 dos departamentos independientes. Uno, el departamento de Investigaciones Microbiológicas (DIM), el otro, el departamento de Ciencias Fisiológicas (DCF).

De esta manera queda constituido en su forma actual en 1984 el departamento

de Ciencias Fisiológicas, el cual queda integrado por los siguientes grupos de investigación:

- a) Neurofisiología de la Conducta
- b) Fisiología Cardiovascular
- c) Neurofisiología Sensorial

En 1984, la planta de investigadores de este departamento decide someter a consideración del Consejo Universitario y de la SEP (PRONAES), la creación de una Maestría en Ciencias Fisiológicas. Esta es aprobada para octubre de 1984, e inicia cursos en enero de 1985, con 10 alumnos.

A grandes rasgos este ha sido el curso que da origen al departamento de Ciencias Fisiológicas de la UAP. Siendo uno de los departamentos de investigación más jóvenes del ICUAP, cuenta actualmente con:

- 3 investigadores a nivel de doctorado;
- 4 investigadores a nivel de maestría;
- 1 investigador a nivel licenciatura;
- 2 auxiliares con licenciatura.

De este personal se encuentran en superación académica:

- 1 estudiante de doctorado, y
- 3 estudiantes de maestría.

Adicionalmente durante 1985, se ha aprobado la contratación de dos investigadores de tiempo completo (categorías "E" y "B", respectivamente).

Se cuenta con 3 laboratorios de Electrofisiología, un laboratorio de Neuroquímica (en proceso) y un laboratorio de conducta. El departamento ha logrado hacer aprobar:

- 2 proyectos con financiamiento en 1983,
- 4 proyectos con financiamiento en 1984.

Como un indicio de la creciente labor de investigación científica en el campo de la fisiología en la UAP, damos el número de trabajos presentados por nuestra Universidad a los Congresos Nacionales de Ciencias Fisiológicas desde 1980 hasta 1985:

1980		0 trabajos
1981		1 trabajo
1982		3 trabajos
1983		5 trabajos
1984		5 trabajos
1985		8 trabajos

Como puede verse la participación de nuestra Universidad en el quehacer de la comunidad científica nacional en fisiología se ha incrementado año con año, hasta constituirse en uno de los grupos más importantes en la provincia.

NOTI CIAS

SE ESTABLECE BIBLIOTECA GENETICA DE LOS CROMOSOMAS HUMANOS

En el Lawrence Livermore National Laboratory LLNL y en el Los Alamos National Laboratory LANL (EVA) avanza el proyecto de creación de una biblioteca genética de cada uno de los 24 diferentes cromosomas humanos.

Bajo la dirección de Marvin A. Van Dilla se han construido fragmentos relativamente cortos de ADN humano (de menos de 9000 pares de bases) y se cuenta actualmente con los cromosomas 4, 6, 13, combinación de 14 y 15, 17, 18, 20, 21 y Y en el LLNL, mientras que en el LANL se han producido los cromosomas 1 y 2 combinados, 11, 13, 16, 18, 19 y 22 bajo la dirección de Larry L. Deaven.

La técnica de citometría de flujo desarrollada por Van Dilla ha permitido seleccionar tipos específicos de células para construir cromosomas, obteniéndose 4 millones de cromosomas de un tipo en uno o dos días por el seleccionador de alta velocidad.

La producción del LLNL y del LANL ha sido distribuida a 33 centros de investigación en el mundo y será bien empleada en las investigaciones médicas de monitoreo de enfermedades genéticas y de estructura y función de los genes humanos.

Chem. Eng. News, 63, 9 (1985) 24.

