Revista de Ciencias Exactas, Naturales y Aplicadas

# elementos

## INNOVACION EN PERSPECTIVA

## FRANJAS DE MOIRE

## BIOTECNOLOGIA DE ESTEROIDES

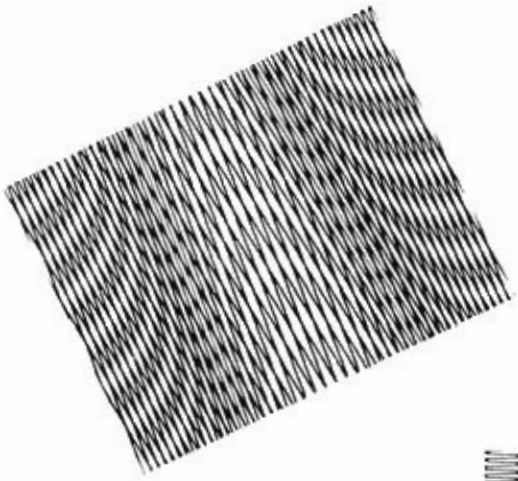
## SCHENBERG: LA FISICA ES UN ARTE

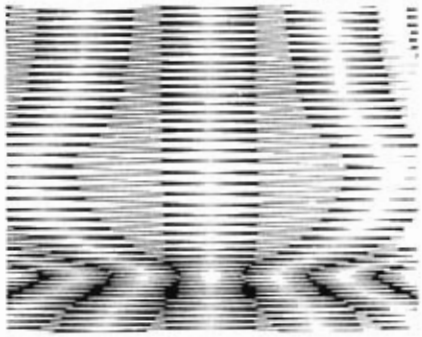
## EL ROBOT-LASER

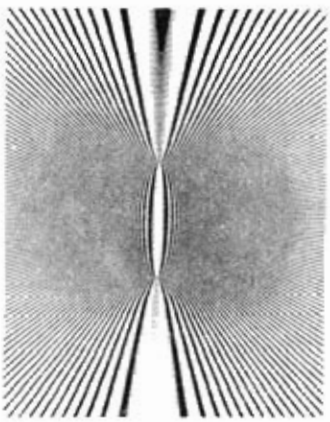
No. 4/5 Año 1 Vol. 1 Universidad Autónoma de Puebla Julio-Diciembre de 1985

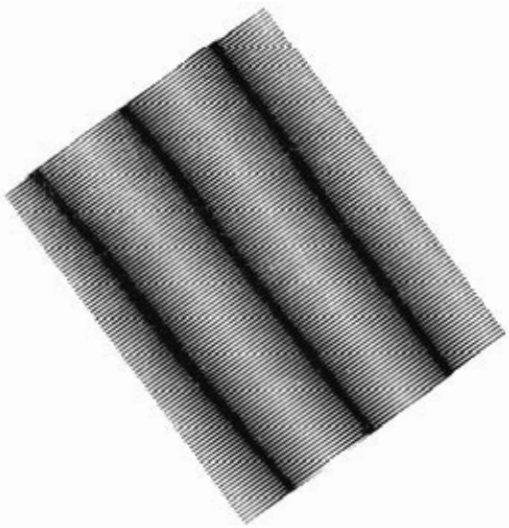
# FRANJAS DE MOIRE

**Jorge Ojeda, Eliezer Jara, Jorge Ibarra***









**Resumen**

Se describe un simple modelo matemático que relaciona una oscilación cosenoidal con un patrón geométrico de barras periódicas.

El modelo relaciona también la suma de dos oscilaciones cosenoidales de casi igual frecuencia (fenómeno de pulsación) con un par de patrones geométricos de barras de casi la misma frecuencia. De esta relación se identifican a las franjas de moiré con un nuevo patrón geométrico. Se discuten algunas de las propiedades y aplicaciones de las franjas de moiré.

**Introducción**

En el desarrollo de la Física, el concepto de onda ha jugado un papel preponderante. Es por ello deseable, que dicho concepto forme parte del conocimiento del hombre contemporáneo. En particular, debe formar parte del conocimiento de las personas con preparación universitaria.

Con el propósito de crear herramientas matemáticas simples para el estudiante universitario que desea familiarizarse con las consecuencias del concepto de ondas, reportamos este trabajo. La meta es relacionar una oscilación cosenoidal con un patrón geométrico de barras periódicas. Esta relación se aprovecha para visualizar el fenómeno de interferencia de dos ondas de casi igual frecuencia (pulsación), con la generación y aplicaciones de las franjas de moiré. Las cuales encuentran aplicaciones prácticas, además de poseer un alto valor estético, en la docencia[1] y la ingeniería.[2,3]

En la sección 2 del trabajo, se establece la relación matemática entre una

* Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica, Tonantzintla. Apartados Postales Nos. 216 y 51, Puebla, Pue., México.

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

oscilación cosenoidal y un patrón geométrico de barras periódicas. En la sección 3 se extiende la relación a la superposición (suma) de dos ondas cosenoidales con la superposición (producto) de dos patrones geométricos de barras periódicas. En la sección 4, se explica cómo se generan las franjas de moiré, y se mencionan algunas explicaciones.

### Oscilaciones y patrones de barras

Una oscilación unidimensional $u(x)$, de forma cosenoidal (como la mostrada en la figura 1a) se puede expresar como

$$u(x) = A \cos 2\pi\nu x, \qquad (1)$$

en donde $A$ representa la amplitud de la oscilación y la $\nu$ es la frecuencia espacial de la onda.

Al patrón geométrico, mostrado en la figura 1b, se le puede describir matemáticamente (en su variación a lo largo de $x$) como

$$p(x) = (1 + \text{signo}\,[\cos 2\pi\nu x])/2 \qquad (2)$$

En donde la función signo se define como:

$$\text{signo}\,[f(x)] = \begin{cases} 1 & \text{si } f(x) > 0 \\ -1 & \text{si } f(x) < 0 \end{cases} \qquad (3)$$

A la representación de la oscilación cosenoidal en la forma del patrón de barras, en la ecuación (2), se le puede considerar como una representación binaria. Ya que en vez de tomar todos los valores posibles entre $-A$ y $A$, sólo se consideran los valores uno o cero.

Es decir, que el patrón geométrico de la figura 1b puede considerarse como una visualización simplificada de la onda en la figura 1a.

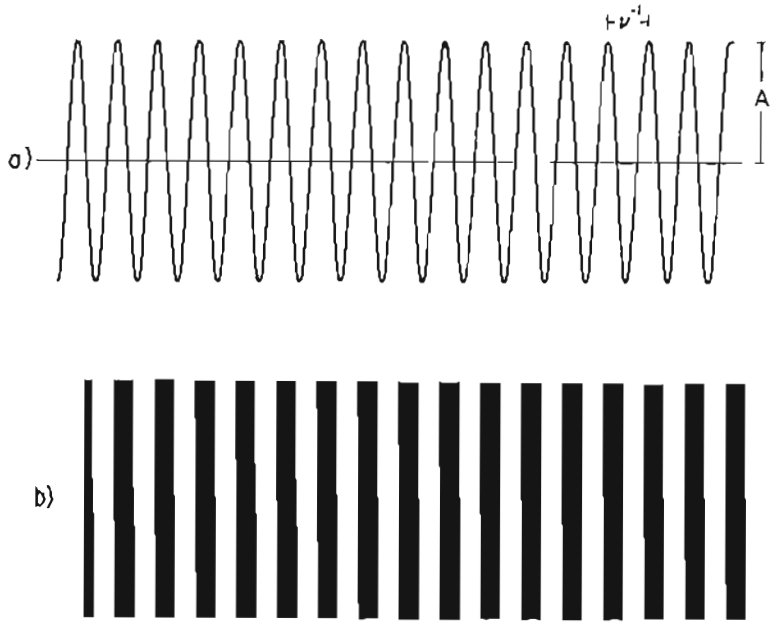



**Figura 1.** Onda cosenoidal y patrón geométrico periódico asociado.**

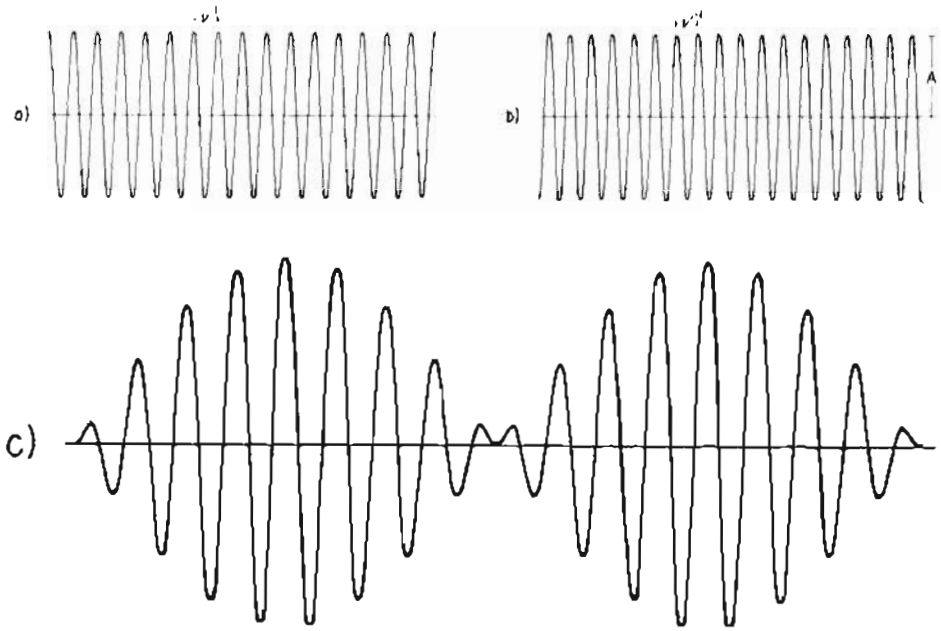



**Figura 2.** Fenómeno de pulsación resultante de sumar dos ondas cosenoidales de casi igual frecuencia espacial.

### Fenómeno de pulsación

Considérense ahora dos oscilaciones cosenoidales de casi igual frecuencia espacial (ver figura 2a y 2b), que pueden ser representadas por:

$$u_1(x) = A \cos 2\pi\nu x$$

$$u_2(x) = A \cos 2\pi(\nu + \delta\nu)x \qquad (4)$$

La suma de estas dos ondas da como resultado una oscilación (mostrada en la figura 2c), de la forma

$$u(x) = u_1(x) + u_2(x)$$

$$= 2A\,[\cos 2\pi x\,\delta\nu]\cos 2\pi x\,(2\nu + \delta\nu) \qquad (5)$$

Esta oscilación resultante exhibe una onda llamada envolvente que tiene baja frecuencia espacial, $\delta\nu$, y una onda llamada acarreadora de alta frecuencia espacial $2\nu + \delta\nu$.

La visualización simplificada al fenómeno de pulsación, en patrones de barras se obtiene al colocar dos patrones de casi igual frecuencia espacial.

** Deseamos expresar nuestra gratitud a la Sra. Iracema Cabañas, y al Sr. Arturo Díaz por la ayuda que nos brindaron en articular las figuras mostradas.

$$p_1(x) = (1 + \text{signo}\,[\cos 2\pi\nu x])/2$$

$$p_2(x) = (1 + \text{signo}\,[\cos 2\eta\,(\nu + \delta\nu)x])/2 \qquad (6)$$

uno encima del otro. En este caso el patrón resultante es el *producto* de ambos patrones. Es decir

$$p(x) = p_1(x)\,p_2(x)$$

$$= 0.5\,[p_1(x) + p_2(x)] + N(x) \qquad (7)$$

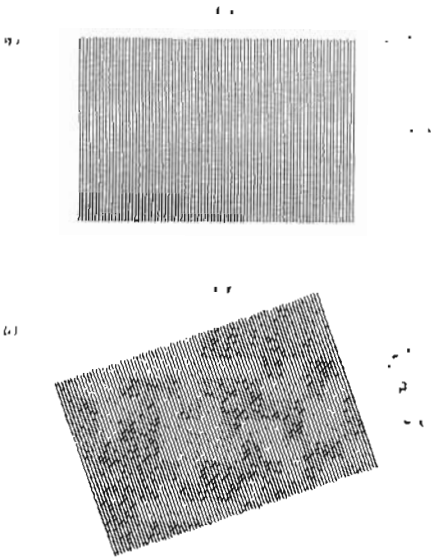


**Figura 3.** Rotación de un patrón geométrico periódico para generar a lo largo del eje x, original, un cambio en la frecuencia espacial.

De la ecuación (7) es posible reconocer que en el patrón resultante existe el término de la suma, como en la ecuación (5), $p_1(x) + p_2(x)$, más un nuevo término, N(x), que no tiene equivalente en la superposición de dos ondas. La forma explícita del nuevo término es

$$N(x) = \text{sign}\,[\cos 2\pi\nu x]$$

$$\text{sign}\,[\cos 2\pi\,(\nu + \delta\nu)x] \qquad (8)$$

Algunas de sus propiedades se pueden analizar considerando sólo el producto de las funciones cosenoidales. Por lo que de aquí en adelante sólo consideraremos que

$$N(x) = [\cos 2\pi\nu x]\,[\cos 2\pi\,(\nu + \delta\nu)x]$$

$$= 0.5\,[\cos 4\pi\nu x + \cos 2\pi x\,\delta\nu] \qquad (9)$$

Es decir que el nuevo término puede escribirse como la suma de dos cosenoidales, una de alta frecuencia espacial, $2\nu$, y la otra de baja frecuencia espacial $\delta\nu$. La de alta frecuencia espacial será difícil de visualizarse, y por el contrario, la de baja frecuencia será fácil de visualizarse.

Es a la onda de baja frecuencia espacial a la que se le conoce como franjas de moiré. O sea, que definimos a las franjas de moiré como al término de baja frecuencia espacial fácilmente observable que es

$$m(x) = \cos 2\pi x\,\delta\nu \qquad (10)$$

y que resulta de encimar los dos patrones de barras periódicas de la ecuación (6). Es interesante mencionar que el nombre moiré (pronúnciese muaré) proviene del francés y denota un tejido periódico que al superponerse con el mismo produce franjas como en la ecuación (10).

## Franjas de moiré

En la práctica es conveniente utilizar dos patrones de barras idénticos de la forma $p_1(x)$. A uno de estos dos patrones se le conserva invariante y sirve como referencia; mientras que al otro se le varía de algún modo para generar $p_2(x)$. Aclararemos este punto con un ejemplo simple.

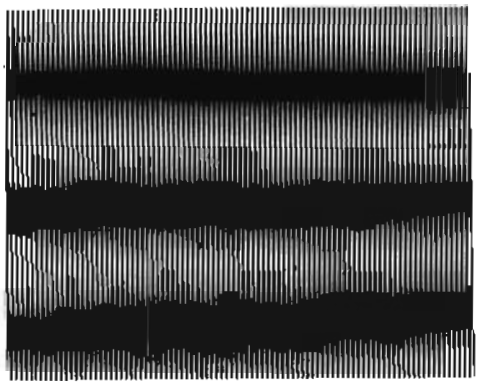
Si al segundo patrón $p_1(x)$ mostrado en la figura 3a, se le gira por un ángulo $\theta$, respecto al eje x, en el sentido contrario a las manecillas del reloj; entonces el patrón de barras variará ahora a lo largo de x', como se muestra en la figura 3b. La variación a lo largo del eje inicial x es el patrón $p_2(x)$. En otras palabras

$$p_1(x') = p_2(x) \qquad (11)$$

De las ecuaciones (6) y (11) tenemos entonces que sus argumentos obedecen la igualdad

$$\nu x' = (\nu + \delta\nu)x \qquad (12)$$

a)



b)

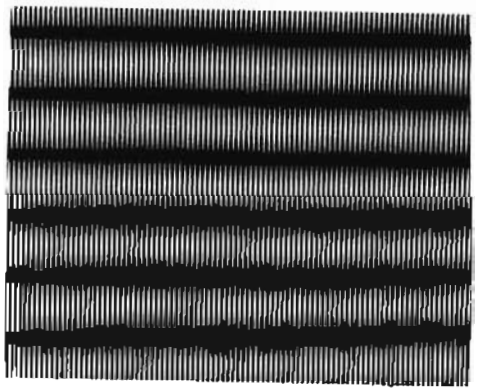


**Figura 4.** Franjas de moiré que se obtienen al superponer dos patrones geométricos periódicos de casi igual frecuencia espacial. Uno de ellos se obtiene por el método mostrado en la figura 3.

Pero sabemos que bajo una rotación

$$x' = x\cos\theta + y\operatorname{sen}\theta \qquad (13)$$

consecuentemente:

$$x\,\delta\nu = \nu[x(\cos\theta - 1) + y\operatorname{sen}\theta] \qquad (14)$$

El resultado en la ecuación (14) nos permite analizar el comportamiento de las franjas de moiré en la ecuación (10) para el caso de una rotación. Los máximos de las franjas de moiré se obtienen cuando

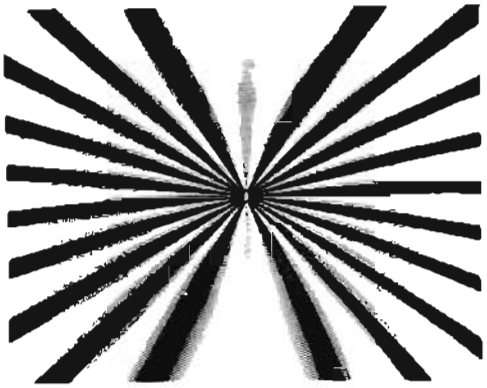
$$\nu[x(\cos\theta - 1) + y\operatorname{sen}\theta] = m:$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots \qquad (15)$$

Es decir, que geométricamente están localizados en líneas rectas de la forma

$$y = x(\cos\theta)/\operatorname{sen}\theta + m(\nu\operatorname{sen}\theta)$$
$$= x\tan(\theta/2) + d \qquad (16)$$

Obviamente, el ángulo que tienen con respecto al eje x es $\phi = \theta/2$, y el periodo a lo largo del eje y es $d = 1/(\nu\operatorname{sen}\theta)$, como puede apreciarse en la figura 4.



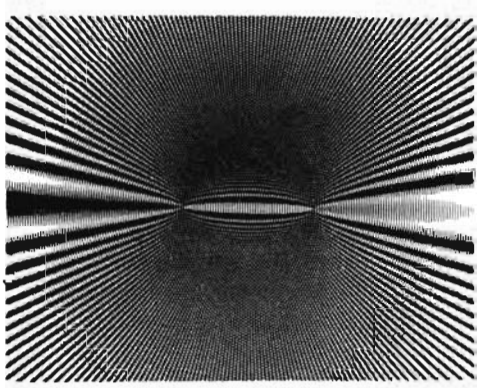
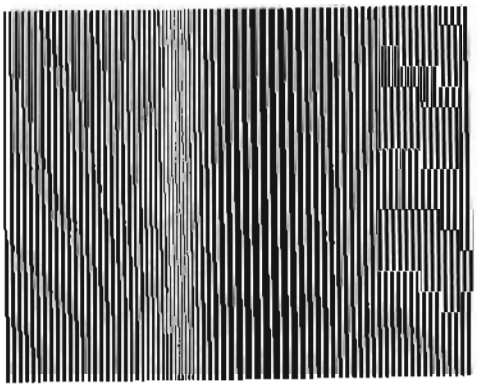


Figura 5. Franjas de moiré resultantes de superponer dos patrones de círculos concéntricos desplazados entre sí.



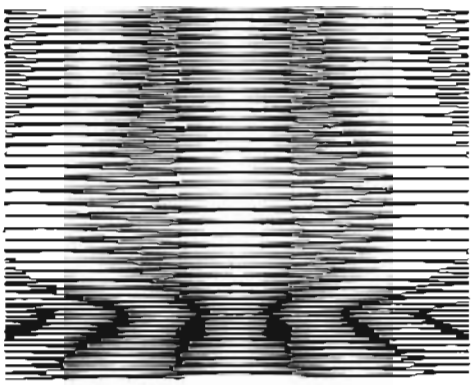


Figura 6. Red de frecuencia espacial variable y franjas de moiré resultantes de superponer esta red con otra igual pero desplazada.

Hasta aquí hemos considerado un patrón de barras periódico a lo largo del eje x. Sin embargo, no es necesario restringirse a tales tipos de patrones. Es perfectamente válido pensar que la periodicidad a lo largo de x, puede ser la resultante de un mapeo de una función de dos variables[4] en otro espacio $(\xi, \eta)$ y que por consiguiente el argumento de la función p (x) es del tipo

$$2\pi\nu x = f(\xi, \eta) \qquad (17)$$

Asimismo, podemos considerar que el patrón modificado es también el resultado de otro mapeo. Por lo cual su argumento es del tipo:

$$2\pi(\nu + \delta\nu)x = g(\xi, \eta) \qquad (18)$$

Por lo que el argumento de las franjas de moiré en la ecuación (10) cumple con la relación

$$2\pi x\,\delta\nu = g(\xi, \eta) - f(\xi, \eta) \qquad (19)$$

Tal como en el caso de la rotación, la localización de los máximos se encontrará

en los lugares geométricos en que

$$g(\xi, \eta) - f(\xi, \eta) = m/2\pi,$$

$$m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots \qquad (20)$$

En las figuras 5, 6 y 7 mostramos varias franjas de moiré que se obtienen para dos tipos de mapeos. En la figura 5 se trata de círculos concéntricos igualmente espaciados, a los que se les desplaza entre sí. En la figura 5a el desplazamiento es a lo largo del eje y; mientras que en la figura 5b es a lo largo del eje x. El desplazamiento en el último caso es mayor que en el primer caso.

Las franjas de moiré generadas pueden ser descritas del modo siguiente. Al argumento del patrón $p_1(x)$ se le puede relacionar con los círculos de la forma:

$$2\pi x \nu = f(\xi, \eta) = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}\,/d \qquad (21)$$

mientras que el argumento del patrón $p_2(x)$ se le puede relacionar con los círculos desplazados

$$2\pi x\,(\nu + \delta\nu) = g(\xi, \eta) = \sqrt{(\xi - a)^2 + (\eta - b)^2}\,/d \qquad (22)$$

Por lo tanto, las franjas de moiré quedan localizadas en hipérbolas que de acuerdo a la ecuación (20)

$$\sqrt{(\xi - a)^2 + (\eta - b)^2} - \sqrt{\xi^2 + \eta^2} = md/2\pi. \qquad (23)$$

A las hipérbolas así generadas se les puede considerar como a los máximos que resultan de la interferencia constructiva de dos fuentes luminosas puntuales, emisoras de las ondas esféricas del conjunto de círculos concéntricos.

En otras palabras, las franjas de moiré, en este caso, son una representación geométrica del experimento de Young de la interferencia de dos fuentes puntuales. Esta representación tiene aplicaciones directas en holografía[3] y en relatividad especial.[5]

Como se menciona en la introducción, las franjas de moiré tienen un gran atractivo estético; esto se puede observar de las obtenidas por desplazamiento relativo entre dos redes de periodicidad variable mostradas en las figuras 6 y 7.