GRUPO INTERNACIONAL DE INVESTIGADORES PROPONE ECUACION UNIVERSAL

Recientemente han sido publicados en las revistas *Nature*, *Science* y *Journal of the American Chemical Society* los resultados de Mortimer J. Kamlet y Ruth M. Doherty del Naval Surface Weapons Center; de Silver Spring y Michael H. Abraham de la Universidad de Surrey (Gran Bretaña); así como de Robert W. Taft de la Universidad de California Irvine, acerca de la exacta predicción de la solubilidad de cualquier compuesto en cualquier solvente. La ecuación propuesta para ello requiere del conocimiento de algunos parámetros fundamentales en la ecuación del compuesto en cuestión, que puede medirse o determinarse expe-

rimentalmente para una variedad de solutos y usarse para calcular los coeficientes en la ecuación.

La solución de este enigma de la fisicoquímica acerca de la predicción y control de la solubilidad de un compuesto en otro, permitirá, por ejemplo, aclarar efectos toxicológicos y farmacológicos de las sustancias debidos a la magnitud de la solubilidad en el aire, en la sangre y en los tejidos; así como a la velocidad y mecanismo de su dispersión en el medio ambiente.

Chem. Eng. News, 63, 11 (1985) 20.

CIENTIFICO DE LA UNAM PREMIADO POR LA SOCIEDAD AMERICANA DE ASTRONOMIA



La Sociedad Astronómica Americana presentó los premios 1984 en honor del investigador en óptica, el francés Henri Chretien, que fueron otorgados al doctor Luis F. Rodríguez, del Instituto de Astronomía de la Universidad Nacional Autónoma de México y a la doctora Angeles L. Díaz, del Observatorio Real de Greenwich.

El doctor Rodríguez obtuvo su doctorado en la Universidad de Harvard, es especialista en radioastronomía y fue distinguido por su proyecto de estudiar una emisión de radio de cuerpos cósmicos que según los modelos habituales su existencia no es predecible; esta investigación, fue realizada junto con un colega italiano. Este premio, a la excelencia del trabajo presentado, se otorga anualmente a astrónomos observacionales.

El doctor Rodríguez ha sido distinguido anteriormente con el premio *Robert J. Trumpler*, otorgado por la Sociedad Astronómica del Pacífico a las tesis de doctorado más destacadas; el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Puebla lo distinguió con el premio Estatal de Ciencia.

RECONO- CIMIENTO A LA UAP

El 16 de mayo fue designado miembro temporal de la Junta Directiva del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) el licenciado Alfonso Vélez Pliego, rector de la Universidad Autónoma de Puebla.

De acuerdo con la ley que creó el CONACYT como impulsor y coordinador de la investigación científica y la tecnología, éste se rige por una Junta Directiva integrada por once miembros permanentes y cuatro temporales.

Son miembros permanentes ocho secretarios del Estado, el director general del propio Consejo, el director general del Instituto Politécnico Nacional y el rector de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Tal como lo señala el artículo 5, son miembros temporales dos rectores de universidades o institutos de enseñanza superior, el titular de un organismo paraestatal y un representante del sector privado.

La designación del rector de esta Casa de Estudios es un gesto de reconocimiento a la investigación que desarrolla la Universidad, cuya calidad se puso de manifiesto el año pasado al otorgarle premios estatales de Biomedicina, por la investigación sobre el tratamiento de leucemias agudas, y de Física, por el trabajo en el área de semiconductores. En este mismo campo se le han otorgado los premios *Vicente Aguirre* y el premio *Puebla*, ambos en el área de tecnología.

La investigación científica en la Universidad se ubica en el contexto de la Reforma Universitaria Democrática y, por lo mismo, su objetivo es el beneficio de las clases populares y la independencia tecnológica del país.