En metrología óptica y mecánica la rotación, el desplazamiento y la distorsión del patrón $p_1(x)$ para obtener $p_2(x)$ sirve para visualizar y medir, generando mapas de contornos, varios eventos que varían desde simples movimientos rígidos hasta complicadas deformaciones mecánicas por tensión o dilatación.

Esperamos en este artículo haber motivado el interés, por la generación, interpretación y aplicación de las franjas de moiré; particularmente, como una herramienta de visualización de propiedades ondulatorias.

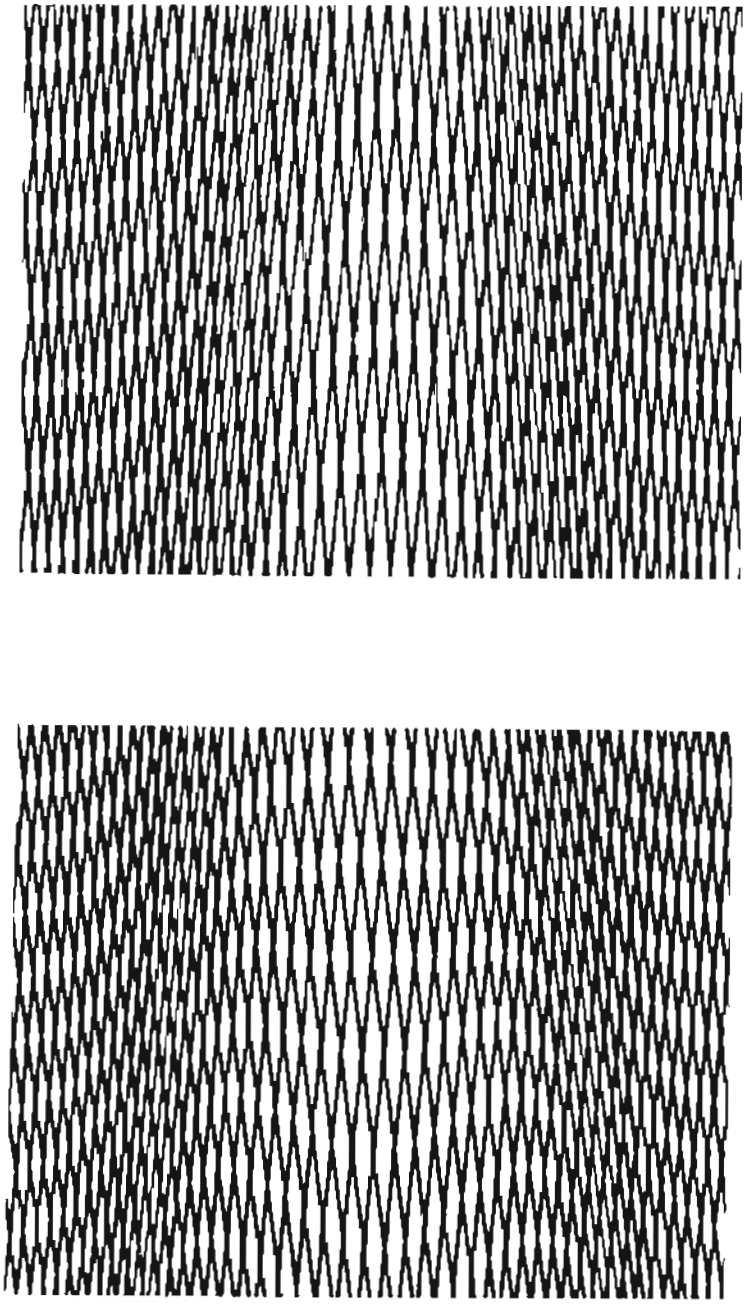


**Figura 7.** Franjas de moiré con la red de la figura 6.


**Referencias**

1. H. F. Meiners, *Physics demostration experiments*, (The Ronald Press Co., American Association of Physics Teachers, New York, 1970).
2. P. S. Theocaris, *Moiré fringes in strain analysis*, (Pergamon Press, Oxford, 1969).
3. N. Abramson, Nondestructive testing in metrology, Cap. 6, in *Optical data processing*, Ed. D. Casasent (Springer Verlag, Berlin, 1978).
4. A. W. Lohmann.
5. N. Abramson, "Light-in-flight recording". 2. "Compensation for the limited speed of the light used for observation", *Appl. Opt.* 23, 1481 (1984).

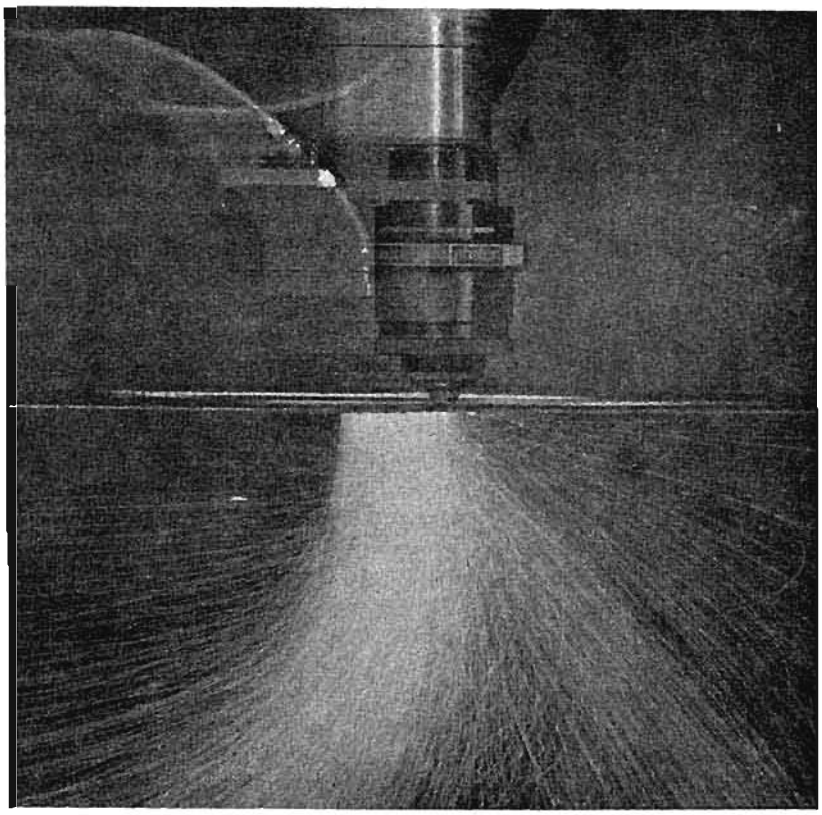
# EL COMBINADO LASER-ROBOT*

**Dennis L. Weth****

**Dos tecnologías nuevas unidas para aumentar flexibilidad y exactitud**

En la década pasada las tecnologías de láser y del robot se han desarrollado estableciéndose cada una de ellas en una gran variedad de aplicaciones en la industria. Los robots manipulan herramientas, electrodos de soldadura o partes de producción, mientras que los láseres entran en acción en el procesamiento de materiales diversos.

La combinación de estas dos tecnologías produce un sistema que posee la flexibilidad y exactitud espacial de un robot y la flexibilidad de procesamiento de un láser. Se origina así un sistema, un robot láser, que puede cortar, soldar, someter a tratamiento térmico y perforar una clase diversa de materiales y partes.



**Los dos caminos**

En las combinaciones de láseres y robots existen dos conceptos fundamentales en lo que respecta a la configuración del sistema. Uno requiere la manipulación de piezas por el robot en conjunción con un sistema fijo de conducción de láser. En este arreglo el robot toma la pieza y la introduce en el sistema de conducción del láser. El robot controla la velocidad y posición de la pieza.

En el segundo concepto, el robot manipula el láser —una configuración que requiere un brazo articulado formado por una serie de espejos rotatorios conectados a tubos rígidos conductores del haz. En este caso la pieza so-

*Tomado de *Photonics Spectra*, abril de 1985 Traducido por el Dr. Raúl Brito, del Departamento de Física del ICUAP.

**Dennis L. Werth dirige estudios de aplicaciones de laboratorio en Photon Source Inc. Obtuvo una maestría en ciencias de Ohio State University y una maestría en administración de empresas de Eastern Michigan University.

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

bre la que se trabaja permanece fija y el robot dirige la energía del láser a un lugar específico de la pieza. Este método es particularmente útil cuando la pieza es grande y no puede ser movida con la rapidez suficiente para aprovechar la gran capacidad de procesamiento del láser.

Dado que un brazo articulado aumenta las ventajas de un robot láser, este artículo se enfocará a esta configuración.

Hay tres componentes principales en un robot láser flexible: la fuente del láser, el robot y el brazo articulado. Un examen de las contribuciones y limitaciones de cada una de las componentes dará una idea más clara del sistema completo.

**El láser proporciona la energía**

La mayoría de las aplicaciones industriales de procesamiento de materiales utilizan láseres de $CO_2$ con potencias que van de 100 a 5000 W. Dentro de esta clase hay tres tipos principales: de flujo lento, de flujo transversal espiral y de flujo axial rápido. En general, los láseres de flujo lento ofrecen la mayor flexibilidad en lo que se refiere a la capacidad en la modulación de pulsos, rampa y potencia, y representan la tecnología más antigua y de la que se tiene mejor información en el campo. Un láser de flujo lento de 1.2 kW puede soldar aleaciones de hierro hasta de 0.500 pulgadas de grosor y ejecutar otros procesos como tratamiento térmico y perforación de una amplia variedad de metales y plásticos.

Los láseres de flujo espiral transversal son similares en capacidad de procesamiento a los láseres de flujo lento, pero carecen usualmente de capacidad de realce de pulso. Sin embargo, han resultado muy fiables en aplicaciones de producción de grandes volúmenes en las que el uso continuo durante periodos prolongados es esencial. Además, el costo de esta tecnología es substancialmente más pequeño que el de la tecnología de los láseres de flujo lento más viejo, y con ella se dispone de niveles de potencia más altos.

El avance más reciente en la tecnología de láseres de $CO_2$ lo representa el láser de flujo axial rápido: unidades típicamente de tamaño más pequeño y que tienen las características de pulsado, forma de rampa y modulación de potencia que más se asemejan a las de la tecnología de flujo lento. Algunas ofrecen, además, avanzadas características de diseño tales como programación del láser controlado por computadora y fuentes de poder de estado sólido.

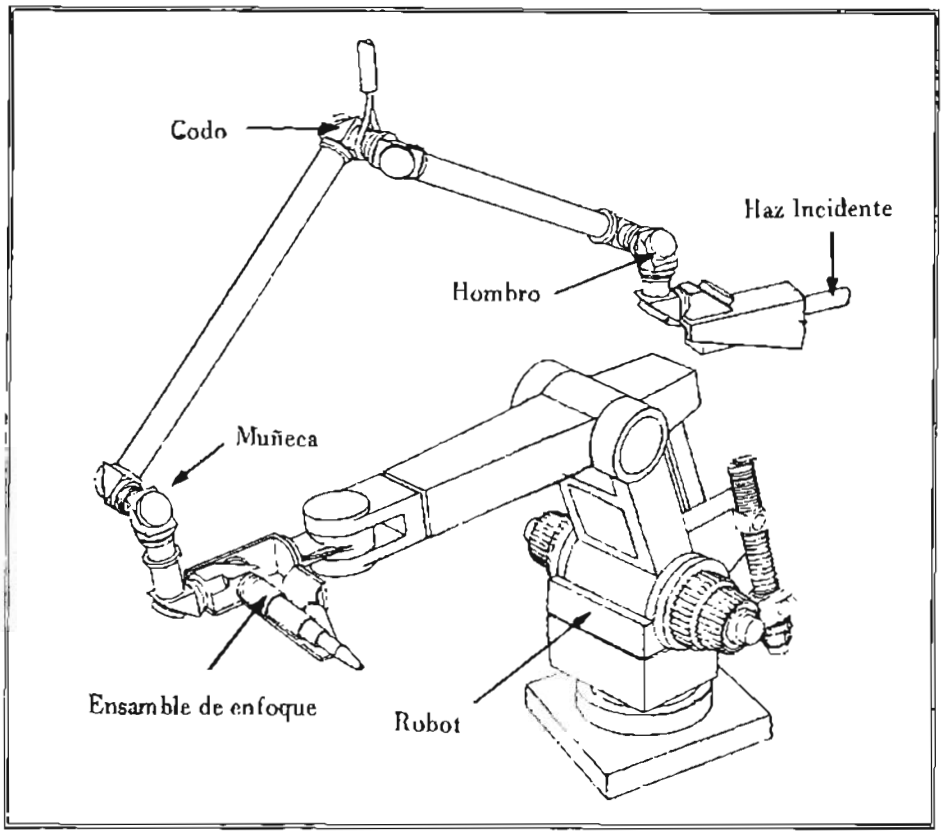



**Figura 1.** Una configuración típica de montaje en el piso.

Aunque cada tecnología de láseres tiene sus propias ventajas, la aplicación proyectada dictará la tecnología y el rango de potencia requeridos.

**La selección del robot**

La reciente proliferación de fabricantes de robots ha dado lugar a muchas opciones para el comprador potencial. Sin embargo, los factores más importantes que hay que considerar en un robot son: la velocidad de procesado, la exactitud y precisión requeridas, la envolvente espacial y la programación disponible.

La mayoría de los sistemas diseñados recientemente utilizan robots de seis ejes capaces de manipular cargas de hasta 75 libras. Para explotar completamente las potencialidades del láser, el robot debe ser capaz de moverse varios cientos de pulgadas por minuto -una consideración importante cuando se quiere aplicarlo para cortar plásticos o materiales compuestos. Dado que la envolvente de operación está determinada por el robot, la habilidad para alcanzar todas las porciones de la pieza o conjunto de piezas que se está trabajando es crítica.

El brazo articulado, es un dispositivo optomecánico que dirige el haz hacia cualquier punto del espacio tridimensional contenido dentro de la envolvente espacial del sistema, mediante una serie de módulos de espejos que pueden rotar y de tubos ópticos que guían el haz hasta la cabeza de enfoque colocada en la muñeca o el brazo del robot.

Existen brazos articulados disponibles comercialmente que permiten trabajar con potencias hasta de 5000 W, tales como el que se usa en el Versa-Flex de 5 kW de Photon Source.

Dado que un brazo articulado puede tener hasta nueve espejos, la alineación se hace en las instalaciones del fabricante. La instalación en el lugar de aplicación se lleva a cabo asegurándose que el haz incidente del láser sea perpendicular y concéntrico con el primer espejo, lo que asegura la alineación del sistema completo. Todas las

secciones del sistema están selladas contra polvo y residuos mediante una presión de aire interna positiva que provee protección contra el polvo extrafino.

Cuando las tres componentes se han integrado, el sistema resultante puede ejecutar una gran variedad de aplicaciones al procesado de materiales. La figura 1, muestra una configuración en la que las articulaciones del brazo son análogas a las del brazo humano, con un mecanismo de soporte en el codo que reduce el peso sobre la garra del robot. Conforme el robot ejecuta el movimiento programado, guía el ensamble de enfoque y el haz del láser, hacia el lugar apropiado.

Los tres grados de libertad del hombro (lanzamiento, rotación sobre el eje vertical y rotación sobre un eje horizontal) se suplementan con un grado de libertad en el codo. Existen otros tres grados de libertad en la muñeca, en donde el haz se dirige hacia la cabeza de enfoque. El movimiento del brazo depende, en cierta medida, de la trayectoria, y se debe tener cuidado para evitar trabar una o más articulaciones durante patrones de movimiento complejos. Esto sucede la mayoría de las veces durante el modo de instrucción, cuando el sistema puede ser llevado lentamente de un punto a otro.

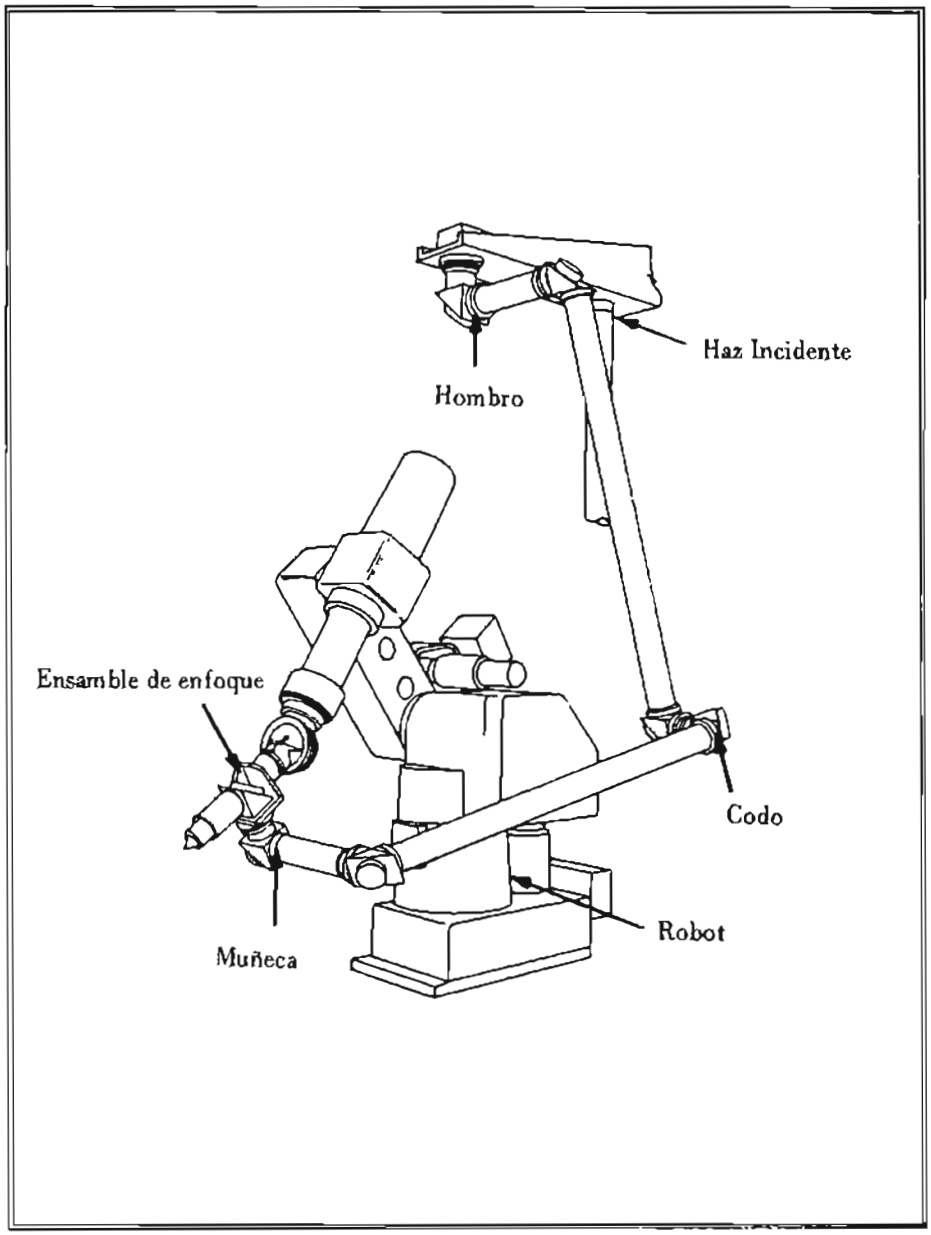



**Figura 2.** Robot láser con el brazo articulado montado por encima del robot.

La figura 2 muestra una configuración alterna, en la que el hombro está colocado encima del robot. La configuración óptima para alguna aplicación dada estará influenciada por la elección del láser, la pieza o conjunto de piezas que se van a procesar y las restricciones generales de espacio.

Los requisitos de precisión del procesado con láser están relacionados con la elección de la óptica, el nivel de potencia y el tipo de operación a ejecutar. En general, las lentes de distancia focal más larga tienen mayor profundidad de foco y, por tanto, mayor tolerancia a inconsistencias en la distancia entre la pieza de trabajo y la lente. El corte de metales requiere una precisión mayor que la soldadura o el corte de plásticos, porque tanto el punto focal como la distancia de la punta de corte son afectados por las variaciones dimensionales.

En la fotografía se muestra a un robot láser de Photon Source cortando acero de 1/8 de pulgada a razón de 170 pulgadas por minuto. El mismo sistema podría recortar piezas de lámina metálica para ensambles más grandes.

**Los beneficios del sistema**

Las principales ventajas del sistema de robot láser se derivan de las virtudes de sus dos componentes principales. El láser es capaz de procesar muchos materiales diferentes a altas velocidades. Los metales pueden ser soldados a altas velocidades con distorsión mínima de las piezas, mientras que las operaciones de corte producen típicamente incisiones de anchuras de 0.006 a 0.008 pulgadas, minimizando la pérdida de material. Además, dado que el láser vaporiza el material conforme corta, la dureza no presenta problemas; y no hay desgaste de herramientas.

El robot, junto con el brazo articulado, puede manipular el láser con gran precisión y velocidad y dentro de envolventes espaciales muy grandes. El sistema de robot láser elimina el trabajo directo y puede funcionar las 24 horas del día si se requiere. Si los materiales, el diseño, o la línea de producción completa se modifican, el sistema puede ser utilizado todavía sin grandes costos de adaptación ni grandes retrasos en la producción.

En resumen, la combinación de láseres y robots representa un paso grande en el avance de los sistemas de manufactura flexibles.

# BIOTECNOLOGIA DE ESTEROIDES

**Alicia Cea Bonilla***

## Panorama general de esteroides

Los esteroides, compuestos con una estructura básica de ciclopentanoperhidrofenantreno (figura 1), constituyen uno de los grupos más estudiados por su diversa actividad fisiológica, ya que incluyen una gran variedad de compuestos naturales como los esteroles, los ácidos biliares, la vitamina D, las hormonas sexuales y adrenocorticales, los glucósidos cardiotónicos, las sapogeninas y algunos alcaloides (1).

Los esteroles son 3 monohidroxiesteroides que poseen de 27 a 29 átomos de carbono. Todos los de origen natural presentan un grupo 3$\beta$ hidroxilo y uno o más dobles enlaces en las posiciones 5, 7 y 22. Pertenecen a este grupo algunos miembros interesantes como el colesterol, el sitosterol y estigmasterol (usados en la industria farmacéutica para la síntesis de hormonas esteroidales), el ergosterol (del que se obtiene vitamina $D_2$ por irradiación con luz solar o luz ultravioleta) y el lanosterol.

Los ácidos biliares son esteroides de 24 átomos de carbono, derivados del colesterol y que se vierten en el intestino delgado donde ayudan a la emulsificación y la absorción de los lípidos.

Se conoce como vitamina D a un grupo de sustancias liposolubles que se dividen en dos subgrupos: la vitamina $D_2$ o ergocalciferol y la vitamina $D_3$ o colecalciferol. Son compuestos de 27 o 28 átomos de carbono, con el anillo B del núcleo esteroidal abierto y que se obtienen por la irradiación con luz solar de ergosterol o del 7 dehidrocolesterol. Su función es regular la absorción, transporte y fijación del $Ca^{+2}$ en los huesos.

Los andrógenos son compuestos de 19 átomos de carbono con sustituyentes oxigenados en C-3 y C-17. Los principales andrógenos naturales son la androsterona, la dehidroepiandrosterona y la testosterona, que es la más activa de las tres. Su función es originar el desarrollo de los órganos sexuales masculinos o caracteres secundarios además de regular indirectamente la espermatogénesis.

Los estrógenos son las hormonas sexuales femeninas que, junto con la progesterona, regulan el ciclo sexual de los mamíferos hembras. Fueron los primeros esteroides aislados y se caracterizan químicamente por tener el anillo A del núcleo esteroidal aromático y 18 átomos de carbono. Los más importantes son la estrona, el estradiol y el estriol.

La corteza de las cápsulas suprarrenales produce tres tipos de hormonas esteroidales involucradas en el metabolismo del agua y electrolitos (mineralocorticoides), en el de los carbohidratos y proteínas (glucocorticoides) y con acción androgénica. En general, los corticosteroides son compuestos de 21 átomos de carbono, con cadenas laterales muy oxidadas, un grupo $\Delta^4$ 3 cetona y un grupo 20-21 cetólico ó 17, 20, 21 dehidroacetónico, además de una función oxigenada en C-11.

Los glucósidos cardiotónicos incluyen dos grupos: las cardenolidas, esteroides de 23 átomos de carbono que se encuentran como glucósidos en una serie de plantas como el *digitalis*, el lirio y el ranúnculo. Muchos de ellos presentan una poderosa actividad cardiotónica. El otro grupo es el de las bufadienolidas que son esteroides de 21 átomos de carbono con una cadena lateral doblemente insaturada, que se encuentran en plantas de la familia de la escila y en las glándulas venenosas de los sapos.

Las sapogeninas son esteroides de 27 átomos de carbono con una cadena lateral de tipo espirocetal y que ocurren naturalmente en forma de glucósidos en plantas. Los glucósidos (saponinas) son hidrolizadas por ácidos o enzimática-

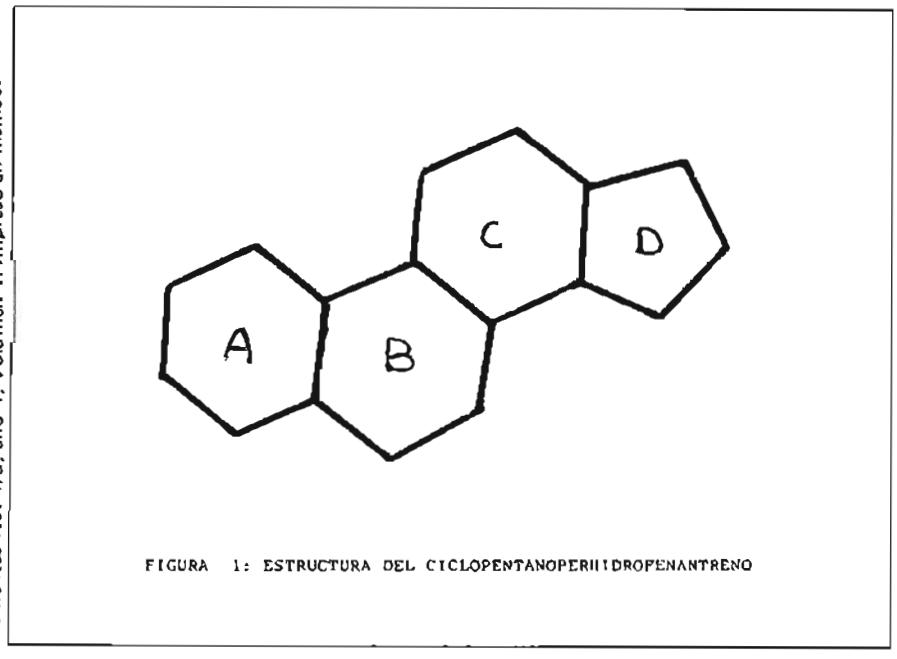



FIGURA 1: ESTRUCTURA DEL CICLOPENTANOPERHIDROFENANTRENO

* Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM.

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

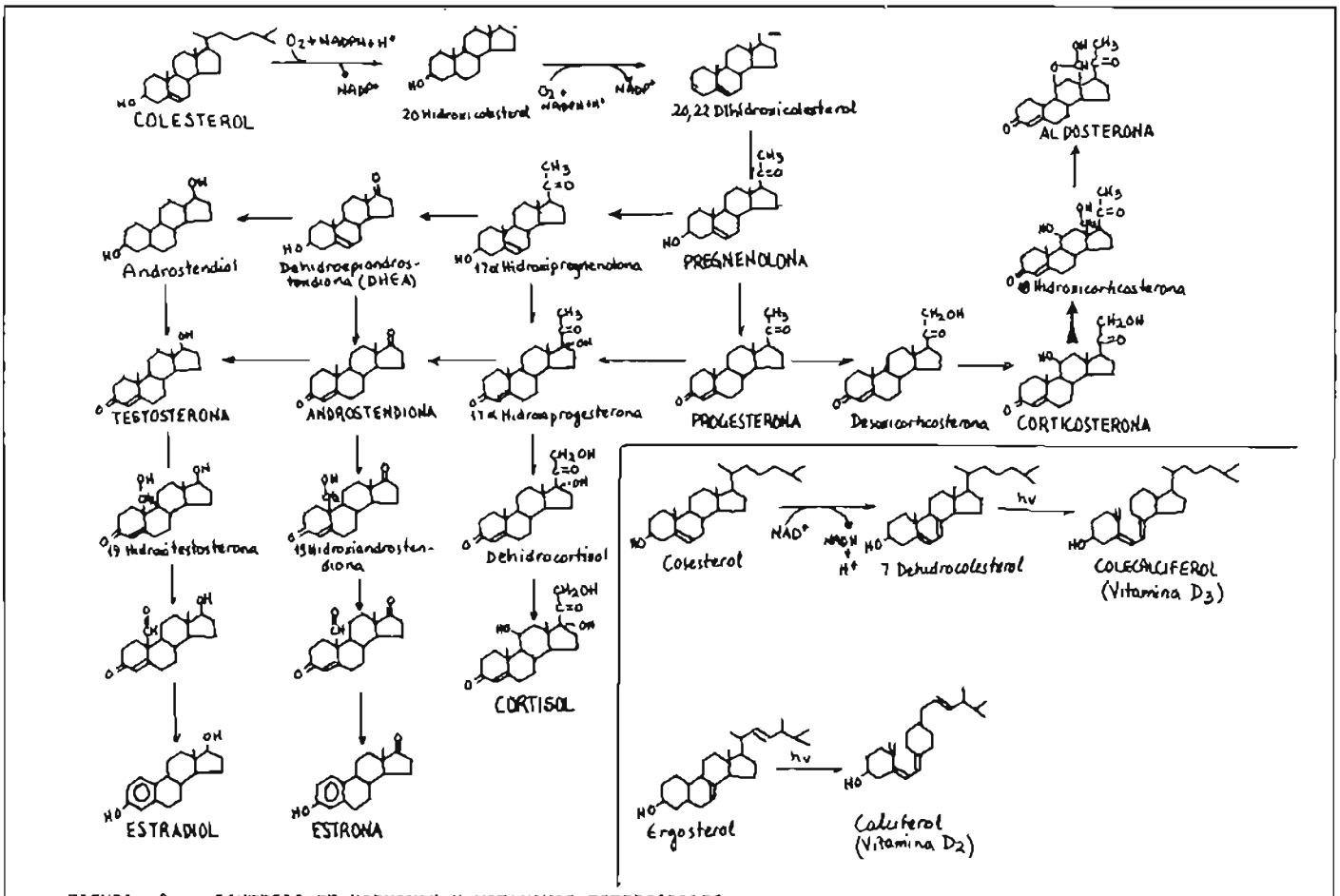



FIGURA 2. SINTESIS DE HORMONAS Y VITAMINAS ESTEROIDALES

mente para originar las sapogeninas libres y el azúcar. Dentro de las sapogeninas más importantes se encuentra la diosgenina (que es una de las más usadas materias primas para la síntesis química y/o microbiológica de hormonas esteroidales), la hecogenina y la sarsapogenina.

Dentro de los alcaloides esteroidales más conocidos se encuentran los presentes en las plantas del género *solanum*. Contienen 27 carbonos y son análogos nitrogenados de las sapogeninas.

### Mecanismo de acción de las hormonas esteroidales

En general, se sabe que las hormonas esteroidales afectan el metabolismo de las células blanco. Para poder ejercer su efecto, penetran a la célula y se asocian en el citoplasma con un receptor específico, formando un complejo hormona-receptor que migra al núcleo celular donde interacciona con el DNA de una manera específica e induce la transcripción de ciertos genes involucrados directamente en su acción en la célula blanco. De esta manera, el complejo hormona-receptor actua como un inductor que se une a un represor de ciertos genes o a una región específica en el cromosoma adecuado, que tiene funciones similares al operador de las procariotes. Con respecto al mecanismo a nivel genético de la acción de estas hormonas, no hay nada definitivo, sin embargo, se sabe que afectan el metabolismo de las células blanco, como es el caso de los corticosteroides.

Los glucocorticoides no solo están involucrados en la adaptación al *stress* sino que son inductores de las enzimas gluconeogénicas como la fosfoenolpiruvatocarboxicinasa, la tirosinoaminotransferasa y la triptofonapirrolasa, entre otras. Regulan la degradación de proteínas y de lípidos y disminuyen la síntesis *denovo* del DNA y el RNA. Sus miembros más importantes son el cortisol y su análogo sintético, la dexametasona, las que además se han utilizado como antiinflamatorios (pues reducen la reacción inflamatoria inicial, inhiben los mecanismos fagocitarios y defensivos así como la reacción inflamatoria tardía) en enfermedades reumáticas o alérgicas como la artritis reumatoide.

Los mineralocorticoides (aldosterona y desoxicorticosterona) tienen su efecto en la reabsorción del agua, del $Na^+$, $Cl^-$ y $HCO_3^-$ en los túbulos renales y regulan de esta manera el metabolismo del agua, el equilibrio electrolítico e indirectamente la presión sanguínea.

### Síntesis de las hormonas esteroidales

Las hormonas esteroidales se sintetizan en las células animales a partir de colesterol, el cual requiere ser degradado para convertirse en hormona esteroidal activa. En esta conversión son de especial interés las reacciones de hidroxilación llevadas a cabo por oxidasas de función mixta, que requieren $O_2$ y NADPH.

La primera etapa de la síntesis es la α-hidroxilación en el carbono 20 y después en el carbono 22, lo que prepara a

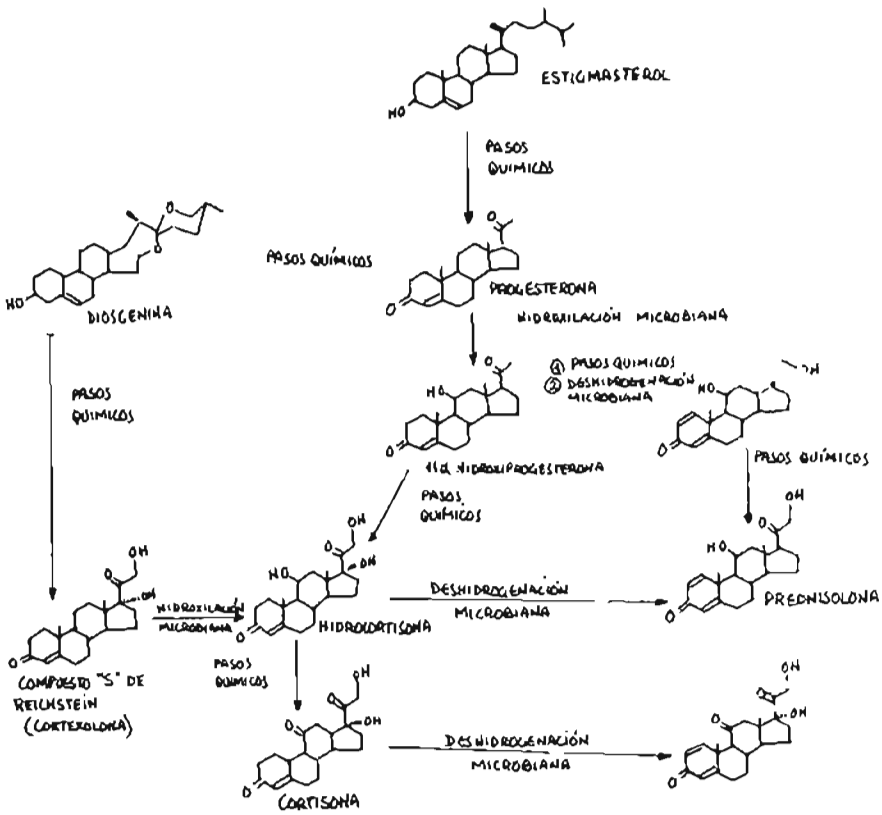



FIGURA 1. VIAS DE OBTENCION DE ADRENOCORTICOIDES A PARTIR DE DIOSGENINA Y ESTIGMASTEROL

la molécula para la acción de la desmolasa (una liasa) que elimina seis carbonos de la cadena lateral del colesterol y produce la pregnenolona (2). Esta conversión se ve estimulada por la hormona adrenocorticotrópica (ACTH), un polipéptido de 39 aminoácidos sintetizado por la hipófisis anterior, que estimula principalmente la formación de glucocorticoides y presenta una influencia básica en la síntesis de todas las hormonas esteroides. Su efecto básico en la corteza suprarrenal está mediado por el AMP cíclico, que estimula la síntesis de la desmolasa y provoca la transformación del colesterol en pregnenolona, el precursor de todas las hormonas esteroidales.

En los diferentes tejidos donde se sintetizan hormonas esteroides, la pregnenolona sufre una serie de transformaciones que la lleva a las hormonas activas.

En la corteza suprarrenal puede convertirse en glucocorticoides o mineralocorticoides por dos vías conocidas como de los derivados $\Delta^4$ y $\Delta^5$.

Para la síntesis de cortisol, la $\Delta^5$-pregnenolona se hidroxila en la posición 17$\alpha$ y luego por la acción de la 3$\beta$-ol deshidrogenasa y de la $\Delta^5 \rightarrow \Delta^4$ isomerasa, se convierte en 17$\alpha$-hidroxiprogesterona. Este compuesto sufre dos hidroxilaciones sucesivas en los carbonos 21 y 11 para producir la hidrocortisona (figura 2).

En la misma figura es posible ver la vía de síntesis de los mineralocorticoides, la que se inicia con la conversión de la $\Delta^5$ pregnenolona en progesterona, la que sufre tres hidroxilaciones subsecuentes en los carbonos 21, 11 y 18 y una deshidrogenación que da origen a la aldosterona (el mineralocorticoide más potente), la que toma la forma de acetal.

Los andrógenos se sintetizan por dos vías diferentes: a partir de la 17$\alpha$-hidroxipregnenolona (vía de los derivados $\Delta^5$) o de la 17$\alpha$-hidroxiprogesterona (vía de los derivados $\Delta^4$). Ambos precursores pierden dos átomos de carbono por acción de la 17-20 liasa y se convierten en la dehidroepiandrosterona (DHEA) y en $\Delta^4$ androstendiona, respectivamente. Este último compuesto se reduce por un sistema de 17-óxidorreductasa y se convierte en testosterona. Hay otra vía de síntesis de testosterona a partir de DHEA, la que se reduce por la 17-óxidorreductasa a androstendiol, el cual se oxida por la 3$\beta$-ol deshidrogenasa y se isomeriza por la $\Delta^5 \rightarrow \Delta^4$ isomerasa produciendo testosterona.

Los estrógenos se sintetizan a partir de androstendiona y testosterona en el ovario, por la acción de la 19 hidroxilasa, por una deshidrogenación no catalizada enzimáticamente y por una aromatasa, produciendo estrona y estradiol, respectivamente.

**Bioconversiones**

De lo expresado anteriormente se puede deducir que los esteroides juegan un papel muy importante en el mantenimiento de la homeostasis y su deficiencia repercute seriamente en las funciones del

organismo. Por este motivo es necesario, desde el punto de vista farmacológico, buscar formas de obtener estas hormonas y utilizarlas en el tratamiento de sus deficiencias. Además, algunas de ellas presentan otros efectos interesantes desde el punto de vista terapéutico, como es el caso de la cortisona en el tratamiento de enfermedades reumáticas y alérgicas.

Una de las formas de obtención en la industria farmacéutica es la síntesis total de las hormonas, en la que algunos de los pasos son muy críticos, pues los compuestos biológicamente activos son estereoespecíficos y en las reacciones de síntesis química se obtienen mezclas, que bajan los rendimientos de hormona activa, y aumentan sus costos.

Es por este motivo que se han buscado alternativas a este proceso, siendo una de las más interesantes la bioconversión de las moléculas esteroidales de las plantas.

Las bioconversiones o transformaciones biológicas consisten en la conversión de un compuesto en otro estructuralmente relacionado por medio de las enzimas de una célula. Estos procesos presentan una serie de ventajas sobre las reacciones químicas, entre las que cabe destacar:

a) Transcurren a temperatura ambiente y en condiciones más suaves.

b) Emplean agua como disolvente.

c) Son altamente específicas.

Entre las bioconversiones más exitosas se encuentra la síntesis de hormonas esteroidales.

Desde el principio de los años treinta, E. C. Kendall y T. Reichstein aislaron la cortisona y una década después, P. S. Hench y E. C. Vendal demostraron que la administración de cortisona aliviaba el dolor de pacientes con artritis reumatoide, lo que motivó su gran demanda. Se desarrollaron métodos químicos que requerían hasta 37 pasos y algunos de ellos en condiciones extremas; sobre todo era especialmente crítica la introducción del oxígeno en la posición 11, del que depende la actividad fisiológica de la cortisona.

Este problema pudo resolverse cuando en 1952, D. H. Peterson y H. C. Murray descubrieron que una cepa de *rhizopus arrhizus* introducía un grupo hidroxilo en la posición 11 de la progesterona, que es un intermediario temprano de la cortisona. El uso de microorganismos redujo los pasos de la síntesis de 37 a 11 y esto se tradujo en una disminución de los costos de producción (de 200 a 6 dólares por gramo.)

Desde entonces se han desarrollado una serie de procesos que utilizan los microorganismos en la síntesis industrial de esteroides, entre los que incluyen la cortisona, la hidrocortisona, la prednisona, la dexametasona, la testosterona, el estradiol, el metabolito activo de la vitamina $D_3$ (1α,25 dihidroxicolecalciferol) y el antidiurético espironolactona.

Las materias primas de todos ellos son los esteroles, cuyas fuentes más comunes son los desechos de la producción del aceite de soya (ricos en estigmasterol y sitosterol), y las raíces del barbasco mexicano (*dioscorea composita*) que contiene diosgenina.

El primer paso en la producción de esteroides a partir de esteroles vegetales es la degradación de la cadena lateral del esterol, la cual es llevada a cabo por algunas microbacterias que usan los esteroles como fuente de carbono y energía (figura 3).

La identificación de nuevos usos de los esteroides (como anticonceptivos, en el tratamiento de insuficiencias hormonales, de enfermedades de la piel, en inflamación y alergias) han aumentado su demanda y el desarrollo de procesos biotecnológicos (en los que se usa la maquinaria bioquímica de los microorganismos) que puedan satisfacer esa demanda (3).

En esta línea se desarrollan en México procesos dirigidos a la obtención biotecnológica de diosgenina por la fermentación del barbasco.

La diosgenina (20α,22a,25-D-espiros-5en-3β-ol) es un compuesto muy importante en la industria farmacéutica, ya que es la materia prima predilecta para la síntesis química y/o microbiológica de hormonas y vitaminas esteroidales.

Químicamente pertenece al grupo de las sapogeninas, esteroides de 27 carbonos con una cadena lateral de tipo espirostano, la que no se encuentra en ninguna otra clase de productos naturales. Consiste en un anillo de cinco miembros (E) y otro de seis (F) ambos heterocíclicos. Los compuestos que presentan el anillo F abierto se conocen como furostanos.

Fue aislada por primera vez en 1936, a partir de *Dioscorea tokoro* y R.E. Marker degradó su cadena lateral en 1940 para obtener progesterona y testosterona. Debido a su gran utilidad en la síntesis de compuestos farmacológicamente activos, se le ha buscado desde entonces en diferentes tipos de vegetales.

Se encuentra en forma natural en una gran variedad de plantas, entre las que pueden mencionarse magueyes (género *agave*), izotes (género *yuca*) y saimandoca (*samueke carnerosana*). Sin embargo, su principal fuente de obtención, desde hace 35 años, es el barbasco mexicano (*dioscorea composita hemsl*) ya que la diosgenina constituye del 3.5 al 5% del peso seco de la planta, y su cultivo es fácil y económico.

El barbasco es una planta que pertenece a la familia de las *dioscoreas*, arbustos trepadores que parten de grandes raíces tuberosas. Estos rizomas desecados constituyen la parte que se usa para la extracción de las saponinas, ya que las demás partes de la planta (tallo, hojas, flores y semillas) las contienen en pequeñas cantidades (4). En general se sabe que la planta está compuesta de resinas, almidón, celulosa, oxalato de calcio y saponinas.

La diosgenina no se encuentra libre en la planta sino en forma de heterósidos, compuestos derivados de las formas cíclicas de los azúcares, en las que el hidrógeno del oxhidrilo hemiacetálico es reemplazado por un grupo arilo o alquilo, formando un nuevo enlace acetal. Estos compuestos reciben el nombre genérico de glucósidos y están formados por dos clases de moléculas diferentes: un azúcar o radical "heterosídico" y una fracción de diversa naturaleza llamada "aglucón", que va desde ácidos grasos hasta compuestos aromáticos.

Gracias a los estudios de Marker, Kawasaki y Espejo (5, 6, 7, 8 y 9) se ha determinado la naturaleza y características de las saponinas del barbasco y se ha determinado que contiene una mezcla compleja de las mismas, siendo las más abundantes la Dioscina (Diosgenina-(2, 4-bis-α-L-ramnopiranosil)β-D-glucopiranósido Trillina (Diosgenina-3-β-D-glucopiranósido), Prosapogenina A (Diosgenina-3-O-(α-L-ramnopiranosil 1→2)-β-D-glucopiranósido y la Prosapogenina B (Diosgenina-3-O-(α-L-ramnopiranosil 1→4)-β-D-glucopiranósido (figura 4).