Por esta razón, la presencia de la UAP en la Junta Directiva del CONACYT es un paso importante en el esfuerzo común por el desarrollo nacional y la transformación de la sociedad.*

* Tomado de la *Semana Universitaria*, UAP.

espacios

centro de investigaciones filosóficas -instituto de ciencias- universidad autónoma de Puebla



Oscar Terán: *Foucault: Una genealogía de la modernidad* • Oscar del Barco: *Leer Blanchot* • Jorge Juanes: *La razón amenazante (Husserl)* • Marcelo Gauchat: *La pregunta por el caos* • Anamaría Ashwell: *Viaje al valle del Kocher* • Hugo Diego Blanco: *Imágenes de la oscuridad* • Armando Pinto: *Otra lectura de Castaneda* • Antonin Artaud: *Una carta inédita* • J. A. Llorente: *La secta de las brujas* • MARTIN HEIDEGGER: *¿POR QUE PERMANECEMOS EN LA PROVINCIA?* • HEBEL *EL AMIGO DE LA CASA* • EL HABLA • Raúl Dorra: *¿Quién mató al Cristo?* • Eduardo Arce: *Etienne de la Boetie y la crítica de la dominación* • Georg Trakl: *Tarde Invernal*.

año dos

número seis

150 pesos

SUMARIO DEL NUMERO CINCO

Oscar del Barco: *Edmund Husserl y el 'sentido' de la crisis* • Raúl Dorra: *El deseo y la construcción de la obra* • Jorge Olmos: *Una nota* • Raúl Dorra: *Gandhi, el hilandero* • Armando Pinto: *Aprender con Castaneda* • Julio Glokner: *Carta sobre la Sierra Tarahumara* • Juan Campos: *El círculo y la línea* • EDMUNDO HUSSERL: *LA CRISIS DE LA HUMANIDAD EUROPEA Y LA FILOSOFIA* • Hugo Diego Blanco: *Ernest Jünger; La soledad y la ausencia*.

SUMARIO DEL NUMERO CUATRO

Jorge Juanes: *Georg Lukács: La conciencia desplazada* • Miguel Espejo: *Heidegger. El enigma de la técnica* • Oscar Martiarena: *Michel Foucault: una genealogía de la verdad* • Marcelo Gauchat: *El hablar del habla* • Julio Glokner: *Cuatro notas ocultas* • Armando Pinto: *Diario de la sierra. 2 relatos totónicas* • Abel Posse: *Recuerdo de una visita a Martín Heidegger* • Hugo Diego Blanco: *Nietzsche y la sabiduría dionisiaca* • Anamaría Ashwell: *Mollnowski: El diario de un antropólogo* • Oscar del Barco: *Carta a un amigo* • MARTIN HEIDEGGER: *EL SENDERO DEL CAMPO* • M. MERLEAU PONTY: *RECUESTO* • J. LACAN: *IMPROVISACION, DESEO DE MUERTE, SUEÑO Y DESPERTAR*.

La correspondencia debe dirigirse a: **ESPACIOS**

Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla
—Centro de Investigaciones Filosóficas—, Maximino Avila Camacho
219, 72000, Puebla, Pue.

CONVOCATORIA POSGRADOS DE LA UAP

MAESTRIA Y DOCTORADO EN FISICA

El Departamento de Física del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla ofrece los programas de Maestría y Doctorado en Ciencias en el área de física del estado sólido. Los requisitos de admisión a la maestría son los siguientes:

- a) Ser pasante de alguna carrera de ciencias naturales o de ingeniería.
- b) Tener promedio mínimo de ocho en los últimos 2 años de la licenciatura.
- c) Aprobar los cursos propedéuticos que se imparten durante el verano en el Departamento.

Los requisitos de admisión al doctorado son:

- a) Poseer el grado de Maestría en Ciencias
- b) Aprobar un examen de admisión (examen de pre-candidatura).

Las inscripciones a los cursos propedéuticos para la maestría se realizan del 15 de abril al 31 de mayo. Las solicitudes de admisión al doctorado pueden presentarse en cualquier fecha.

Para mayores informes dirigirse al coordinador académico, Departamento de Física, ICUAP, apartado postal J-48, Puebla, Pue.

MAESTRIA EN FISIOLOGIA

El Departamento de Ciencias Fisiológicas del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla anuncia la creación de la MAESTRIA EN CIENCIAS FISIOLOGICAS.