Como se observa en todas las estructuras, el azúcar está unido al núcleo esteroidal por un enlace β glucosídico, el cual se rompe tradicionalmente por medio de una hidrólisis ácida (5) empleando ácidos minerales concentrados y altas temperaturas. Una alternativa a este pro-

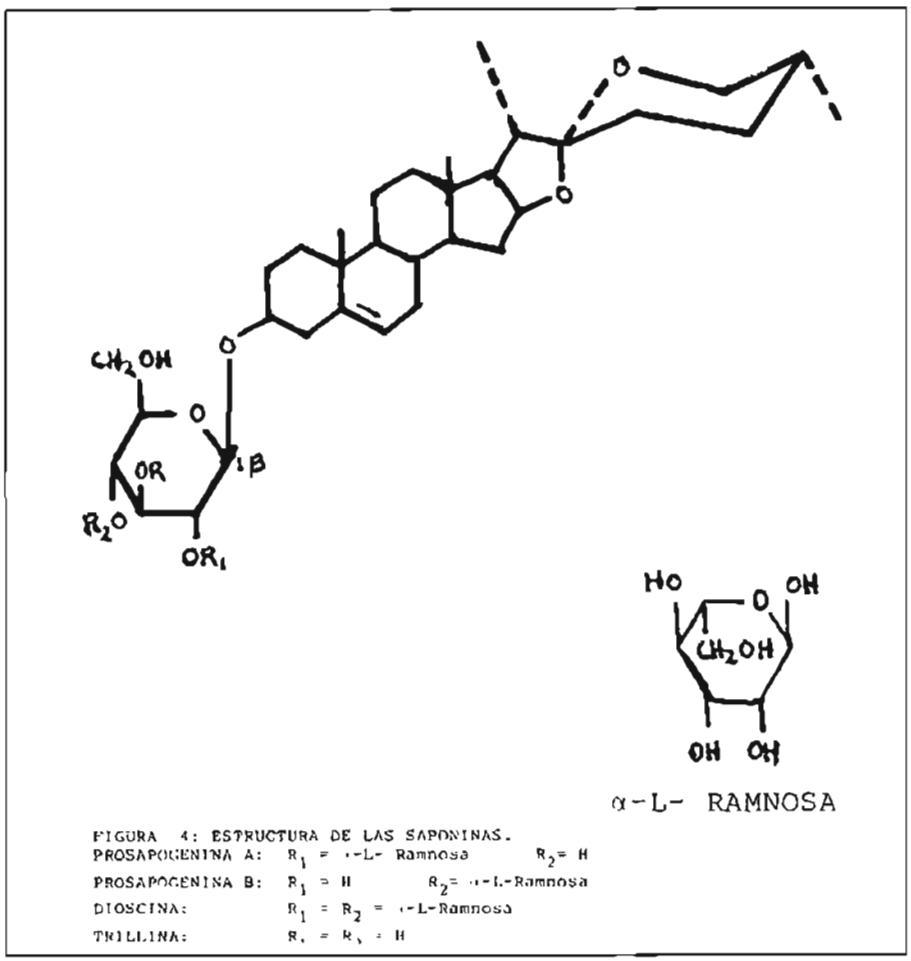



FIGURA 4: ESTRUCTURA DE LAS SAPONINAS.
PROSAPOGENINA A: $R_1$ = α-L- Ramnosa $R_2$ = H
PROSAPOGENINA B: $R_1$ = H $R_2$ = α-L-Ramnosa
DIOSCINA: $R_1 = R_2$ = α-L-Ramnosa
TRILLINA: $R_1 = R_2$ = H

ceso es el uso de microorganismos o sus enzimas para llevar a cabo la hidrólisis en condiciones suaves.

Ya en 1954, Krider y colaboradores (10) reportaron que era posible la hidrólisis de los glucósidos de 5α,22a espirostanos usando extractos acuosos de las plantas que los contenían. El mismo año, el mismo grupo de trabajo reportó que había hidrólisis de las saponinas extraídas del *agave cerulata* cuando se ponían a incubar 96 horas a 25°C con un cultivo activo de algunas cepas de *aspergillus* y *penicillium*, y mencionan que las enzimas que presentan actividad saponinolítica son inducibles e insensibles a represión por azúcares (11). En 1955, Rothrock y colaboradores (12) probaron que algunos hongos de los géneros *aspergillus, penicillium y fusarium* liberaban entre el 90 y el 100% de la diosgenina esperada por la hidrólisis ácida de *dioscorea barbasco amarillo*. En 1975, Hermann y Repke (13) reportaron la ruptura selectiva de glucósidos de cardiotónicos usando la β glucosidasa $A_3$ de *aspergillus wentii* y en 1977, Rumyantseva (14) reportó que la β glucosidasa de *aspergillus niger* juega un papel importante en la hidrólisis de glucósidos esteroideos. Además hay un reporte de Mellor y Layne, en 1974, sobre la purificación de una β glucosidasa esteroidal de hígado de conejo (15) que actúa específicamente sobre los 3 β-D-glucósidos de estrona, 17α y 17β estradiol.

Debido a que hasta 1974, México había sido el principal productor de diosgenina a nivel mundial y que a partir de entonces, debido a la falta de control sobre el barbasco, las compañías farmacéuticas buscaron otras fuentes de esteroides, se hizo necesario buscar procesos que permitieran a la diosgenina recuperar en parte su lugar en la industria de los esteroides, se ha desarrollado en el Instituto de Investigaciones Biomédicas un proyecto que mira a la obtención fermentativa de la diosgenina del barbasco. El proyecto se inició desde el aislamiento de microorganismos a partir de barbasco, los cuales liberaran la diosgenina de manera competitiva con la hidrólisis ácida y cuyas enzimas extracelulares sean utilizadas para liberar la diosgenina residual en el barbasco fermentado.

De los microorganismos aislados de barbasco, se seleccionó un hongo filamentoso que libera en un medio sencillo (agua, barbasco, sulfato de amonio y Tween 80) un 2.35% de diosgenina y que hidroliza todas las saponinas del barbasco. Actualmente se hacen estudios con el fin de optimizar las condiciones de hidrólisis, así como la utilización racional de las enzimas extracelulares para recuperar la diosgenina total presente en el barbasco y poder, de esta manera, competir con las fuentes alternas de esteroides y recuperar el mercado de la diosgenina (16, 17, 18).

## Bibliografía


1. Klyne, W., *Química de los esteroides*, Compañía Editorial Continental, Nueva York (1970).
2. Malacara, J. M., M. García Viveros, C. Valverde, *Fundamentos de endocrinología clínica*, La Prensa Médica Mexicana, 3a. Edición (1980), México.
3. Aharonowitz, Y. & G. Cohen, *Investigación y ciencia*, Versión en español de Sci. Am. 62, Nov. 1981.
4. *El barbasco mexicano, condiciones y perspectivas para su aprovechamiento*, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, (1981).
5. Marker, R. E., D. L. Turner, R. B. Warner & P. R. Ulshafer, *J. Am. Chem. Soc.* 63, 772 (1940).
6. Marker, R. E., D. L. Turner, R. B. Warner & P. R. Ulshafer, *J. Am. Chem. Soc.* 63, 774 (1940).
7. Marker, R. E., D. L. Turner & P. R. Ulshafer, *J. Am. Chem. Soc.* 64, 1655 (1942).
8. Kawasaki, T., T. Yamauchi, *Chem. Pharm. Bull.*, Japan 16, 1070 (1968).
9. Espejo, O., J. Campos-Llavot, H. Jung, F. Giral, *Phytochem.* 21, 413 (1982).
10. Krider, M. M., M. E. Wall, *J. Am. Chem. Soc.* 76, 1938 (1954).
11. Krider, M. M., T. C. Cordon & M. E. Wall, *J. Am. Chem. Soc.* 76, 3515 (1954).
12. Rothrock, J. W., *Arch. Biochem. Biophys.* 57, 151 (1955).
13. Hermann, L., K. R. H. Repke, *Acta microbiol., Acad. Sic.* 22, 481 (1975).
14. Rumyantseva, G.N., K. A. Kalugants, D.A. Volosheva, M. A. Radionova, S. S. Shain, *Prikl. Biokhem. Mikrobiol.* 13, 235 (1977).
15. Mellor, J. D. & S. Layne, *J. Biol. Chem.* 249, 361 (1974).
16. García Correa, O., Tesis para obtener el título de Q.F.B., FES Cuautitlán, UNAM, México, D.F. (1985).
17. González, P., A. Cea, A. Gilbón, J. E. Herz & C. Huitrón, *Biotecnología de enzimas*, Ed. C. Huitrón, p. 309, México, D.F. (1984).
18. Cea Bonilla, A., Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias Químicas, (Bioquímica), Fac. Química, UNAM, México (1985).

# EL PRINCIPIO DE INERCIA EN EL SIGLO XVII la PARTE

**Elia Nathan Bravo***

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

## Introducción

El principio de inercia parece ser un tanto trivial y evidente. En efecto, enuncia que un cuerpo mantiene su estado de reposo o movimiento uniforme rectilíneo, a menos que una causa externa lo cambie. Sin embargo, este principio sólo se estableció hasta el siglo XVII, y requirió un gran esfuerzo por parte de varios autores, principalmente Galileo, Descartes y Newton. Lo que intentamos en este artículo es examinar la historia del establecimiento de este principio. Para ello, hay que tomar en cuenta dos aspectos: a) el contenido del principio (al cual nos referimos utilizando los términos "ley de inercia" o "concepto de inercia"); y b) el status, o sea, el hecho de que el principio de inercia es un principio o fundamento de la física clásica. Dado que usualmente en la literatura historiográfica el aspecto b) no se toma en cuenta, lo tomaremos como hilo conductor en el desarrollo de este artículo. También tomaremos en cuenta el aspecto a); consideramos que para desarrollarlo es crucial examinar cómo funciona la ley de inercia dentro de las teorías de Galileo, Descartes y Newton. Las posiciones metodológicas desde las cuales enfocamos los aspectos a) y b) nos llevarán a descubrir que el principio de inercia tuvo diversos sentidos y cuáles fueron éstos, por ejemplo, descubriremos que la historia de este principio no fue lineal o acumulativa.

* Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM.

Las referencias bibliográficas aparecen al final del artículo.

Para desarrollar el aspecto a) lo que intentaremos es explicar y justificar dos afirmaciones que frecuentemente se hacen respecto del principio de inercia. La primera es la tesis de que este principio es fundamento de la mecánica clásica ([11], p. 196; [15], p. 2; [19], p. 50; [24], p. 3). La segunda es la tesis —*asociada* a la primera— de que la obtención del principio de inercia fue uno de los aspectos fundamentales de la Revolución Científica, o sea, de la instauración de la mecánica clásica en sustitución de la física peripatética ([5], p. 125; [10], p. 240; [24], p. 9). Para especificar aún más esta segunda tesis utilizaremos la afirmación de Koyré de que el principio de inercia expresa una nueva concepción del movimiento y de la realidad física ([13], p. 131; y también [28], p. 19).

Koyré considera que la Revolución Científica del siglo XVII no consistió en un mero cambio de teorías, sino en un cambio metafísico, un cambio en la manera de concebir la realidad, y que fue este cambio el que permitió el surgimiento de un nuevo tipo de teorías físicas (matematizadas y mecanicistas); y en particular, lo que permitió el surgimiento del principio de inercia ([13], p. 3). Este cambio metafísico, según Koyré, consistió en la sustitución del cosmos por un universo infinito (o por la geometrización del espacio, es decir, la concepción del espacio de acuerdo con la geometría euclidiana).

La idea aristotélica del universo como cosmos es la idea de un sistema *ordenado* de objetos, donde cada objeto tiene su propia naturaleza, y donde el arreglo espacial de los objetos expresa dicha naturaleza ([13], p. 138). Para la concepción del cosmos hay cuatro ideas claves: (i) hay lugares naturales; (ii) los objetos tienen naturalezas o esencias que corresponden a ciertos lugares naturales (por ejemplo, el lugar natural del elemento tierra es el centro del universo, y estando allí la tierra actualiza o realiza su naturaleza); (iii) el movimiento es o natural (si lleva al cuerpo a su lugar natural y por tanto, es causado por la naturaleza del objeto), o violento (si no lleva al objeto a su lugar natural, o lo saca de éste y por ello mismo, es causado por un motor externo constante); (iv) el movimiento es un proceso que le ocurre a un objeto, mediante el cual llega o no a actualizar su naturaleza, según llegue o no a su lugar natural, y dado que es un proceso, requiere siempre una causa que lo genere y mantenga. En cambio, para la otra concepción de la realidad, la del universo infinito, el espacio es infinito ([15], p. 140) y vacío ([15], p. 7), por lo cual ya no hay ni lugares espaciales (centro y fuera del centro) ni direcciones (arriba, abajo, etc.). De esta idea clave se siguen otras igualmente importantes: 1) los objetos ya no necesitan ser concebidos como entidades caracterizadas por una esencia o naturaleza, dado que ya no hay lugares especiales y naturales, en los cuales actualicen su esencia, sino que los objetos llegan a ser concebidos como mera materia inerte, como cuerpos; 2) el movimiento ya no puede ser clasificado como natural o violento dado que no hay lugares naturales; y 3) el movimiento deja de ser concebido como un proceso de actualización de la esencia, que afecta al objeto, y pasa a ser concebido como mero cambio de relaciones espaciales, que no afectan al cuerpo, que por ello se puede conservar.

En términos generales, nos suscribimos a la tesis de Koyré de que primero, la Revolución Científica fue un cambio en la concepción de la realidad y segundo el principio de inercia es la base y la expresión de esta nueva concepción de la realidad (en particular, del movimiento) ([13], p. 131). Aclaremos estas dos tesis. Con respecto a la segunda, lo que sostendremos en este artículo es que, si bien lo que le permitió a Descartes considerar a la ley de inercia como un principio, fue su nueva concepción (mecanicista) de la realidad material; también es verdad que una de las razones por las cuales sostiene esta nueva concepción, es que el principio de inercia requiere, para ser aceptable, concebir a la materia como pasiva y al movimiento como mero cambio de relaciones espaciales, (aunque Descartes también tuvo otras razones para desarrollar esta nueva concepción de la realidad material, como en su intento de legitimar la matematización de la ciencia natural). Así pues, el principio de inercia es fundamento de la física, entre otras cosas, porque implica o presupone una concepción de la realidad. Con respecto a la primera, notemos que Koyré considera que Galileo obtuvo parcialmente la ley de inercia, pero que no logró por completo romper con la metafísica del cosmos ([15], p. 157); es decir, históricamente no surgió primero una nueva concepción de la realidad y después la ley de inercia. Por ello, el sostener que la Revolución Científica fue una revolución metafísica, no significa establecer una tesis cronológica, al efecto de que primero hubo un cambio en la filosofía y que después éste generó un cambio en la ciencia; lo que significa

meramente, es que el cambio más profundo se localiza a nivel de la concepción general de la realidad, que implica una teoría, no a nivel de las teorías específicas, dado que puede haber varias teorías específicas que comparten la misma concepción general de la realidad. Aunque es precisamente porque la revolución se sitúa en el campo metafísico, por lo que en cierto momento histórico (por ejemplo Descartes), una aclaración a nivel metafísico puede servir de guía para una aclaración a nivel de la teoría física.

## I

En esta sección examinaremos la ley de inercia galileana. Nuestro objetivo fundamental será mostrar las razones conceptuales y físicas por las cuales Galileo postuló una ley de inercia. También demostraremos que Galileo no logró postular la ley de inercia como un principio porque no logró romper con el esquema metafísico aristotélico.

Citaremos extensamente el primer texto "Cartas acerca de las manchas solares" (1613), en que Galileo enuncia la ley de inercia, ya que en él aparecen los principales significados de esta ley, que desarrolló a través de toda su obra. Galileo busca probar aquí que la rotación de las manchas solares alrededor del sol sólo puede deberse a la rotación del sol y no a la rotación del medio que circunda al sol, ya que el medio comunicaría su rotación al sol. Para probar que el medio comunicaría su rotación al sol, Galileo introduce el concepto de inercia de la siguiente manera:

> Pues me parece haber observado que los cuerpos físicos tienen una inclinación física para algunos movimientos (como los cuerpos pesados hacia abajo), el cual movimiento lo ejercitan a través de una propiedad intrínseca y sin tener necesidad alguna de un motor externo particular, y siempre y cuando no estén impedidos por algún obstáculo. A algún otro movimiento le tienen repugnancia (como los mismos cuerpos pesados al movimiento hacia arriba), y por tanto nunca se mueven de esa manera, a menos que sean arrojados violentamente por un motor externo. Finalmente, con respecto a ciertos movimientos son indiferentes, como lo son estos mismos cuerpos pesados al movimiento horizontal, para el cual no tienen ninguna inclinación (ya que no es hacia el centro de la tierra) ni repugnancia (ya que no los lleva fuera de ese centro). Y por ende, eliminados todos los impedimentos externos, un cuerpo pesado en una esfera concéntrica con la tierra, será indiferente al descanso y a los movimientos hacia cualquier parte del horizonte. Y se mantendrá en ese estado en el que alguna vez fue puesto; esto es, si fue puesto en el estado de descanso, lo conservará; y si fue puesto en movimiento hacia el oeste (por ejemplo), se mantendrá en ese movimiento. Así por ejemplo, un barco, habiendo recibido algún ímpetu a través del mar tranquilo se moverá continuamente alrededor de nuestro globo sin pararse jamás; y si fue puesto en descanso permanecerá perpetuamente en descanso, si en el primer caso todos los impedimentos externos pudieran ser eliminados, y en el segundo caso, no se añadiera ninguna causa externa de movimiento ([12]), p. 113-4).

Destaquemos varios puntos:

I. Galileo utiliza de distinción aristotélica entre movimiento natural (el de caída de un objeto pesado), y movimiento violento (los cuerpos pesados que se mueven hacia arriba), pero considera que esta distinción no cubre todos los casos. Hay un tercer tipo de movimiento, llamémosle *indiferente* o "inicial", que se caracteriza por el hecho de ser *no-causado*. Por ser los cuerpos indiferentes al movimiento inercial (horizontal) dado que no tienen una esencia o naturaleza que les haga tener una propensión o repugnancia a éste, no se requiere de una causa interna (como en el caso del movimiento natural, el cual es causado por la esencia del cuerpo) ni de una causa externa (como en el movimiento violento, el cual por ir en contra de la esencia del cuerpo, requiere que la causa sea externa) para que ocurra el movimiento. Notemos que la idea de no-causación no se refiere al comienzo del movimiento (ciertamente Galileo sostiene que para que un cuerpo en reposo comience a moverse se requiere de una causa), sino a su conservación: una vez adquirido un movimiento, éste se mantiene sin requerir de ninguna causa. Cabe notar aquí que la afirmación de que hay un tipo de movimiento que es no-causado, *de hecho* constituye un rompimiento fundamental con la tradición aristotélica (incluyendo la teoría del ímpetu), ya que para ésta tanto el origen como la conservación de cualquier movimiento, requieren necesariamente de una causa, por ser el movimiento un proceso de actualización de la potencia (movimiento natural) o de impedimento de que se actualice la potencia (movimiento violento). Es por ello que la idea de que hay un tipo de *movimiento*, el inercial, que es *no-causado*, constituye uno de los significados centrales del concepto de inercia (aunque en Galileo esta idea aparece más bien como movimiento al cual el cuerpo es indiferente, que como movimiento no-causado ([13], p. 147; [14], p. 181). En el *Diálogo* Galileo también introduce al movimiento inercial como un tercer tipo de movimiento, que es no-causado. Apelando a un experimento imaginario con planos inclinados, sostiene que una bola que rueda hacia abajo en un plano inclinado tendrá un movimiento acelerado por la graverdad, y si esa bola sube por un plano inclinado hacia arriba, su movimiento será desacelerado por la gravedad; pero si la bola que baja del plano inclinado continuase por un plano horizontal que circunda a la Tierra, entonces no habría ninguna causa que acelerara o desacelerara su movimiento: la bola sería indiferente a este movimiento, dado que ni la aleja ni la acerca al centro de la Tierra, y por èllo la bola conservaría el movimiento uniforme perpetuamente (si el plano horizontal fuese ilimitado) ([13] pp. 146-8; cf. pp. 25-8).

II. El movimiento inercial es un movimiento *uniforme* (implícito en este texto, pero no en otros como [13], pp. 31-2, 157, 187; [14], pp. 215, 244) y horizontal, esto es, *circular* (que recorre una circunferencia cuyo centro e el centro de la Tierra) ([13], pp. 31-2, 148; [14], p. 181). La razón por la cual el movimiento inercial tiene que ser circular es porque sólo en un plano que en todos sus puntos es equidistante al centro, un objeto podrá ser indiferente al movimiento: la gravedad o peso, que es la única causa (interna) del movimiento que Galileo toma en cuenta, no es operativa en un plano que no lleva ni hacia el centro ni fuera del centro al objeto. Recordemos que para la física clásica el movimiento inercial es rectilíneo, por lo cual casi todos los historiadores consideran que Galileo no obtuvo el principio de inercia (por ejemplo [15], p. 175; [26], p. 64).

III. El movimiento inercial se *mantiene* "perpetuamente" (cf. también [13], pp. 32, 147; [14], p. 215), siempre y cuando no haya una causa externa que lo altere. Eso se sigue del hecho de que el movimiento inercial (uniforme y horizontal) es no-causado.

IV. El movimiento inercial es un movimiento *idealizado*, o sea, el movimiento uniforme y horizontal continuaría perpetuamente si es que no hubiese ningún impedimento externo (tal como fricción, resistencia del aire, etc.) que lo alterase. En los casos concretos o situaciones reales siempre hay algún impedimento externo, aunque sea menor, por lo cual un movimiento inercial puro es un caso idealizado ([28], p. 21). Sin embargo, como veremos más adelante, a pesar de ser un caso idealizado, puede ser utilizado para describir movimientos concretos o reales en tanto éstos se pueden aproximar al caso idealizado (cuando los "impedimentos externos" son mínimos), o de manera aún más importante por ser la más frecuente, por ser analizables los movimientos concretos en movimientos más simples, uno de los cuales es el movimiento inercial.

V. El *movimiento inercial* y el *reposo* tienen el *mismo estatus ontológico* o sea, son equivalentes en tanto: (i) ambos son no-causados, o debidos a la indiferencia del cuerpo a estar en cualquiera de esos dos estados; y (ii) precisamente por ser no-causados, el cuerpo conservará perpetuamente su estado en reposo o movimiento uniforme horizontal, a menos que alguna causa lo altere. Con esta idea, Galileo implícitamente rompe con un presupuesto básico de la física peripatética, con el presupuesto de que el movimiento (de cualquier tipo) tiene un *estatus* ontológico distinto al reposo, dado que el movimiento es un proceso y el descanso es un estado que no requiere de ninguna causa para mantenerse. En cambio, para Galileo, el movimiento uniforme y horizontal deja de ser un proceso y pasa a ser un estado igual que el reposo.

El texto de Galileo arriba citado continúa de la siguiente manera:

> Y el sol, un cuerpo de forma esférica, que se encuentra suspendido y balanceado sobre su propio centro, no puede evitar seguir el movimiento de su medio circundante, ya que no tiene ninguna repugnancia intrínseca o impedimiento externo a la rotación. No puede tener una repugnancia interna, porque por medio de dicha rotación no es transportado fuera de su lugar, ni sus partes se permutan entre ellas. Su orden o arreglo natural no se cambia de ninguna manera, de forma tal que por lo que respecta a la constitución de sus partes, tal movimiento es como si no existiese. Con respecto a los impedimentos externos, no parece ser el caso que un obstáculo pueda impedir sin estar en contacto, excepto tal vez el poder magnético; y en este caso, todo lo que está en contacto con el sol es su medio, el cual no sólo no impide el movimiento que buscamos atribuirle, sino que él mismo tiene este movimiento ([12], p. 114).

Respecto a este texto, que tiene por objeto probar que el movimiento de las manchas solares se debe a la rotación del sol y no a la del medio circundante, destaquemos los siguientes puntos:

VI. Galileo va a aplicar la idea de movimiento inercial, que desarrolló en la primer parte del texto citado, al caso del sol mediante dos pasos: (i) el sol es indiferente a la rotación, y por tanto, podría conservar perpetuamente un movimiento uniforme y circular, y (ii) la nueva idea de que en un *sistema físico* en que los objetos que lo componen son indiferentes al movimiento inercial, si una parte tiene movimiento inercial (el medio circundante) entonces las otras partes (el sol y sus partes) compartirán o *participarán* de este movimiento. Como veremos Galileo aplicó básicamente el concepto de inercia a sistemas o conjuntos de cuerpos, y no tanto, a un cuerpo aislado.

VII. El movimiento inercial no es un proceso (como sostenía Aristóteles), sino que es "como si existiese", esto es, es como el reposo, dado que *no afecta al cuerpo*. El movimiento inercial no es un proceso, sino un estado. Un sistema de cuerpos o partes no es afectado por el movimiento inercial en el sentido de que las relaciones espaciales que guardan entre sí las partes no se alteran, y esto se debe a que todas las partes comparten el movimiento inercial. Un cuerpo sólo, según Galileo, tampoco es afectado por el movimiento inercial porque este movimiento no lo lleva ni hacia el centro ni hacia afuera del centro (éstos últimos movimientos sí afectan al cuerpo porque el lugar natural de los cuerpos pesados —y todos los cuerpos son pesados— es el centro, y estando allí, en el centro, los cuerpos realizan o actualizan su naturaleza, como hemos visto).

Si relacionamos el punto (VII) con el (V), podemos ver una de las implicaciones metafísicas de la ley de inercia: hay un tipo de movimiento que no es un proceso, sino que es un estado, esto es, es como el reposo, algo no-causado, que conserva perpetuamente, a menos que ocurra algún impedimento externo, que no afecta al cuerpo.

En Galileo hay dos motivaciones por las cuales se introduce el concepto de inercia. Una motivación es la crítica interna a la física aristotélica. La otra es una motivación externa al aristotelismo: el intento de dar cuenta de ciertos fenómenos terrestres bajo la asunción del copernicanismo, o sea, de que la tierra se mueve. Esta segunda motivación es obvia en sus obras de madurez, el *Diálogo acerca de los dos sistemas principales del mundo* y el *Discurso acerca de dos nuevas ciencias*, y pronto las examinaremos. La primera motivación aparece claramente en su *De Motu* (1589); y parecería ser que es la que está tras su afirmación de la existencia de un movimiento inercial en sus "Cartas sobre las manchas solares", ya que la cuestión del copernicanismo no es relevante para resolver la cuestión de qué causa el movimiento de las manchas solares.[1] En su *De Motu*, Galileo emprendió una refutación de varias tesis aristótelicas, ([10], pp. 4-5, 262) entre ellas, la clasificación de todo movimiento en natural o violento. Gali-

[1] Si se sostuviera que sólo aparece en Galileo la motivación "externa" entonces se estaría sosteniendo que la revolución que Galileo inició en física sólo fue una consecuencia lógica del copernicanismo; en cambio, al reconocer la existencia de una motivación "interna" en Galileo, se reconoce que hubo varias razones teóricas para el surgimiento de la revolución en la física. Por otra parte, también es importante destacar la existencia de esta motivación "interna" para entender por qué el copernicanismo pudo ser utilizado por Galileo para comenzar a romper con la teoría física aristotélica: sin esta motivación, Galileo bien pudo apelar a la idea de un movimiento natural circular a todo objeto terrestre para resolver los problemas físicos terrestres que presentaba el copernicanismo (como lo intentó Copérnico), o apelar a la idea de un ímpetu no-perecedero, alternativas que no hubiesen significado el comienzo de una ruptura radical con el aristotelismo.

leo trabajó con las siguientes definiciones: el movimiento natural ocurre cuando los cuerpos se aproximan a sus lugares naturales, y el violento cuando se alejan de sus lugares naturales ([10], p. 248). A partir de éstas, resulta claro que la rotación de una esfera no puede ser un movimiento natural dado que este movimiento no la aproxima a su centro, ni violento, porque no la aleja de su centro. Galileo sostuvo que este movimiento era de un tercer tipo, y, por tanto, la clasificación aristotélica era incompleta. ([10], p. 249; [26], p. 168; [15], p. 155). Esta misma crítica interna, consistente en mostrar la incompletez de la clasificación aristótelica es la que aparece en las "Cartas. . .", sólo que ahí se sostiene que es el movimiento horizontal el que no es natural ni violento, sino inercial.

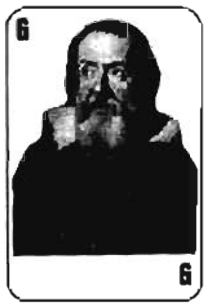
Koyré sostiene que el problema que Galileo trataba de resolver en *De Motu*, con la introducción de este tercer tipo de movimiento (el inercial) es el de la persistencia o conservación del movimiento ([15], p. 154; y también [20], p. 119, para quien el principio de inercia es básicamente un principio de conservación). Si lo que Koyré quiere decir es que Galileo busca introducir a la física, con su concepto de movimiento inercial, un principio de conservación del movimiento, es falsa su afirmación, dado que no es sino hasta Descartes que los "científicos" se comienzan a plantear la necesidad de introducir principios de conservación. El que el movimiento inercial se conserve perpetuamente no es un dato o postulado primario para Galileo, sino consecuencia de la indiferencia del cuerpo al movimiento. (cfr. el texto de las "Cartas. . ." citado arriba, o bien, [13], p. 147). Por otra parte, si a lo que Koyré se refiere es al problema de cómo conserva un proyectil su movimiento una vez que se separa del motor externo que originó el movimiento, de nuevo la respuesta es que Galileo no estaba preocupado por el problema de la conservación o persistencia del movimiento en *De Motu* o en las "Cartas. . .", ya que el problema de los proyectiles nunca aparece ahí (cuando aparece en el *Diálogo* y en el *Discurso*, la relación entre inercia e ímpetu es muy ambigua, como veremos). En fin, en Galileo el significado básico de "inercia" no es el de conservación del movimiento, sino el movimiento no-causado, es decir, que continúa dada la indiferencia del cuerpo.

Examinemos ahora la motivación externa que Galileo tuvo para introducir la ley de inercia. Pensamos, al igual que algunos historiadores de la ciencia ([5], p. 125; [9], pp. 337, 353; [28], pp. 17, 22) que Galileo postuló la existencia del movimiento inercial para resolver los problemas físicos que planteaba el copernicanismo, o sea, la afirmación de que la Tierra se mueve. Para la tradición tolemeico-aristotélica, la Tierra no se puede mover porque su movimiento ocasionaría que una serie de fenómenos terrestres ocurriesen de manera distinta a como de hecho suceden. Por ejemplo, si la Tierra se moviese (rotase), los objetos, al caer verticalmente, caerían fuera de lugar; así, si dejásemos caer una piedra desde una torre, ésta no caería al pie de la torre, sino algunos metros hacia el oeste, dado que mientras que la piedra caía verticalmente, la Tierra y junto con ella la torre, se desplazaron (rotaron) algunos metros hacia el este. O bien, si la Tierra rotase rápidamente, deberíamos sentir el viento (así como cuando galopamos sentimos que el viento nos golpea). También, si la Tierra se moviese, los objetos saldrían disparados, como cuando cualquier objeto sobre una rueda que rota rápidamente sale volando. ([13], pp. 126-132). Es para resolver estos problemas físicos que Galileo introdujo el concepto de inercia.

Tomemos el caso de la caída de los cuerpos, que Galileo considera el contra-argumento más fuerte al heliocentrismo ([13], p. 126). La solución intuitiva de este problema es bastante sencilla: postulemos que la piedra (para continuar con el ejemplo) no cae verticalmente, sino que la trayectoria que sigue es el resultado de combinar o componer dos movimientos, uno de caída vertical y otro movimiento mediante el cual *sigue* a la torre (y por tanto a la Tierra): dado este último movimiento componente, la piedra caerá al pie de la torre ([13], p. 139). Esta idea intuitiva ya había sido enunciada, entre otros, por Copérnico ([15], p. 134). Lo que es original en Galileo es que él precisó que el movimiento por el cual la piedra sigue a la torre, es un movimiento inercial (y no natural, como sostuvo con poca plausibilidad Copérnico; decimos con poca plausibilidad porque suponer que los cuerpos terrestres pueden tener dos movimientos naturales —de caída, y el circular consistente en seguir a la Tierra— implica que un cuerpo puede tener dos naturalezas o esencias distintas). Galileo precisó también el principio de la relatividad contenido en el concepto de inercia, y finalmente, determinó con precisión en qué consiste la composición de movimientos.

Examinemos con detalle la solución galileana a los problemas físicos que representaba el copernicanismo. Para resolverlos, Galileo afirma en primer lugar un principio de relatividad del movimiento. El llamado principio de relatividad del movimiento tiene (por lo menos) tres sentidos: hay un principio óptico, uno mecánico o cinemático y uno dinámico, clásico o newtoniano.

El principio óptico de relatividad, conocido desde la Antigüedad, afirma que el movimiento sólo se puede establecer en *relación con* un objeto (o mar-




ro de referencia) que se considera estacionario, y que las apariencias visuales permanecerán las mismas, ya sea que se considere que *a* se mueve respecto de *b* (el cual se tomará como estando en reposo), o que *b* se mueve respecto de *a* (y *a* está estacionaria). ([13], p. 162). Así, Galileo afirmó que las mismas apariencias visuales ocurrirán si se considera que la Tierra está estacionaria y el sol se mueve, que si se considera que el sol se mueve, que si se considera que el sol está en reposo y la Tierra se mueve ([13], p. 96). Dado que este principio óptico se conocía desde la antigüedad, Tolomeo y Aristóteles introdujeron las pruebas o argumentos físicos que enumeramos anteriormente para sostener la inmovilidad de la Tierra.

En contra de estos argumentos físicos, Galileo introdujo el principio cinemático de relatividad del movimiento. El cual tiene por objeto explicar por qué no aparecen los efectos físicos que, según la tradición aristotélica, deberían aparecer si es que la Tierra se moviese. ([24], p. 102). En términos galileanos, lo que dice el principio cinemático, es que para un conjunto de objetos ("sistema físico") que tienen un movimiento en común, éste movimiento no es operativo, no actúa, es como si no existiese, no es perceptible con respecto a los objetos que participan en él; en cambio, un movimiento que no se tiene en común con otros objetos, sí es operativo y perceptible ([13], pp. 163, 171). Citemos a Galileo:

> El movimiento en tanto que es y actúa como movimiento, en esa medida existe en relación a cosas que no lo tienen: y entre las cosas que comparten igualmente cualquier movimiento, éste no actúa, es como si no existiese. ([13], p. 116).

Para entender qué dice este principio tomemos el ejemplo de Galileo, de un barco cargado de bienes que va de Venecia a Siria. Las cajas, paquetes y demás objetos que van en el barco comparten el movimiento del barco, y por tanto, este movimiento en relación con el barco y sus bienes, no es operativo, no actúa, en el sentido de que *no altera las relaciones espaciales* que hay entre las cajas, paquetes, etc. ([13], p. 116). Por tanto, dado que el movimiento común no es operativo, es como si no existiese, es equivalente al descanso. En cambio, si un hombre caminase en ese barco, su movimiento no sería común con el resto de las cosas en el barco, y por tanto ese movimiento sí actuaría, es decir, cambiaría las relaciones espaciales entre el hombre y los objetos en el barco, o entre el hombre y el barco, y sería perceptible para los habitantes del barco. Lo mismo sucede si sustituimos al barco en movimiento por la Tierra en movimiento. Dado que todos los objetos terrestres comparten el movimiento de la Tierra, éste no es operativo y, por tanto, no es perceptible para los habitantes de la Tierra. Por ejemplo, en la caída de una piedra desde una torre (movimiento compuesto por un movimiento vertical de caída y un movimiento circular inercial), sólo vemos el movimiento simple hacia abajo dado que el circular: por ser común a la Tierra, la torre y nosotros, no es perceptible; y si percibimos el movimiento hacia abajo porque no participamos de él. ([13], p. 163).

Otra manera de enunciar el principio cinemático es, como lo hace Galileo, que ningún fenómeno dentro del sistema puede servir para distinguir si el sistema o conjunto de cosas tiene un movimiento en común o está estacionario ([13], pp. 144-5, 187), dado que el movimiento es común, no es operativo, así como el reposo tampoco lo es. A partir de esto, y en contra de la tradición tolomeico-aristotélica, Galileo sostiene que ningún fenómeno terrestre (como el de caída vertical) puede servir para establecer si la Tierra se mueve o no ([13], pp. 144, 139-40) (aunque inconscientemente, en el cuarto día del *Diálogo* sostuvo que la prueba más convincente del movimiento terrestre son las mareas ([24], p. 102).

Destaquemos algunos puntos importantes relativos a este principio galileano de relatividad. En primer lugar, el principio cinemático de Galileo no es el principio dinámico de relatividad de la física clásica o newtoniana ([9], p. 355; [24], p. 100). Lo que dice el principio dinámico es que sólo el movimiento *inercial* es *relativo* a un marco de referencia material, esto es, sólo el movimiento inercial es no operativo y equivalente al descanso. En cambio, el movimiento acelerado y de rotación no es relativo, sino *absoluto* (como lo destacó Newton): es un movimiento que sí tiene efectos dinámicos (da lugar a fuerzas centrífugas, a fuerzas de Coriolis, etc.), y que por tanto, si un sistema físico se mueve aceleradamente o rota, este movimiento se puede establecer desde dentro del sistema, notando los efectos que genera dicho sistema ([6], p. 104). Ahora bien, aunque como veremos, Galileo introduce el concepto de inercia para respaldar el principio de relatividad, siempre que enuncia este principio sostiene que el movimiento en general es relativo, y no solamente el movimiento inercial. Por otra parte, Galileo nunca sostuvo que el movimiento no inercial era absoluto porque produce efectos dinámicos, puesto que él no hizo estudios dinámicos. Por estas razones, se considera que el principio de relatividad galileano no es el principio clásico de relatividad.[2]

En segundo lugar notemos que al

[2] A partir de esto podemos ver que un principio físico de *relatividad* no es trivial: no afirma meramente que el movimiento se considera siempre como una *relación* entre algo que se mueve y algo en reposo. Lo que el principio newtoniano de relatividad establece es que si bien el movimiento inercial, y el acelerado y de rotación, son relativos en el sentido anterior de ser relaciones, en el caso del inercial, éste es relativo a un marco de referencia *material*, y por ende, varía (tanto su celeridad como su dirección) según con cuál marco de referencia material se compare, mientras que el movimiento absoluto es relativo al espacio absoluto, y no hay que ponerlo en relación con ningún marco de referencia *material* para establecer su existencia ([11], p. 112). En el caso de Galileo, lo que él quiere afirmar con la relatividad del movimiento es que el movimiento *solo es operativo* en relación con objetos que no comparten dicho movimiento: es decir, es posible que un cuerpo se mueva, y a pesar de ello que no se alteren sus relaciones espaciales con otro cuerpo, si es que ese otro cuerpo participa del mismo movimiento que el primero.

proponer el principio (cinemático) de relatividad del movimiento con el fin de explicar por qué el movimiento de la Tierra no tiene efectos visibles. Galileo de hecho está también proponiendo una nueva concepción del movimiento. Recordemos lo que dice la última cita (p. 13) de Galileo: el movimiento sólo actúa en relación a cosas que no tienen ese movimiento. Para que esto pueda ser así, el movimiento tiene que concebirse como mero cambio de relaciones espaciales, como *locomoción* o *transportación*.

El movimiento deja de ser, como lo era para Aristóteles, primariamente un proceso que le ocurre a un cuerpo (alejarse o acercarse a su lugar natural, es decir, al lugar donde actualizará su esencia) y secundariamente, como consecuencia de este proceso, un cambio de relación espacial. El movimiento *no afecta* al cuerpo mismo que se mueve ([15], pp. 130, 162; [28], p. 19). Y es porque el movimiento no afecta al cuerpo, sino sólo a las relaciones espaciales de ese cuerpo con otros, por lo que Galileo puede sostener (i) que el movimiento es necesariamente relativo a otro cuerpo que no tiene ese movimiento, y que se puede atribuir indiferentemente el movimiento a uno y otro cuerpo (principio óptico y cinético de relatividad), y que (ii) si un conjunto de cuerpos tiene un movimiento en común, entonces ese movimiento es como si no existiese, no es perceptible (dentro del conjunto de cuerpos), precisamente porque el movimiento común no afecta las relaciones espaciales entre los cuerpos del conjunto (principio cinético de relatividad). En otros términos, lo que se dice en (ii) es que el movimiento compartido es equivalente al descanso (dado que en ambos no hay cambio de relación espacial). Sostener esta equivalencia entre movimiento y descanso sólo es posible porque el movimiento se concibe como algo que no afecta al cuerpo o conjunto de cuerpos que lo tienen; recordemos que para Aristóteles, descanso y movimiento son ontológicamente distintos (ya que el reposo no requiere de causa ni para comenzar ni para continuar, mientras que el movimiento sí), o no equivalentes, precisamente porque el reposo no es un proceso (sino un estado) mientras que el movimiento sí lo es.

Es importante destacar que la razón que tiene Galileo para proponer (un tanto implícitamente) este nuevo concepto de movimiento como transportación es física o "empírica": si queremos explicar cómo es posible que en una Tierra en movimiento (lo cual no es un dato empírico, sino una hipótesis) los fenómenos terrestres tales como la caída vertical, la permanencia de los objetos sobre la Tierra, etc. (que son datos empíricos) ocurran de la manera en que de hecho ocurren, entonces es necesario postular que el movimiento es mera transportación que no afecta al cuerpo al que se le atribuye el movimiento.

Una consecuencia muy importante de esta nueva concepción del movimiento, y que Galileo logra entrever, aunque nunca lo afirma con total claridad, es que si los objetos no son afectados por el movimiento, son indiferentes a él, entonces cualquier objeto puede tener cualquier tipo de movimiento, y por ende, ya no se pueden caracterizar los objetos por medio de esencias específicas. En verdad, para la física aristotélica, las esencias son principios de movimiento: el movimiento (natural) hacia abajo se explica apelando a la esencia o naturaleza que tienen los elementos tierra y agua; en cambio, el aire y el fuego, que tienen por esencia la levidad, se mueven (naturalmente) hacia arriba; los cuerpos celestes, por estar formados por el éter, que tiene otra esencia, correspondientemente, se mueven circularmente. En Galileo nos encontramos explícita esta idea de que los objetos no tienen esencias que los distingan, sino que son mero cuerpo, mera materia, pero sí encontramos que Galileo usa esta idea. Así por ejemplo, Galileo habla de conjuntos de cuerpos que participan en el mismo movimiento sin considerar la esencia de los cuerpos en cuestión: Galileo compara lo que sucede en un barco con lo que sucede en la Tierra en movimiento (cf. el texto después de la cita de Galileo en p. 13), o compara la indiferencia de un barco al movimiento con la indiferencia del sol al movimiento (p. 5). Galileo también traza la distinción entre cualidades primarias y secundarias ([12], p. 274), lo cual implica dejar de lado el esquema esencialista aristotélico: y por otra parte, considera que absolutamente todos los objetos terrestres tienen la "esencia" del peso o gravedad ([15], p. 143, [15], p. 176), la cual, por ser general a todos los cuerpos, deja de ser la esencia aristotélica o principio de clasificación.

Para explicar y justificar el principio cinemático de relatividad, es decir, que el movimiento compartido es equivalente al reposo en tanto que en un conjunto de cuerpos que están en uno u otro estado sucede lo mismo, Galileo introduce el concepto de inercia ([13], p. 145). En efecto, Galileo sostiene que un cuerpo colocado en un plano horizontal (que todos los puntos de su superficie son equidistantes del centro de la Tierra, como lo sería la superficie del globo terráqueo si fuese lisa) sería indiferente al movimiento, no habría causa que lo acelerara o lo desacelerara ya que el plano no está inclinado ni hacia arriba ni hacia abajo. Por tanto, si este cuerpo fuese puesto en movimiento, se movería uniforme y perpetuamente; esto le sucedería a un barco en el mar (si es que el mar no tuviese límites) ([13], pp. 145-8). Este movimiento uniforme, horizontal y perpetuo (no causado) es el movimiento inercial. Veamos cómo suceden los fenómenos, como el de caída, en un barco que se mueve inercialmente: una piedra que se encuentra en la punta del mástil, se moverá como el barco, uniforme y horizontalmente. Si se deja caer esta piedra, ella tendrá dos movimientos, uno uniforme y horizontal por el cual *sigue* al barco, y otro de caída vertical. El movimiento que resulta de la composición de estos dos movimientos hace que la piedra caiga al pie del mástil, exactamente como caería si el barco estuviera en reposo (en el caso del reposo sólo uno de los movimientos componentes existe, el de caída vertical) ([13], pp. 148-9). Lo mismo sucede en el caso de la Tierra que se mueve; la razón por la que una piedra soltada desde la punta de una torre cae al pie de ésta, es que su trayectoria es el resultado de la composición de dos movimientos, uno de caída vertical y el otro, de movimiento uniforme y horizontal, por el cual sigue a la tierra y a la torre que se mueven uniforme y horizontalmente, ([13], pp. 139, 165).[3] En el *Diálogo* ([13], p. 165) Galileo sostuvo (incorrectamente) que la trayectoria de la piedra es un arco de una media circunferencia que va desde la punta de la torre al centro de la Tierra;

[3] Aunque para la física newtoniana el movimiento de la Tierra no es inercial (uniforme rectilíneo) por ser de rotación (o sea circular). Sin embargo, para considerar el caso de la caída de un cuerpo, evento que ocurre en unos cuantos segundos, se puede considerar a la Tierra como un sistema inercial dado que el movimiento de un punto de la superficie terrestre durante esos pocos segundos es casi en línea recta ([21], p. 94; [20], p. 133).

en el *Discurso* ([14], pp. 244-249) sostuvo (correctamente) que la trayectoria es una semi-parábola, y mostró matemáticamente cómo la composición de los dos movimientos, el uniforme horizontal y el acelerado vertical, dan lugar a un movimiento cuya trayectoria es una semiparábola (aunque Galileo demostró esto respecto a los proyectiles, es claro que un objeto que cae es como un proyectil, no disparado por un cañón o una mano, sino por la Tierra que se mueve).