Para mayores informes dirigirse al Departamento de Ciencias Fisiológicas. Avenida 27 Poniente 1303, Puebla, Pue. Teléfono 40-32-68.

MAESTRIA EN QUIMICA

El Departamento de Físico-química del Instituto de Ciencias de la Universidad Autónoma de Puebla ofrece estudios de Maestría en Química.

Entrega de documentación	3 al 21 de junio
Inicio de cursos propedéuticos	25 de junio de 1985
Exámenes de admisión	agosto de 1985
Próxima apertura de cursos	septiembre de 1985

Para mayores informes dirigirse al Departamento de Físico-química, apartado postal 1613, teléfonos 45-81-40 y 45-81-81 ext. 37.

MAESTRIA EN MATEMATICAS

La Escuela de Ciencias Físico Matemáticas ofrece estudios de Maestría en Matemáticas. Son requisitos de admisión el ser pasante de alguna carrera de ciencias o de ingeniería y aprobar el examen de nivel que corresponde a Álgebra, Análisis y Topología. Para mayores informes dirigirse a la coordinación de la ECFM en Ciudad Universitaria, teléfonos 45-81-40, 45-81-81 ext. 28.



AUTORES y COLABORADORES

ACEVES MIJARES, MARIANO. Estudió la licenciatura en la Escuela Superior de Físico-matemáticas del Instituto Politécnico Nacional, recibió el grado de licenciado en Física y Matemáticas en 1973, también recibió el grado de maestro en Ciencias en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica en 1979. Actualmente presta sus servicios en el INAOE, donde es investigador y subdirector del área de Electrónica, pertenece a la Sociedad Mexicana de Física, a la IEEE y a la ISHM (International Society for Hybrid Microelectronics). Trabaja la docencia en el programa de maestría del INAOE. Ha colaborado con la industria nacional como asesoría en desarrollos tecnológicos y fue "research engineer" en Gearhart Industries Inc. Su especialidad es el desarrollo, investigación y enseñanza de circuitos integrados monolíticos e híbridos. Es autor y coautor de artículos publicados en revistas nacionales e internacionales en el área de su especialidad.

BEUCHOT, MAURICIO. Doctor en filosofía, realizó sus estudios en México y en Suiza (Friburgo). Investigador en el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM; profesor de la División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Ha publicado: *Elementos de semiótica* (UNAM, 1979), *La filosofía del lenguaje en la Edad Media* (UNAM, 1981), *El problema de los universales* (UNAM, 1982) y prepara, junto con Walter Redmond, un estudio sobre la lógica en México.

FLORES TELLEZ, TOMAS. Nació en la ciudad de Puebla. Estudiante de licenciatura en Ciencias de la Computación de la Escuela de Ciencias Físico Matemáticas de la Universidad Autónoma de Puebla. Trabaja actualmente en el proyecto de circuitos integrados sobre el diseño y simulación de circuitos por computadora en el Departamento de Electrónica del Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica.

LUCIO MARTINEZ, JOSE LUIS. Nació en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. Obtuvo licenciatura en Física en la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, maestría en Ciencias en el Departamento de Física del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, doctorado en Ciencias de la Université Catholique de Louvain, Bélgica. Continuando con estancias posdoctorales en la Universidad de Princeton, Nueva Jersey, E.U. y el Fermi National Accelerator Laboratory de los Estados Unidos. Es miembro de la Academia de la Investigación Científica y de las Sociedades Mexicana y Americana de Física. Actualmente es profesor titular del Departamento de Física del Centro de Investigaciones y de Estudios Avanzados del IPN.

Sus campos de investigación son la física nuclear y la física de altas energías y sus áreas de interés específico son el estudio de procesos fotonucleares, supersimetría y teorías dimensionales.