Ahora bien, si introducimos la idea de movimiento inercial, se explica el principio de relatividad, según el cual sucede lo mismo en un conjunto de objetos que se mueven (inercialmente) que si ese mismo conjunto estuviera en reposo. Para un habitante de la Tierra en movimiento, la piedra cae verticalmente (al pie de la torre) porque uno de sus movimientos componentes es idéntico al de la Tierra y al del observador terrestre, pero éste no percibe dicho movimiento porque lo comparte (recuérdese que el movimiento sólo es perceptible si el observador no comparte dicho movimiento); en cambio, sí percibe el de caída vertical, porque no comparte dicho movimiento ([13], p. 163).

Debemos destacar aquí que el principio de inercia no es un enunciado descriptivo simple, no describe un movimiento que observamos típicamente en la naturaleza, sino que fundamentalmente se refiere a un movimiento componente. En general, se reconoce que no hay casos reales de movimiento inercial dado que, por la ley de gravitación universal, todos los cuerpos son atraídos por otros: sobre todo cuerpo se ejerce una fuerza ([1], pp. 13-4; [17], p. 549; [20], p. 141). Aunque si la ley de inercia se entiende como /$\Sigma f=0 \rightarrow u=k$./ entonces sí hay casos reales de movimiento inercial: por ejemplo, como señaló Galileo, la velocidad terminal de un cuerpo que cae es uniforme (inercial) cuando el peso es contrarrestado por la resistencia del medio ([14], p. 252), o sea cuando la suma de las fuerzas de gravitación y resistencia es igual a cero. Ahora bien, independientemente de cómo se entienda el carácter "empírico" o "físico" que tiene el principio de inercia, en virtud de que se refiere a movimientos componentes, el punto es que, el concepto de inercia, en tanto que es un concepto que sirve para dar una explicación física del mundo, se refiere fundamentalmente a un movimiento componente ([20], p. 141). Este sentido del concepto de inercia lo captó Galileo muy claramente, y ésta es una de sus grandes contribuciones al desarrollo de la física inercial. En verdad, Galileo fue el primero en mostrar cómo se pueden descomponer los movimientos complejos en sus movimientos componentes simples ([2], p. 112; [28], p. 20). Aunque la composición de movimientos era práctica corriente en la astronomía tolomeica ([9], p. 354), pero por ello, entre otras razones, se le daba una interpretación instrumentalista. Galileo fue el primero, porque para la tradición aristotélica, la composición de movimientos no era posible dado que el movimiento era concebido como expresión de la naturaleza del cuerpo, por lo cual un cuerpo no podía tener varios movimientos (o tendencias al movimiento) a la vez ([13], pp. 121, 133, 148; [15], p. 164). En cambio, para Galileo es posible que un cuerpo tenga varios movimientos (o tendencias) ya que, como hemos visto, para él el movimiento no afecta al cuerpo, es decir, el cuerpo es indiferente al movimiento. Pero además, como dice Galileo, "los movimientos y velocidades como éstos (los movimientos componentes uniforme, horizontal y acelerado vertical) se combinan sin alterarse, molestarse o impedirse el uno al otro" ([14], p. 250), es decir, los movimientos no sólo no afectan al cuerpo, tampoco se afectan entre sí. El significado de que los movimientos se combinan o componen, dando lugar como resultante a la trayectoria real, pero sin alterarse, es lo siguiente: la distancia (con respecto a las coordenadas cartesianas) que un cuerpo de hecho recorre en cierto intervalo de tiempo, de acuerdo con el movimiento resultante, es la misma que hubiera recorrido en el mismo intervalo de tiempo si es que sólo hubiese tenido uno de los movimientos componentes ([12], p. 112).

Podemos ahora preguntarnos qué relación conceptual hay entre el principio de inercia y el principio cinemático de relatividad del movimiento (entendido éste como limitado al movimiento inercial). Considero que el principio cinemático explicita una idea contenida implícitamente en el principio de inercia. El principio de inercia establece una equivalencia entre los estados de reposo y de movimiento uniforme horizontal (o rectilíneo para la física newtoniana, véase V en pp. 7-8), mientras que el principio cinemático explicita que esta equivalencia quiere decir (entre otras cosas) que los fenómenos suceden igual, ya sea que el sistema al que pertenecen se encuentre en reposo o tenga un movimiento uniforme horizontal (que los cuerpos del sistema tengan un movimiento compartido). Y dado que, como hemos visto (pp. 15-16), el principio cinemático implica (porque presupone) una concepción particular del movimiento, como translación que no afecta al cuerpo, esta concepción también está implicada o presupuesta en el principio de inercia (véase también VII, p. 9).

Sinteticemos los sentidos básicos que el concepto de inercia tiene en Galileo:

1) el movimiento inercial —uniforme y horizontal— es un movimiento que no requiere de ninguna causa para mantenerse, al igual que el reposo.

2) no requiere de causas porque el cuerpo es indiferente a este movimiento y al reposo, el cuerpo no es afectado por ellos.

3) los fenómenos suceden de la misma manera ya sea que ocurran en un sistema en reposo o en movimiento uniforme y horizontal;

4) el movimiento inercial es fundamentalmente un movimiento componente.

Ahora bien, el concepto de inercia no se enuncia (en la física clásica) como mera ley física, sino como un *principio*. Considero que en Galileo encontramos parcialmente dos ideas que son esenciales al *principio* de inercia: (i) una nueva concepción del movimiento como transportación que no afecta al cuerpo, y (ii) que el movimiento uniforme y horizontal, que se mantiene sin requerir de causa alguna es un movimiento componente. Es decir, el principio de inercia desempeña dos funciones en una teoría física: por una parte, tiene una función "metafísica" en tanto que define qué es el movimiento (es transportación), y por la otra, tiene una función "empírica" en tanto nos habla de un movimiento componente. Podemos entender que un mismo enunciado científico tenga estas dos funciones aparentemente dispares, si notamos que la posibilidad de considerar al movimiento inercial como un movimiento no-causado y componente (función física) requiere necesariamente que el movimiento se conciba como mera transportación a la cual el cuerpo es indiferente (función metafísica).

Tratemos ahora de precisar exacta-

mente en qué medida Galileo obtuvo el *principio* de inercia. Por lo que hemos expuesto en el curso de este artículo, es claro que Galileo desarrolló en su totalidad el concepto de inercia como concepto físico: utilizó la idea de un movimiento inercial componente para hacer físicamente posible una Tierra en movimiento. En cambio, Galileo no desarrolló por completo el sentido metafísico de este concepto, y por ello Galileo no obtuvo la ley de inercia entendida como un principio.

Aunque como hemos visto, hay ciertas alusiones de Galileo a un nuevo concepto del movimiento como transportación, que no afecta al cuerpo: al cual el cuerpo es indiferente, sin embargo, Galileo no desarrolla explícitamente este concepto, ni se logra dar cuenta de que este nuevo concepto del movimiento es incompatible con la física aristotélica, que es aquéllo que puede servir para sustituirla. En verdad, trabaja a la vez con el esquema conceptual aristotélico y el concepto de inercia, lo cual lleva a caer en una serie de confusiones notorias sobre todo en el *Diálogo*. Veamos.

Recordemos que en las "Cartas. . ." y en el *Diálogo* ([13], p. 147) Galileo sostiene que el movimiento inercial se mantiene debido a la indiferencia del cuerpo a dicho movimiento. Sin embargo, no siempre mantiene esta idea, es decir, no siempre mantiene que el movimiento inercial es un tercer tipo, diferente al natural y al violento. Podemos pensar que esto se debe a que hay ciertas similitudes entre el movimiento inercial y el natural, o el inercial y el violento, y a que en el fondo, la idea de un movimiento inercial no es compatible con el aparato conceptual aristotélico; ya que para este aparato, todo movimiento, por ser un proceso, requiere de una causa interna o externa y el movimiento, por tanto, es ontológicamente distinto al reposo, mientras que el movimiento inercial es no-causado y, por ello, ontológicamente igual al reposo. A veces, Galileo parece sostener que el movimiento inercial, que es circular: horizontal o de rotación, es natural, ([13], pp. 178, 242) dado que el movimiento circular es siempre natural. Galileo estaba muy interesado en sostener la naturalidad del movimiento circular para todo el universo, ya que pensaba que esto le permitiría unificar al cielo y a la tierra, como lo requería una defensa exitosa del copernicanismo ([24], p. 119; [26], p. 118). Sin embargo, Galileo también se dió cuenta que no se puede sostener que el movimiento inercial es natural, puesto que los objetos terrestres no pueden tener a la vez dos movimientos naturales (los objetos no pueden tener dos naturalezas) ([13], pp. 121, 133).[4] Por otra parte, otras veces Galileo parece sostener que el movimiento inercial se mantiene, no porque sea un movimiento no-causado, sino porque la fuerza o ímpetu, que le imprime el motor que pone en movimiento al cuerpo mantiene al movimiento ([13], p. 149); en este caso, el movimiento inercial sería violento. Sin embargo, Galileo no parece considerar definitivamente que el movimiento inercial sea violento, en parte porque, como hemos visto varias veces, Galileo lo propone como un tercer tipo de movimiento, no-causado, que es equivalente al reposo (equivalencia que no es posible en el caso del movimiento violento precisamente por ser éste *causado* por el ímpetu o fuerza internalizada). En parte también, Galileo no afirma conclusivamente que el movimiento inercial sea violento, porque a veces le parece que no hay un concepto claro de movimiento violento (como distinto al natural). En efecto, él sostuvo en algún momento que el principio de movimiento natural es el mismo que ocasiona el movimiento violento, por ejemplo, una bola de plomo que cuelga de un hilo y que se la mueve de su posición vertical, descenderá espontáneamente debido a su tendencia interna (se moverá naturalmente), y al llegar al punto más bajo, sin que intervenga ningún motor externo o adicional, comenzará a moverse hacia arriba (movimiento que según los aristotélicos debería ser violento, pero que en verdad está causado por el mismo principio que causó el movimiento natural hacia abajo) ([13], p. 236).

Podemos preguntarnos por qué Galileo mantuvo el aparato conceptual aristotélico, si éste es incompatible con el principio de inercia. Ya que el movimiento inercial es no-causado, equivalente al reposo y presupone que el movimiento se concibe como mera transportación; mientras que para dicho aparato, el movimiento es siempre causado, ontológicamente distinto al reposo y se entiende como proceso. Una razón obvia es que los nuevos conceptos que se desarrollan históricamente, nunca se proponen con total claridad, sino que es a través de su uso, a veces inconsciente, que se llegan a definir y establecer con claridad sus relaciones con otros conceptos. Otra razón, menos obvia, es que Galileo necesitaba mantener la distinción entre movimiento natural y violento, porque en ella se encuentra la teoría dinámica aristotélica; como Galileo no quería desarrollar una dinámica,[5] mantuvo la dinámica aristotélica —y sobre todo la idea del movimiento natural de caída—.

Es interesante notar aquí, que si bien se puede afirmar que el principio clásico de inercia constituye una discontinuidad revolucionaria respecto a la física aristotélica, sin embargo el principio de inercia se generó dentro de la tradición aristotélica: Galileo lo propuso (en una versión) como un tercer tipo de movimiento, que junto con el natural y el violento, constituían una clasificación completa de los movimientos. Es importante destacar que la afirmación de que dos paradigmas o dos teorías son discontinuos —que hay un cambio revolucionario entre ellos— no implica que, en el plano histórico, no hayan sido continuos en sentido fuerte; es decir no una mera continuidad temporal, sino en el sentido de que en cierto momento las ideas claves de la nueva teoría se generan dentro de la vieja.[6] El caso del enunciado galileano de inercia no es el único; la teoría

[4] Cabe notar aquí que durante una discusión respecto de la naturalidad o no del movimiento inercial, Galileo sostiene que éste no es natural a los objetos terrestes sino que lo tienen porque *participan* en un sistema que tiene dicho movimiento inercial; al igual que, si aceptásemos la teoría aristotélica, el fuego y el aire en la bóveda celeste participarían del movimiento diurno del cielo, no tendrían un movimiento circular, no porque éste les fuese natural, sino porque *participarían* del sistema en el cual se encuentran ([13], p. 141). Es decir, Galileo logró intuir, aunque no lo sostuvo consistentemente, que un conjunto de objetos se mueven inercialmente no por naturaleza sino porque son parte de un *sistema físico;* o sea que logró intuir que dicho movimiento compartido se explica no apelando a una comunidad de esencias sino que se explica mecánicamente ([15], p. 135).

[5] En general, Galileo trató de limitarse a cuestiones cinemáticas (meramente a describir el movimiento) sin considerar las cuestiones dinámicas (las fuerzas o causas del movimiento). Así, él sostuvo que no sabía en qué consistía la gravedad (o causa de la caída) ([13], p. 234); también sostuvo que él sólo investigaría las propiedades de la aceleración uniforme pero no su causa ([14], p. 166).

copernicana es otro ejemplo ([18], p. 186). Parecería que la explicación de esto radica en el hecho de que los conceptos son "fluidos", no tienen siempre un sentido único, determinado y bien delimitado, por lo cual, cuando son propuestos, pueden verse como compatibles con otros conceptos, pero al cabo de un cierto desarrollo histórico, pueden llegar a ser precisados de forma tal, que resultan ya claramente incompatibles con los otros conceptos. En cambio, cuando se habla de un cambio revolucionario, lo que se hace es comparar teorías más o menos bien desarrolladas, con conceptos bien definidos, sin tomar en cuenta los pasos intermedios (con conceptos no bien determinados) que dieron lugar a ellos.

Ahora bien, considero que Galileo no obtuvo el *principio* de inercia, fundamentalmente porque no desarrolló el sentido "metafísico" del concepto de inercia, no desarrolló la nueva concepción del movimiento que presupone el concepto de inercia. Es por ello que la afirmación de la existencia del movimiento inercial no la encontramos en la obra de Galileo, categorizada como la afirmación clave de una nueva física, sino como una afirmación que se hace un tanto lateralmente. Galileo no obtuvo el sentido metafísico del concepto de inercia porque no logró deshacerse de la distinción aristotélica entre movimiento natural y violento.

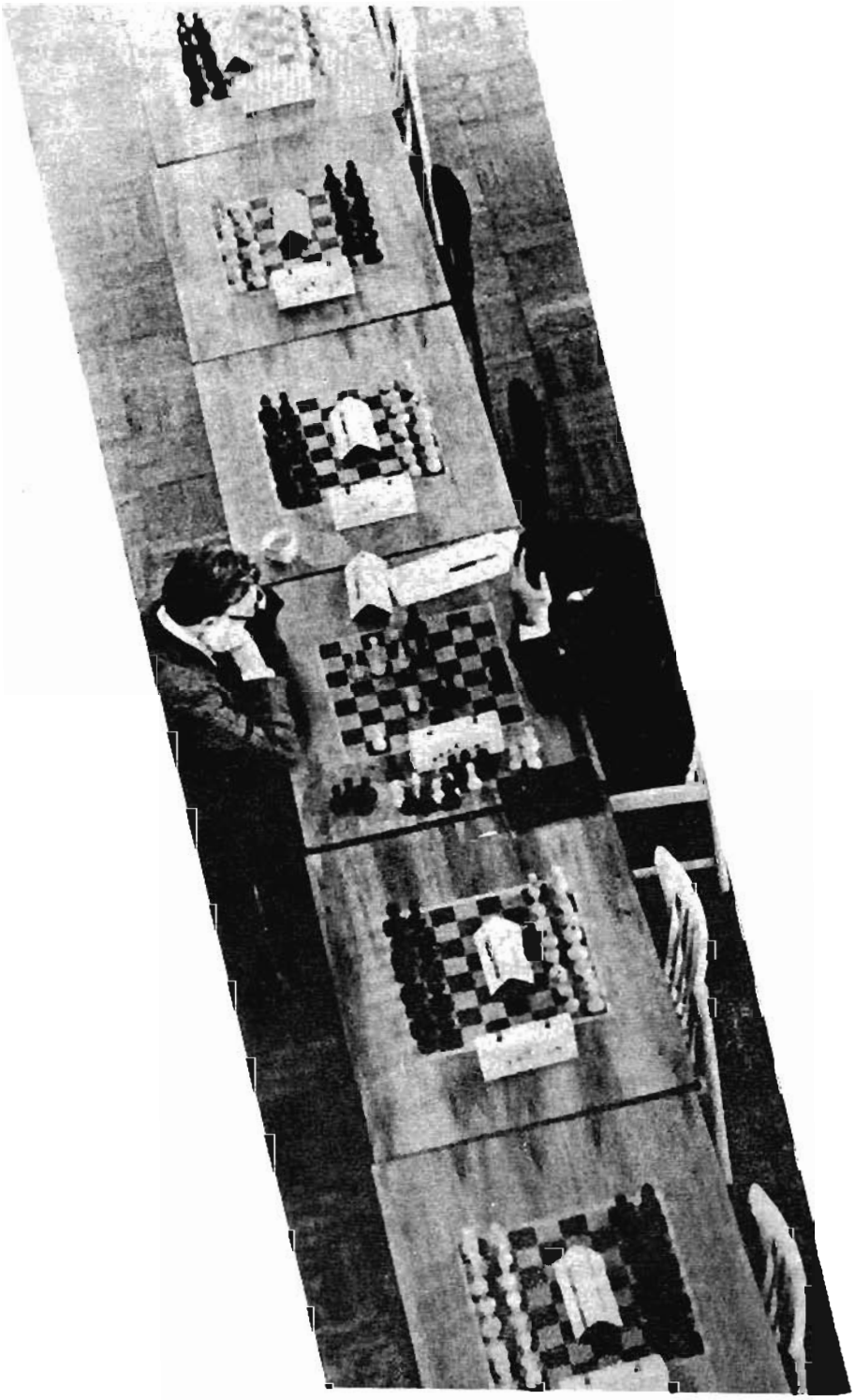
Usualmente los historiadiores, siguiendo a Koyré, han considerado que Galileo no obtuvo el concepto de inercia porque afirmó que la inercia era esencialmente circular y no rectilínea (como nos dice la física clásica) ([15], p. 175). Se dice que sostuvo que el movimiento inercial era circular, porque se encontraba dominado por el dogma circularista: el movimiento circular es el más perfecto ([2], p. 126; [9], p. 349). Frente a esta idea, Drake ha sostenido que Galileo sí obtuvo lo esencial del concepto de inercia, a saber, las ideas de indiferencia al movimiento o reposo y de permanencia en el estado de reposo o movimiento ([10], p. 231). Además, aunque Galileo generalmente sostuvo que el movimiento inercial es circular, también sostuvo que es rectilíneo (ver [13], p. 193: ejemplo del proyectil lanzado por la honda ; [14], p. 216: ejemplo del movimiento compuesto de la bola que sube por un plano inclinado; etcétera). Por ende, Galileo no sostuvo la circularidad del movimiento inercial porque estuviese dominado por un dogma circularista, sino porque en los casos en que habla de movimiento circular, la circularidad tiene por función eliminar las fuerzas, es decir, poner al cuerpo en un estado de indiferencia (por ejemplo, en el plano horizontal, la horizontalidad lo que elimina es la acción del peso, permitiéndole al cuerpo ser indiferente al movimiento uniforme). Lo que en esta posición de Drake se rechaza es la idea de que Galileo pensó que el movimiento inercial era *esencialmente* circular ([1], pp. 10, 15).

Con respecto a esta discusión acerca de la circularidad podemos decir lo siguiente: 1) Es verdad que Galileo considera muchas veces que el movimiento inercial es circular, y otras veces sostiene que es rectilíneo: probablemente para él el problema de la dirección del movimiento no era tan fundamental, como después llegó a ser en la física clásica (en verdad, aun en Descartes encontramos el manejo de un concepto de velocidad escalar y no vectorial). 2) Con respecto a las motivaciones galileanas, podemos decir que es verdad que Galileo maneja una motivación física para sostener que el movimiento inercial es circular: motivación consistente en encontrar la situación –plano horizontal– en que el cuerpo se encuentre en estado de indiferencia al movimiento. Pero también es verdad que hay un cierto dogma circularista, según el cual el movimiento circular es más perfecto, porque sólo él puede ser uniforme, perpetuo y capaz de preservar el orden: la misma situación espacial. Este dogma se establece a través del primer y segundo día del *Diálogo*: es por ello que cuando él establece que el movimiento inercial es circular (horizontal), resulta obvio por qué dicho movimiento inercial es uniforme, perpetuo, y capaz de preservar el orden. 3) Considero que la manera apropiada para determinar si Galileo contaba o no con el principio de inercia, no puede consistir en determinar si Galileo enunció o no el principio newtoniano de inercia.

Para evaluar una obra científica no podemos quedarnos sólo a nivel de lo que enunció, debemos también considerar la función que juega aquéllo que se enuncia. Desde esta perspectiva, podemos afirmar que Galileo logró asentar algo crucial: el papel que juega el concepto de movimiento inercial en las explicaciones físicas, a saber, que es un movimiento componente, que es equivalente al reposo y por tanto ningún fenómeno puede servir para determinar si un sistema –como por ejemplo la Tierra– está en movimiento o en reposo. Sin embargo, Galileo no logró percatarse de algo que es condición necesaria para que la idea de la existencia del movimiento inercial se constituya en un principio: este algo consiste en el hecho de que el concepto de movimiento inercial no sólo es incompatible con la física aristotélica (con su oposición entre reposo y movimiento y la división en movimientos naturales y violentos), sino que también es punto de partida de una nueva física (para la cual la oposición fundamental es entre reposo y movimiento inercial, por una parte, y aceleración, por la otra). Considero que la razón crucial por la cual se puede decir que Galileo no obtuvo el principio de inercia y no logró romper por completo con la tradición aristotélica, no es su afirmación de que la inercia es circular y que haya sostenido un dogma circularista, sino que logró usar el concepto de inercia como un fundamento o principio sobre el cual se construye una nueva física.

[6] Algunos historiadores confunden el plano teórico de comparación de teorías y el plano histórico. Por ejemplo, A. Maier sostiene que la ley de inercia no pudo ser un desarrollo histórico de la teoría del ímpetu (vs. Duhem) porque estos dos conceptos son contradictorios (cf. [10], p. 246). Si bien, a partir del concepto más o menos claro de inercia que Galileo desarrolló, es claro que es incompatible con el de ímpetu, no es *necesario* que el concepto de inercia galileana sea incompatible con el de ímpetu. Es por razones *a posteriori*, históricas, y no *a priori*, por lo que se puede afirmar que el concepto inercial galileano no se desarrolló a partir del ímpetu: Galileo no trabajaba con el mismo problema (conservación del movimiento en el caso de proyectiles) que los teóricos del ímpetu ([10], p. 4); y Galileo afirmó explícitamente en repetidas ocasiones que el movimiento inercial era un movimiento distinto al natural y al violento ([10], p. 4).

# EXTRAVERSION Y NEUROTICISMO EN AJEDREZ



**Luis Angel Urgellés Lorié***

## Introducción

Todo ajedrecista cifra en la psicología la esperanza de que le ayude a conocer sus cualidades personales; la piensa imprescindible para realizar un juego más eficaz y para investigar la regularidad del proceso de formación y desarrollo de las propiedades psíquicas de la personalidad.[1]

El estudio de la personalidad, tomando en consideración el factor extraversión-introversión, ha sido fecundo en los resultados obtenidos. Además, se ha correlacionado este factor con el electroencefalograma, encontrándose una mayor frecuencia del ritmo alfa en los extrovertidos.[2]

De igual forma los extrovertidos presentan una mayor amplitud del Contingente de Variación Negativa (CNV), que está asociado a la atención y a la motivación, cuando se aplica un flash seguido de un click con un intervalo inter-estímulo de 1.5 seg.[3]

También se ha relacionado el factor extraversión-introversión y el índice de neurotización, con las características del SNC.[4, 5]

Estudiando el factor N (Neuroticismo-Estabilidad) en un grupo de 100 trabajadores de la industria ligera, Urgellés y colaboradores[6] encontraron un 27 por ciento de los casos con N alta (mayor o igual a 15).

En 1925, los participantes en el Torneo Internacional celebrado en Moscú, fueron sometidos a un examen psicológico; I. Diakov, N. Petrovski y P. Rud-

* Neurofisiología Clínica. Instituto de Medicina del Trabajo. La Habana, Cuba.

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

nik, publicaron un libro sobre dichos experimentos.

En los ajedrecistas, comparados con las personas habituales sometidas a examen, se apareció un alto desarrollo de las cualidades dinámicas de la atención y el pensamiento: también la presencia de memoria exclusivamente específica.[1]

Emanuel Lasker fue el primero en apreciar que tras la vida de las piezas, está el individuo con su carácter, y que no se pueden comprender los secretos de la contienda ajedrecística si se prescinde de la psicología, las inclinaciones y el carácter del individuo en el transcurso de ella.[4]

Tomando en cuenta todos estos aspectos, nos proponemos en este trabajo, realizar un perfil de personalidad en ajedrecistas de alto rendimiento, estudiando los factores Extraversión y Neuroticismo.

Posteriormente, nuestro deseo es correlacionar estos resultados con algunos estudios neurofisiológicos que nos permitan evaluar el comportamiento del SNC ante el ajedrez.

### Material y método

Este estudio fue realizado en el Torneo Centroamericano y del Caribe de Ajedrez, Zonal 7 (1981). En él participaron los mejores ajedrecistas del área Centroamericana y del Caribe, incluyendo tres grandes maestros cubanos.

La muestra fue dividida en dos grupos: uno de jugadores y el otro formado por árbitros y entrenadores. Con 13 y 7 sujetos respectivamente.

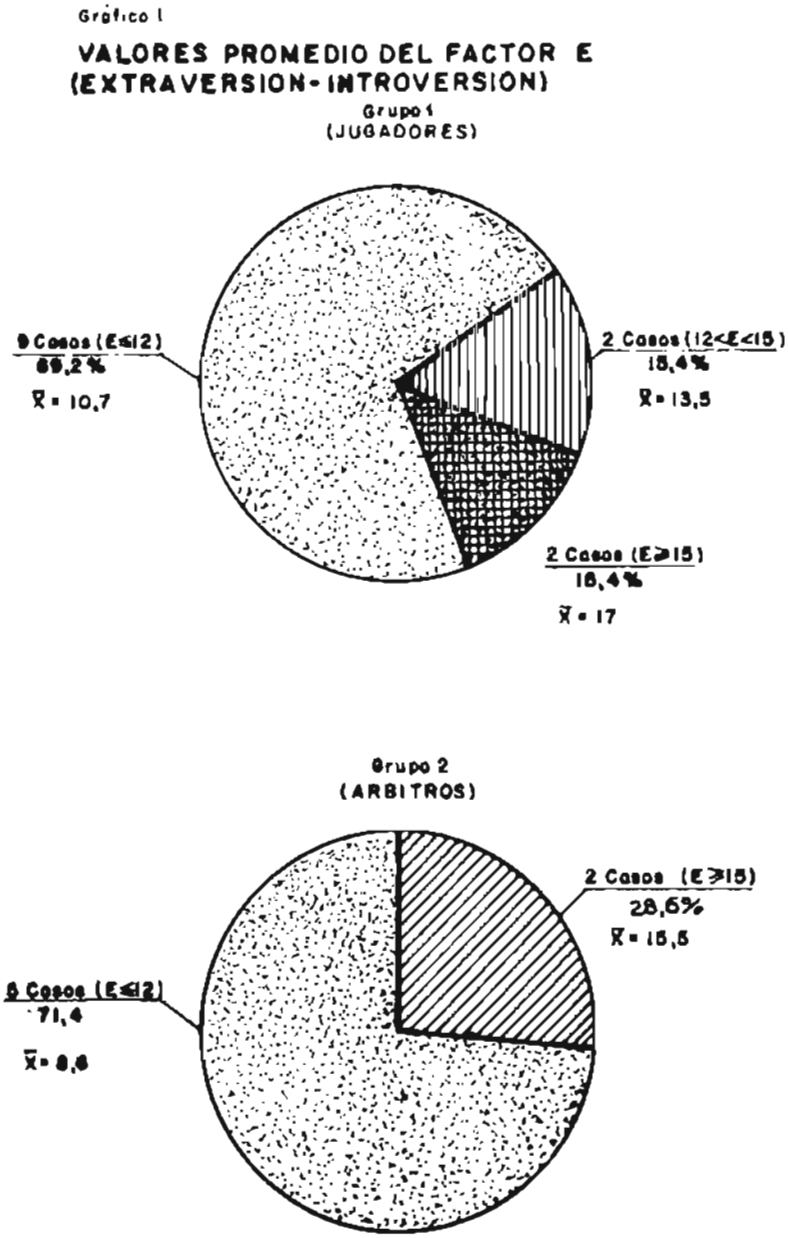
A todos se les aplicó el Test-E.P.I. (forma A) después de una breve entrevista con cada uno de ellos. Los resultados fueron promediados en alta E ó N (mayor o igual a 13) y en bajas E ó N (menor o igual a 12).

### Resultados y discusión

La edad promedio del grupo de jugadores fue de 25.3 años, mientras que la del otro grupo fue de 38.7 años. Considerando los años de experiencia, observamos que el promedio del primer grupo es de 10.4 años y el otro grupo presentó un promedio de 22.7 años. (Tablas 1 y 2).

Si analizamos el factor E (Extraversión-Introversión), observamos que en el grupo de jugadores el 69.2 por ciento son introvertidos con un promedio de E = 10.7: el 15.4 por ciento extrovertidos con una E promedio de 17 y el resto corresponde al 15.4 por ciento con E promedio de 13.5. (Gráfica 1).

Gráfico 1




En el grupo de árbitros y entrenadores el 71.4 por ciento son introvertidos con un E promedio de 8.6 y el 28.6 por ciento son extrovertidos con un promedio de E = 15.5. (Gráfica 1).

De estos resultados, observamos que el grupo de ajedrecistas y de árbitros tienen tendencia a ser introvertidos. Ya que el 69.2 por ciento y el 71.4 por ciento respectivamente tienen una E baja. (Gráfica 1).

Shiomi (1980),[7] estudió en 23 hombres ejercicios en un ergómetro, demostrando que los extrovertidos tenían mayor desempeño en cada experimento que los introvertidos.

Nosotros, al estudiar una tarea donde se requiere un esfuerzo mental ("jugar ajedrez") y donde se necesita una mayor concentración de la atención, encontramos un mejor desempeño en los introvertidos. Ya que los casos con E alta mostraron bajo rendimiento en este torneo. Uno de ellos, además tenía N alta, por lo que no obtuvo los resultados esperados. Pues los pronósticos eran obtener el título de Maestro Internacional y no fue cumplida esta predicción.

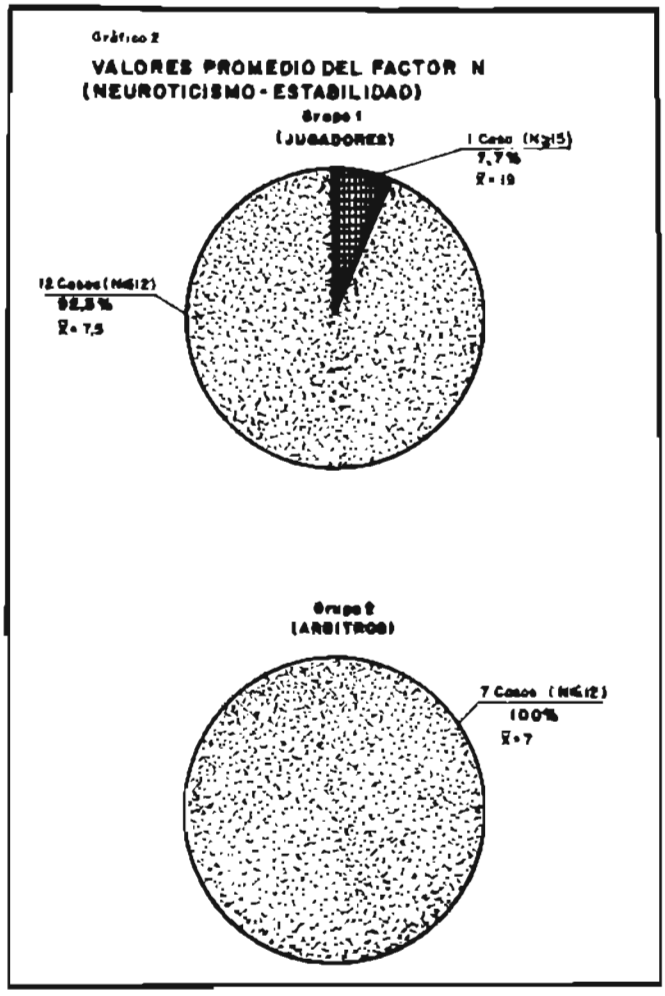
Al considerar el factor N (Neuroticismo-Estabilidad), encontramos que en el grupo de jugadores, solamente un juga-

TABLA No. 1

DATOS GENERALES DEL GRUPO 1 (Jugadores)

| No. | Nombre | Edad (años) | Años de Experiencia | País | Norma |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | J.N. | 22 | 10 | Cuba | GM |
| 2 | G.G. | 27 | 18 | Cuba | GM |
| 3 | J.M.C. | 27 | 8 | Cuba | MF |
| 4 | A.Z. | 23 | 8 | Colombia | MI |
| 5 | M.G. | 16 | 2 | Nicaragua | MN |
| 6 | C.A.R. | 19 | 3 | Guatemala | MN |
| 7 | K.F. | 31 | 15 | México | MI |
| 8 | T.Y. | 41 | 30 | Ecuador | MN |
| 9 | J.M.D. | 17 | 5 | R. Dominicana | MN |
| 10 | A.R. | 25 | 11 | Cuba | GM |
| 11 | W.CH. | 21 | 5 | Costa Rica | MN |
| 12 | N.P. | 26 | 14 | Cuba | MN |
| 13 | J.T. | 34 | 6 | I.V. USA | MN |

$\bar{X} = 25.30$ D.S. = 6.8 $\bar{X} = 10.4$ D.S. = 7.6




dor presentó N alta (N = 19). El resto (92.3 por ciento), presentó N baja, con un valor promedio de N = 7.5. (Gráfica 2).

De estos resultados, observamos una tendencia a la estabilidad de la muestra estudiada, ya que en los grupos el 92.3 por ciento y el 100 por ciento respectivamente, presentaron valores de N baja.

Estos resultados coinciden con los de Urgellés y Col. (1982),[6] donde en 100 obreros que realizaban actividades consideradas como trabajo ligero, el 63 por ciento de la muestra presentó N baja con un valor promedio de 7.3.

También se ha reportado una estrecha relación entre el Neuroticismo y la motivación.[8]

Nosotros aunque no realizamos esta correlación, sí demostramos que un jugador con N alta presentó disminución de la atención durante el torneo. Creemos sea resultado de su estado de ansiedad que no le permitió demostrar toda su capacidad en este evento.

**Conclusiones y recomendaciones**

Existe una tendencia del ajedrecista a ser introvertido. Ya que el 69.2 por ciento de los casos presentaron E baja (X = 10.7). De igual forma en árbitros y entrenadores existe igual tendencia. El 71.4 por ciento presentaron E baja (X = 8.6). Por otro lado se encontró una tendencia a la estabilidad, ya que en los dos grupos estudiados el 92.3 por ciento y el 100 por ciento respectivamente, presentaron valores de N baja.

Se encontró un caso con N alta, el cual no demostró toda su capacidad durante el torneo.

Recomendamos el estudio de los factores Extraversión y Neuroticismo sobre todo este último, en periodos pre-competencia para valorar el estado óptimo del atleta.

**Resumen**

Se realiza un estudio de los factores E (Extraversión-Introversión) y N (Neuroticismo-Estabilidad) en un grupo de Ajedrecistas de alto rendimiento que participan en el Torneo Centroamericano y del Caribe, Zonal 7 (1981).

Se les aplicó el Test E.P.I. forma A. Promediando los valores en alta E o N (mayor o igual que 15 puntos) y bajas E o N (menor o igual que 12).

Se encontró una tendencia del Ajedrecista a ser introvertido.

Por otra parte solamente un jugador presentó valores N alta. El resto de los sujetos presentaron valores de N baja, con un valor promedio de 7.5.

Se recomienda el estudio de estos factores en periodos pre-competencia para valorar el estado óptimo del atleta.

TABLA No. 2

DATOS GENERALES DEL GRUPO 2 (Arbitros)

| No. | Nombre | Edad (años) | Años de Experiencia | País | Norma |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | S.CH. | 31 | 19 | Cuba | Entrenador |
| 2 | R.O. | 52 | 37 | Cuba | AN |
| 3 | R.B. | 60 | 37 | Cuba | AI |
| 4 | L.D.C. | 31 | 11 | Cuba | AI |
| 5 | G.E.M. | 34 | 19 | Cuba | Entrenador |
| 6 | J.S.S. | 33 | 21 | Cuba | Entrenador |
| 7 | R.L.C. | 30 | 15 | Cuba | AN |
| | | $\bar{X} = 38.7$ | $\bar{X} = 22.7$ | | |
| | | D.S. = 12.1 | D.S. = 10.3 | | |

1 Krogius, N. V., *La psicología en ajedrez*, Ed. Martínez Roca, España, 1972.

2 Biesheuvel, S. and D. R. Pitt, *"Some tests of speed and temper of behavior as predictors of the primary-secundary function temperament variable"*, *J. Nat. Inst. Pers.*, hers, 1956, 6, 87-89.

3 Urgellés Lorié, L. A., et al., "Contingente de variación negativa y extraversión-introversión", *III Jornada Nacional de Ciencias Neurológicas*, Cuba, 1982.

4 Frigon, J., "Extraversion, neuroticism and strength of the nervous system", *Br. J. Psychol.*, 1974, 64 (4), 467-474.

5 Concannon, M., "The relationship between introversion-extraversion, somatotype and nervous system properties", *Dissertation Abstracts International*, 1980, Vol. 41 (5-B), 1963.

6 Urgellés Lorié, L. A., et. al., "Neuroticismo y su relación con un tipo de actividad laboral", *III Jornada Nacional de Ciencias Neurológicas"*, Cuba, 1982.

7 Shiomi, K., "Performance differences between extraverts and introverts on exercises using an ergometer", *Perceptual and motor skills*, 1980, Vol. 50 (2), 356-358.

8 Kirkealdy, B. O., "An analysis of the relation-ship between psychophysiological variables conected to human performance and the personality variables extraversion and neuroticism", *International Journal of Sport Psychology*, 1980, Vol. II (4), 276-289.


año dos | número seis | 150 pesos

espacios

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

*SUMARIO DEL NUMERO CUATRO*

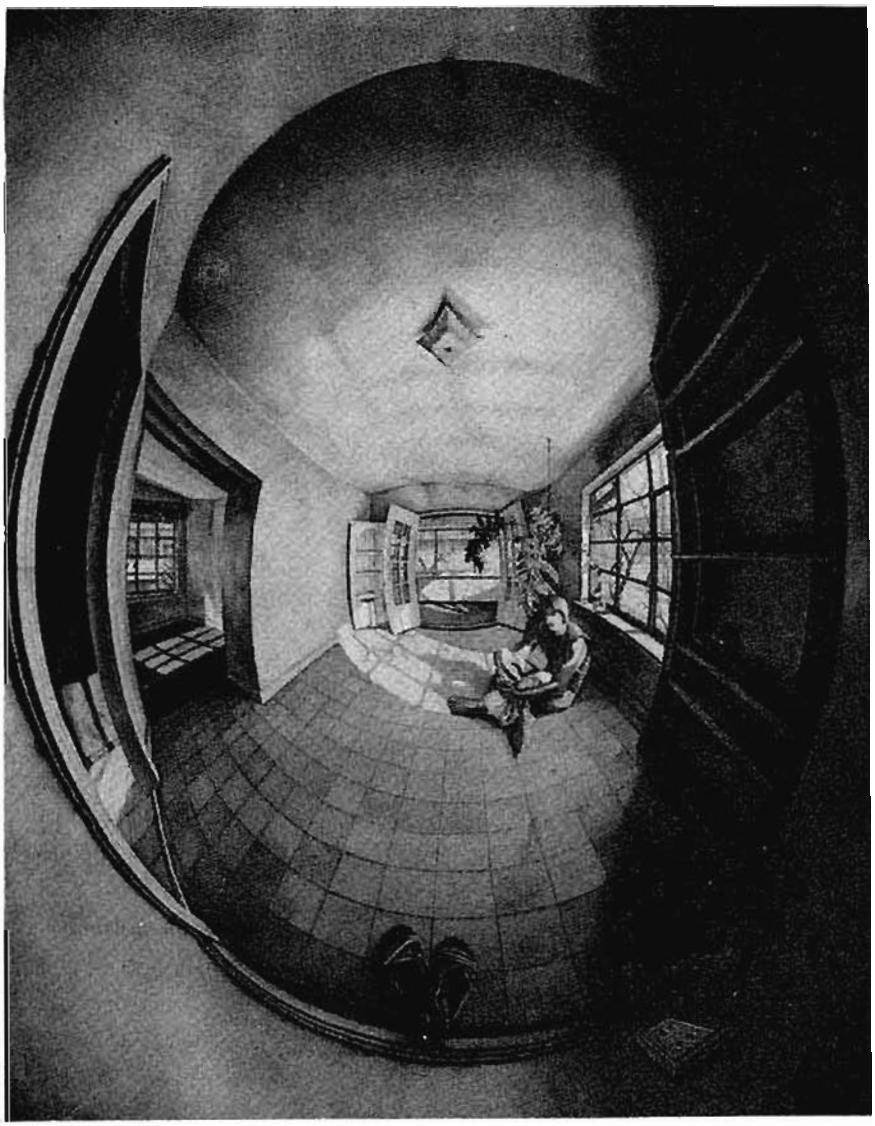
Jorge Juanes: *Georg Lukács: La conciencia desplazada* ● Miguel Espejo: *Heidegger. El enigma de la técnica* ● Oscar Martiarena: *Michel Foucault: una genealogía de la verdad* ● Marcelo Gauchat: *El hablar del habla* ● Julio Glokner: *Cuatro notas oclosas* ● Armando Pinto: *Diario de la sierra. 2 relatos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

*SUMARIO DEL NUMERO CINCO*

Oscar del Barco: *Edmund Husserl y el 'sentido' de la crisis* ● Raúl Dorra: *El deseo y la constitución 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.*

# INNOVACION EN PERSPECTIVA

**Julio Rodríguez Rivas***



Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

## Introducción

Uno de los impulsos básicos del hombre es representar la realidad de su mundo visual. Sin necesidad de entrar en detalles sobre los orígenes y causas de ese impulso, baste señalar que se manifiesta en el hombre primitivo en los tallados de hueso, marfil y piedra, así como en las pinturas rupestres; en el hombre moderno, en el conocido despliegue de las artes: la pintura, la escultura, etcétera, así como en la fotografía y la cinematografía más recientemente.

En concreto, en las representaciones sobre superficies, el hombre, desde la antigüedad remota, trataba de dar la ilusión de las tres dimensiones, es decir, de profundidad. A través de los milenios se utilizaron diversos recursos de perspectiva para obtener ese resultado. Tales son por ejemplo: la superposición de imágenes; la diversidad de sus dimensiones, etcétera. En general, la perspectiva trata de resolver el problema de elaborar sobre una superficie plana, una representación de la realidad que apreciamos como tridimensional. Pero, es recién en la Europa del Renacimiento que se descubre y se desarrolla la perspectiva clásica o perspectiva convergente central. El éxito que tiene la perspectiva clásica en esa tarea es innegable: se hace obvio al enfrentarnos con pinturas realizadas con sus principios y que, claramente, nos sobrecogen con su realismo. Sin embargo, a pesar de estos grandes logros y de haber dominado por varios siglos las artes plásticas, la perspectiva clásica tiene limitaciones e incoherencias profundas.

La limitación más obvia de la perspectiva clásica es su incapacidad de repre-

*Cochabamba, Bolivia. Casilla 466.