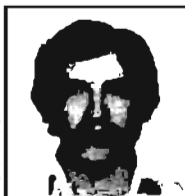
ACEVES



BEUCHOT



FLORES



LUCIO



MENDOZA ALVAREZ, JULIO. Nació en la ciudad de Puebla. Obtuvo su licenciatura en Física y Matemáticas en la Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM) del IPN; su maestría en Ciencias en el Departamento de Física del Centro de Investigación del IPN (CINVESTAV) y su doctorado en Ciencias en el Instituto de Física de la Universidad Estatal de Campinas, Brasil. Su campo de investigación es la Física del Estado Sólido en las áreas de propiedades ópticas de semiconductores; caracterización y fabricación de dispositivos optoelectrónicos; láseres semiconductores de GaAs; y crecimiento de películas semiconductoras II-VI y películas epitaxiales III-V. Es miembro de la Sociedad Mexicana de Física, la Sociedad Mexicana de Ciencias de Superficies y de Vacío y de la Sociedad Americana de Física. Ha impartido clases a nivel de licenciatura en la ESFM del IPN y en la Universidad Estatal de Campinas, Brasil; y cursos de postgrado en el CINVESTAV. Es miembro del Consejo Editorial de la revista *Elementos* y ha sido profesor visitante en la Universidad Estatal de Campinas, Brasil y en la Universidad de Princeton. Actualmente es coordinador académico

y profesor titular en el Departamento de Física del CINVESTAV.

MENDOZA ALVAREZ, MARIA EUGENIA. Nació en la ciudad de Puebla. Obtuvo su licenciatura en Química en la Escuela de Ciencias Químicas de la UAP y realiza actualmente su doctorado en el Laboratorio de Química Aplicada de la Universidad de Ginebra.

NATHAN BRAVO, ELIA. Ha recibido el grado de maestría en Filosofía por el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM donde actualmente es investigadora y su campo de trabajo se ubica en la Historia de la Ciencia, siglo XVII.

PRIETO FUENLABRADA, ARTURO. Nació en la ciudad de Puebla. Estudió la licenciatura en la Universidad Nacional Autónoma de México y recibió el grado de ingeniero mecánico electricista en 1976 con mención honorífica. Recibió el grado de maestro en Ciencias en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, en el área de Electrónica en 1983. Actualmente presta sus servicios en la Universidad Autónoma de Puebla en el área de docencia en el Colegio de Electrónica de la Escuela de Ciencias Físico-Matemáticas. Además se mantiene en estrecha colaboración con investigadores del INAOE donde este año está colaborando de tiempo completo en período sabático. Su interés se encuentra en el análisis y diseño de electrónica analógica y digital integrado. Ha publicado artículos en revistas nacionales e internacionales.

TABARES MUÑOZ, CRISTOBAL. Nació en la ciudad de Guadalajara. Obtuvo su grado de maestría en la Universidad de la Amistad de los Pueblos "Patricio Lumumba". Fue investigador en el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica de Tonantzintla. Actualmente realiza su doctorado en el Laboratorio de Química Aplicada de la Universidad de Ginebra.

ZEPEDA DOMINGUEZ, ARNULFO. Nació en la ciudad de San Luis Potosí, S.L.P. Obtuvo su licenciatura y maestría en la Universidad Politécnica Checa en Praga, Checoslovaquia. El grado de doctor en Ciencias lo obtuvo de dos instituciones: del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN (CINVESTAV) y de la Universidad Rockefeller en Nueva York. Desde 1972 es profesor titular en el Departamento de Física del CINVESTAV y actualmente es jefe del mismo departamento. Su campo de trabajo en la física de partículas elementales. Ha publicado numerosos artículos en varias revistas internacionales. Ha sido profesor visitante en la Universidad de Berna y la Universidad Católica de Lovaina entre otras. Es miembro asociado del Centro Internacional de Física Teórica en Trieste, Italia. En 1982 obtuvo la beca J.S. Guggenheim. Fue nombrado Investigador Nacional en la máxima categoría.

MENDOZA

PRIETO

ZEPEDA