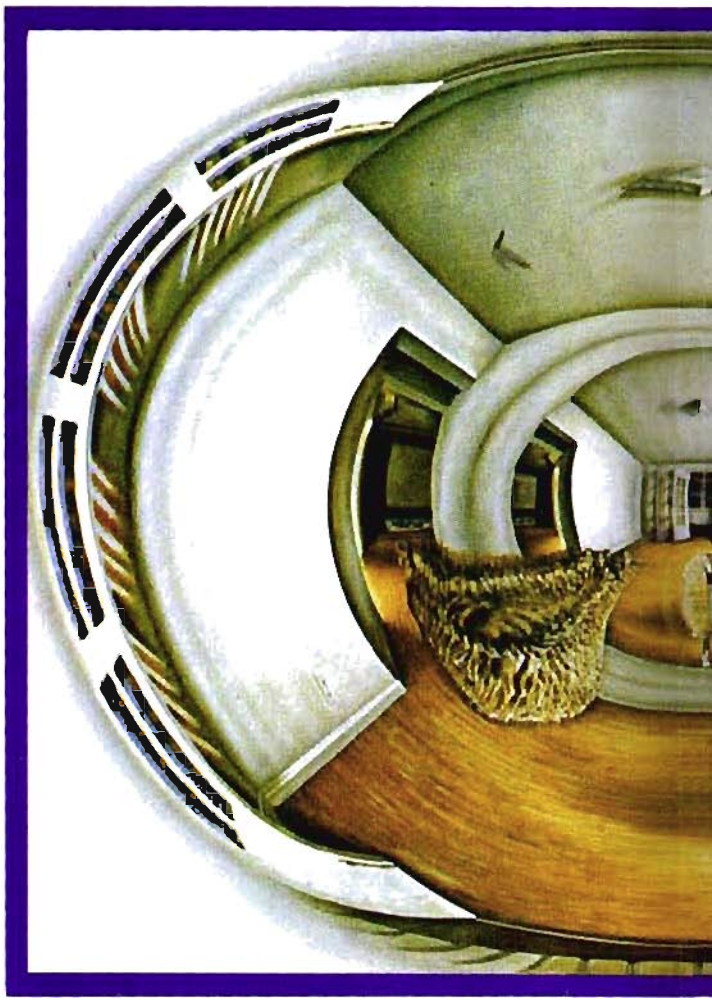
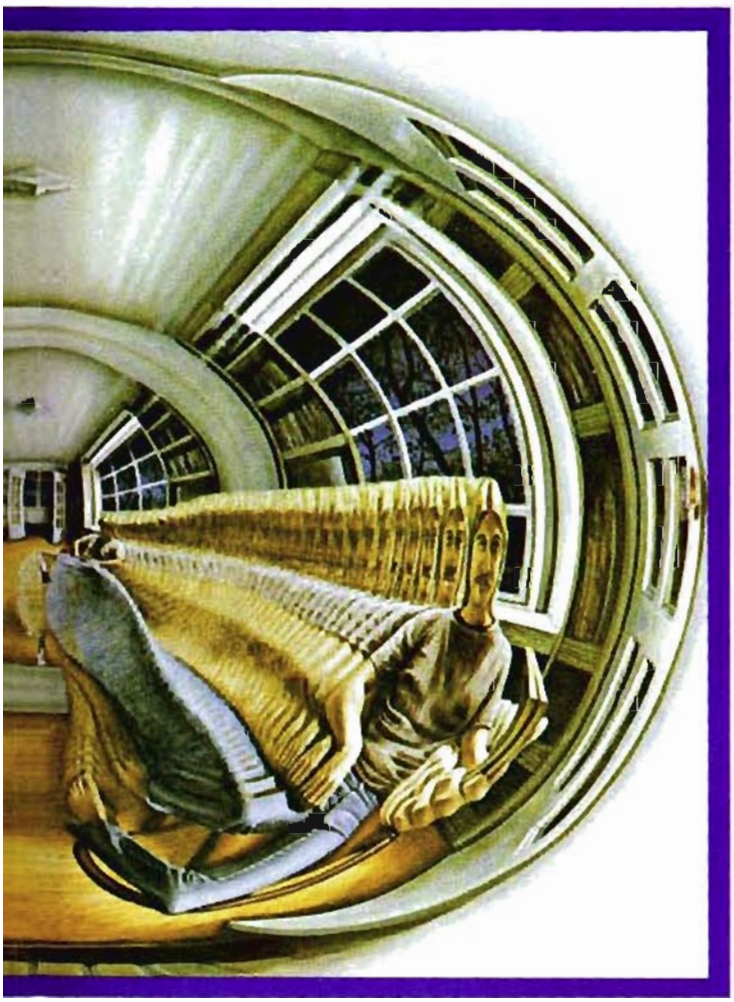


Figura 6 a) "El Ojo Polar", grabado de cinco colores, Casas, 1980.
b) "La Tormenta que se avecina", óleo, Casas, 1982. (Portada).

elementos

Figura 7 "Esteban
óleo sobre panel. C

Figura 9 "El Cielo, Atardecer"
Casas. 1980.



:ban y Rufus" trabajo al
:el. Casas 1982.

Figura 3 c) "Ex Nihilo" dibujo a lápiz de color. Casas, 1977.

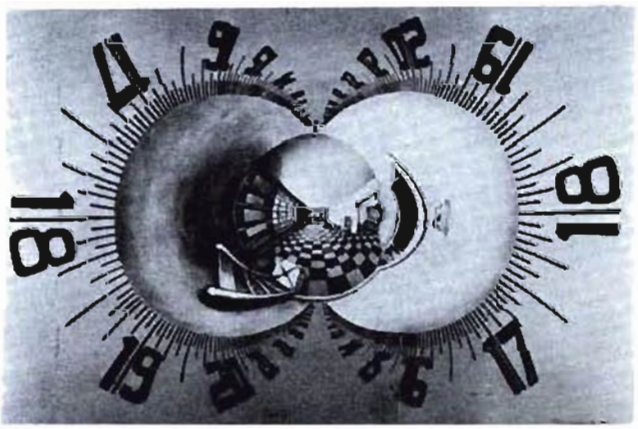


Figura 8 "La Medida de todas las cosas"
Litografía a cinco colores. Casas, 1979.

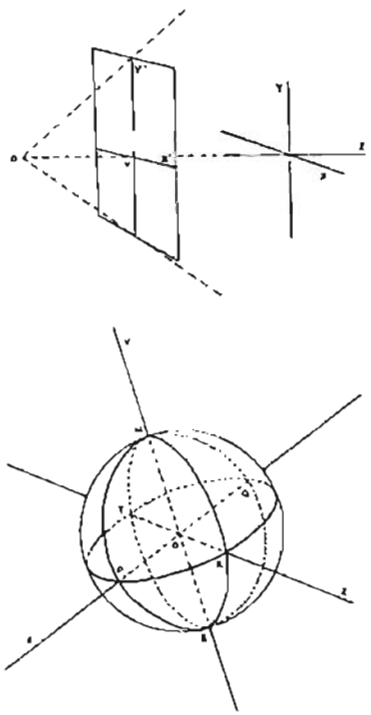


Figura No. 1 a) El modelo de la visión en la perspectiva clásica. Los tres ejes del mundo visual -X,Y,Z- se proyectan sobre el campo de visión plano que está frente al observador 0, creando una rejilla con un solo punto de desvanecimiento.

b) El modelo de la visión de la perspectiva esférica. El observador 0 está al centro de su campo de visión esférico. Los tres ejes del mundo visual crean una rejilla con seis puntos de desvanecimiento N,S,P,Q,R,T.

sentar en una sola imagen la totalidad del mundo visual circundante. Por otro lado, su defecto más profundo se manifiesta en el hecho de que ninguna imagen construida con ella corresponde a la experiencia visual, como lo demuestra la famosa paradoja de las columnas. Esta paradoja muestra que dos objetos semejantes, del mismo tamaño, uno más alejado que el otro, representados con la perspectiva clásica, el más lejano parece de mayor tamaño y de tamaño menor el más cercano, en ciertos casos.

Fernando Rodríguez Casas, consciente de las mencionadas limitaciones y defectos de la perspectiva clásica, retoma el estudio de la perspectiva. Esta disciplina había sido olvidada casi por completo como consecuencia de las realizaciones de un importante sector del arte moderno. Casas la alza a nuevos niveles caracterizados por complejas pero coherentes y fieles representaciones de la realidad. Lo logra por medio de la perspectiva de esfera plana que disuelve la paradoja de las columnas y permite al artista captar en una sola imagen coherente la totalidad del espacio visual circundante.

Por otro lado, debido al desarrollo de la ciencia contemporánea, que ha introducido los conceptos de espacio-tiempo, de la cuarta dimensión espacial y de las geometrías no euclidenas, aparece un nuevo desafío para la perspectiva. Consiste en la necesidad de representar, no solamente las tres dimensiones espaciales, sino también, el espacio-tiempo cuatridimensional, así como universos de más de tres dimensiones espaciales. Casas se enfrenta con estas posibilidades desarrollando la perspectiva de esfera plana hasta un nivel superior y logra una perspectiva más abarcadora que llama perspectiva polar. Este novísimo sistema de perspectivas consigue no sólo superar las limitaciones de la perspectiva clásica sino que, además, es capaz de representar un universo cuatridimensional.

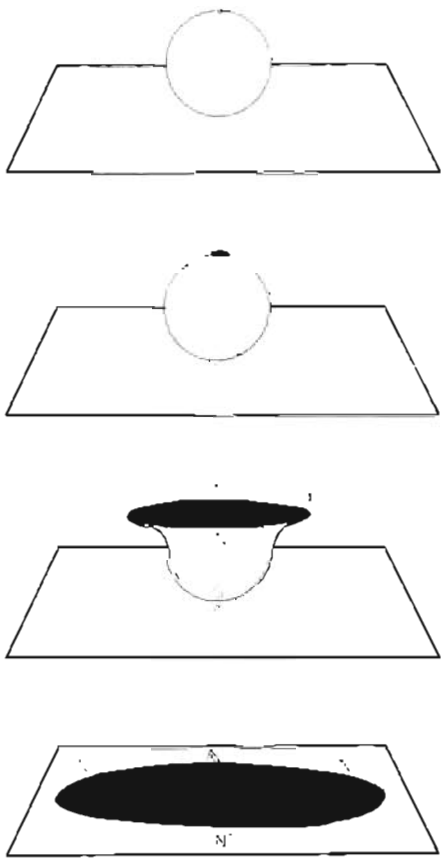


Figura No. 2 Representación gráfica de la esfera de visión siendo aplanada.

**La perspectiva de esfera plana**

La visión humana global es como la de un observador situado al centro de una esfera transparente que le permite ver en cualquier dirección fraccionaria y sucesivamente. Cada trozo de visión es un segmento de la esfera que le rodea. La perspectiva clásica al representar uno de esos segmentos, lo interpreta y representa como un plano, suprime todo atisbo de curvatura. (Figura 1a). Dicha perspectiva clásica, para dar un sentido de profundidad, además de los dos ejes de referencia, uno de arriba-abajo (eje de plomada) y otro de derecha a izquierda (eje horizontal), recurre a un eje perpendicular al plano de representación. Siendo este eje perpendicular al plano, sólo puede estar representado en él por un punto que se pierde al infinito (punto de esfumamiento, punto v en la figura 1a). Por consiguiente, la perspectiva clásica tiene necesariamente sólo un punto de esfumamiento fundamental.

Casas, en primer lugar, desarrolla en correspondencia a la esfera de visión, una *perspectiva esférica* precisa. En ella la intersección de los círculos mayores determina seis puntos de esfumamiento fundamentales. (Figura 1b). Se puede comprender claramente el origen de dichos seis puntos si imaginamos un observador en el espacio que tuviese a sus pies una escalera corriendo de derecha a izquierda, perdiéndose en ambas direcciones al infinito; otra escalera corriendo de adelante atrás, esfumándose también al infinito por delante y por detrás del observador y, por último, otra vertical que se esfuma al infinito por encima y por debajo del observador, dando así seis puntos fundamentales de esfumamiento y solamente seis. Cada una de las tres escaleras representa una de las dimensiones espaciales y tres son suficientes para determinar cualquier punto del espacio.

Subsiste, sin embargo, el problema principal: el aplanamiento de la esfera, la representación de la superficie esférica en una superficie plana. El aplanamiento de la esfera ha sido elaborado por K.R. Adams en un sistema de perspectiva esférica tetracónico. Describe así un método para representar la totalidad de la esfera de visión. ("Tetraconic Perspective for a complete Sphere Vision", *Leonardo* 9 289-291, 1976). Sin embargo este sistema tetracónico crea una imagen discontínua, fraccionada en facetas separadas.

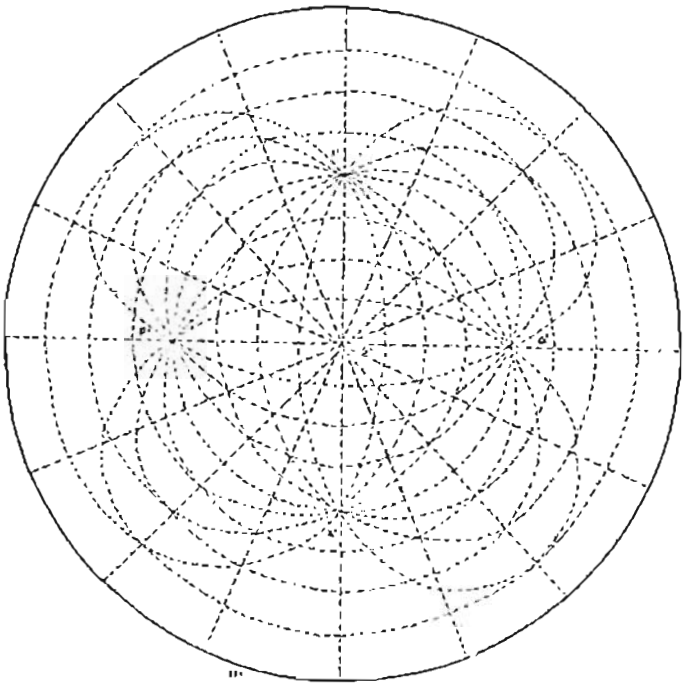


Figura No. 3 a) La rejilla de la perspectiva de esfera plana.

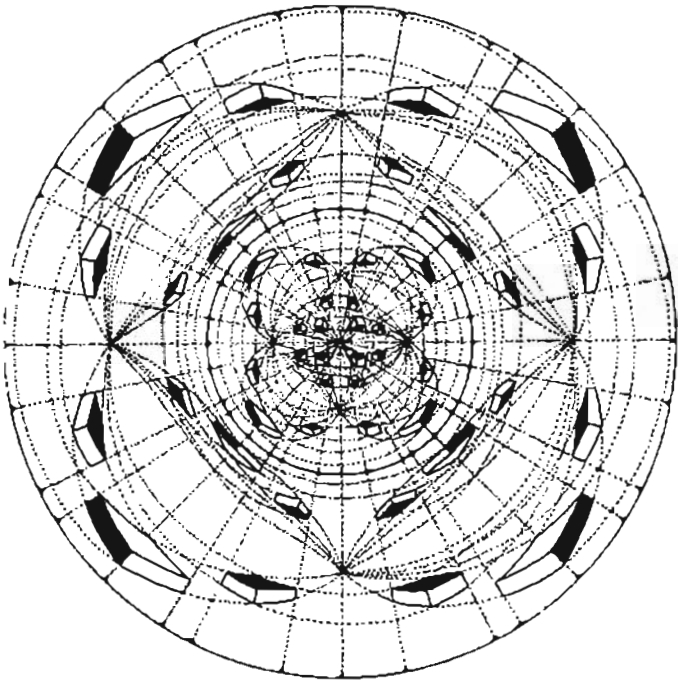


Figura No. 3 b) Veinticuatro cubos en perspectiva de esfera plana.

En cambio Casas, audaz pero irreprochablemente, fragua una nueva concepción gráfica: utiliza una maniobra peculiar y obtiene una transformación topológica y nuevos formatos plásticos que le permiten aplanar la esfera de visión en forma uniforme y coherente.[1] Abandona los conceptos matemáticos definitorios clásicos de punto, línea y plano, adoptando un nuevo conjunto de conceptos sobre dichos elementos que define como *entidades gráficas*. Así, un punto, lejos de ser una entidad con cero dimensión, es una manchita sobre el plano, la línea el trazo alargado que deja el lápiz sobre la superficie, la que, a su vez, es una película elástica. Esto permite que el punto, la línea y el plano puedan estirarse en cualquier dirección. Es gracias a la utilización de esos elementos básicos así redefinidos, que Casas puede desarrollar sus dos perspectivas como sistemas de representación gráfica integral.

El artista imagina la esfera de visión como un globo transparente y plástico colocado sobre una superficie plana. (Figura 2). Perfora el globo en un punto —en este caso el polo superior o polo Norte, opuesto al Sur donde la esfera toca el plano de representación y distiende el globo hasta aplanarlo completamente sobre la superficie de dicho plano. Esta expansión aplanante se hace de modo que el punto que representa el polo Norte —punto N— quede distendido en una circunferencia —punto N'— y toda la superficie de la esfera, gracias al estiramiento diferencial —tanto mayor cuanto más cerca del polo Norte y tanto menor cuanto más cercano al polo Sur— quede representada como un círculo en la superficie plana.

La imagen existente en la superficie curva de la esfera o globo queda trasladada al círculo sobre la superficie de representación plana. La imagen en el círculo sufre la obligatoria distorsión

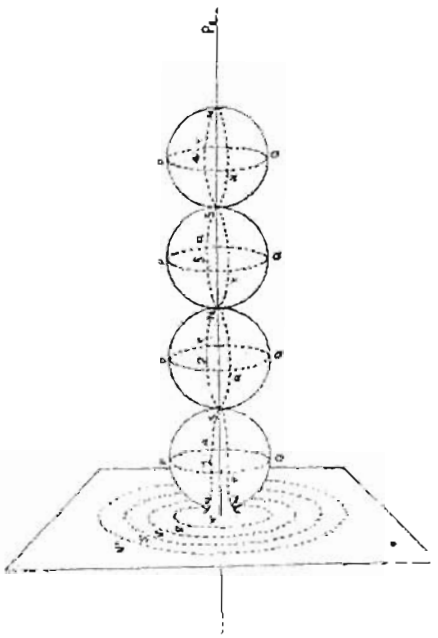


Figura No. 4 Una secuencia de campos visuales esféricos conectados en forma continua gracias a que cada esfera comparte con la esfera vecina un mismo punto gráfico.

[1] "Flat –Sphere Perspective" by Fernando R. Casas, *Leonardo* Vol. 16, No. 1. 1983; y "Polar Perspective: A Graphical system for Creating Two dimensional Images Representig a World of Four Dimensions" by Fernando R. Casas. *Leonardo* Vol. 17 No. 3, 1984.

de la expansión diferencial sin dejar de poseer, no obstante, todo el informe visual, pues representa la totalidad de la imagen de la superficie esférica y mantiene idéntica su estructura geométrica. La distorsión de la imagen no solamente no es inconveniente, sino que constituye el único medio que permite ver sobre la superficie plana la realidad esférica del mundo visual circundante.

Por otra parte, una esfera de visión puede en realidad aplanarse en cualquier dirección eligiendo como polo superior para perforarla cualquiera de los infinitos puntos de su superficie, lo que, en cada caso, proporciona una apariencia distinta a la representación.

En la imagen esférica aplanada existen los mismos seis puntos de esfumamiento fundamentales que en la imagen esférica, pero con la diferencia de que cinco son puntos convergentes y el sexto es divergente. Este último corresponde al punto elegido para perforarla. La figura 3a exhibe la rejilla completa de la perspectiva de esfera plana con sus seis puntos de esfumamiento.

aceptar que tenga imágenes diferentes en su campo visual en sucesivos momentos: entonces podemos colocar una segunda imagen esférica a continuación de la primera, representando la original, un momento dado, y la siguiente, otro momento. Del mismo modo podrán añadirse tres o más imágenes esféricas, cada una de ellas representando una imagen instantánea obtenida después de la anterior por el hipotético observador. Todas ellas diferentes pero con la misma estructura en su perspectiva. La figura 4 ilustra una secuencia de cuatro esferas en vías de aplanamiento. Cada una mues-

**Perspectiva Polar**

En una segunda etapa, Casas desarrolla la perspectiva polar. Se crea una imagen de perspectiva polar cuando dos o más imágenes de esfera plana se conectan para formar una nueva imagen de integración total y continuidad perfecta.

Si se asume la existencia de un observador hipotético cuyo campo visual, en cualquier instante, corresponda exactamente a su esfera de visión, se puede tra en su superficie la misma rejilla de la perspectiva esférica. Cada una tiene los seis puntos de esfumamiento fundamentales y típicos de dicha perspectiva y, lo que es más importante, se hallan conectadas de modo que las esferas contiguas participen de un punto gráfico común.

Ahora bien, las sucesivas esferas pueden aplanarse sobre un plano del mismo modo como lo hizo la primera, lo que también puede observarse en la figura 4. Cada nueva esfera que se aplana, al trasladarse al plano de representación, se proyecta al centro y al hacerlo des-

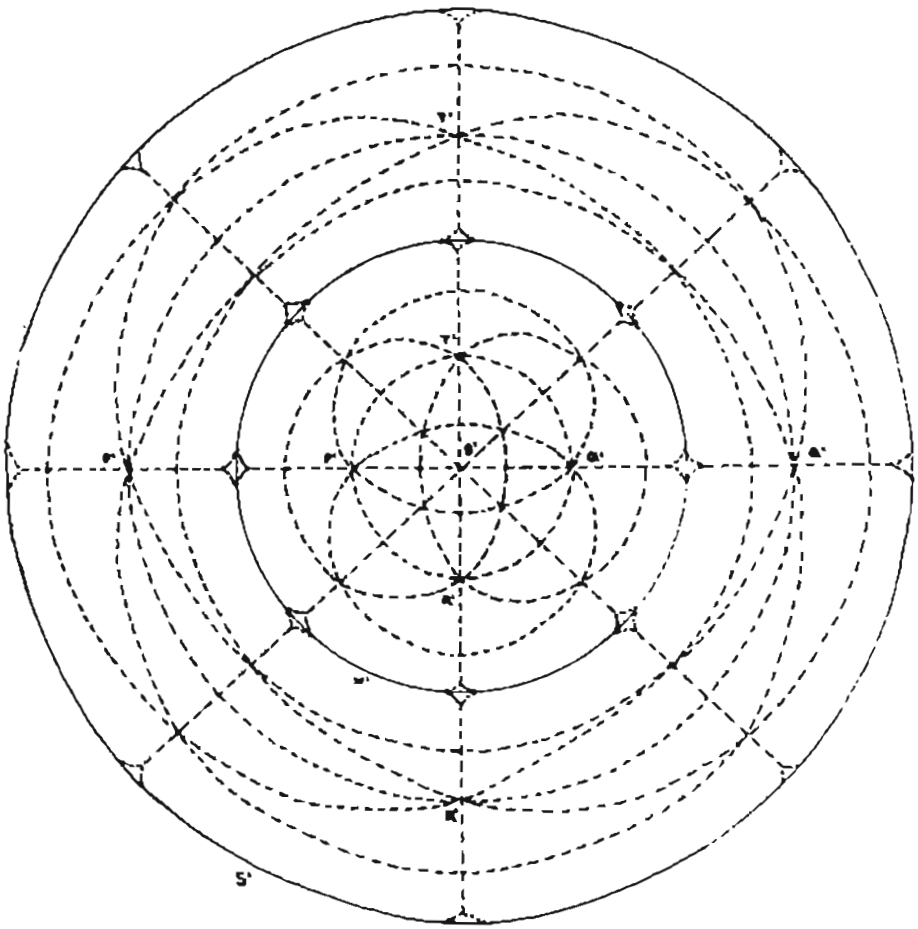
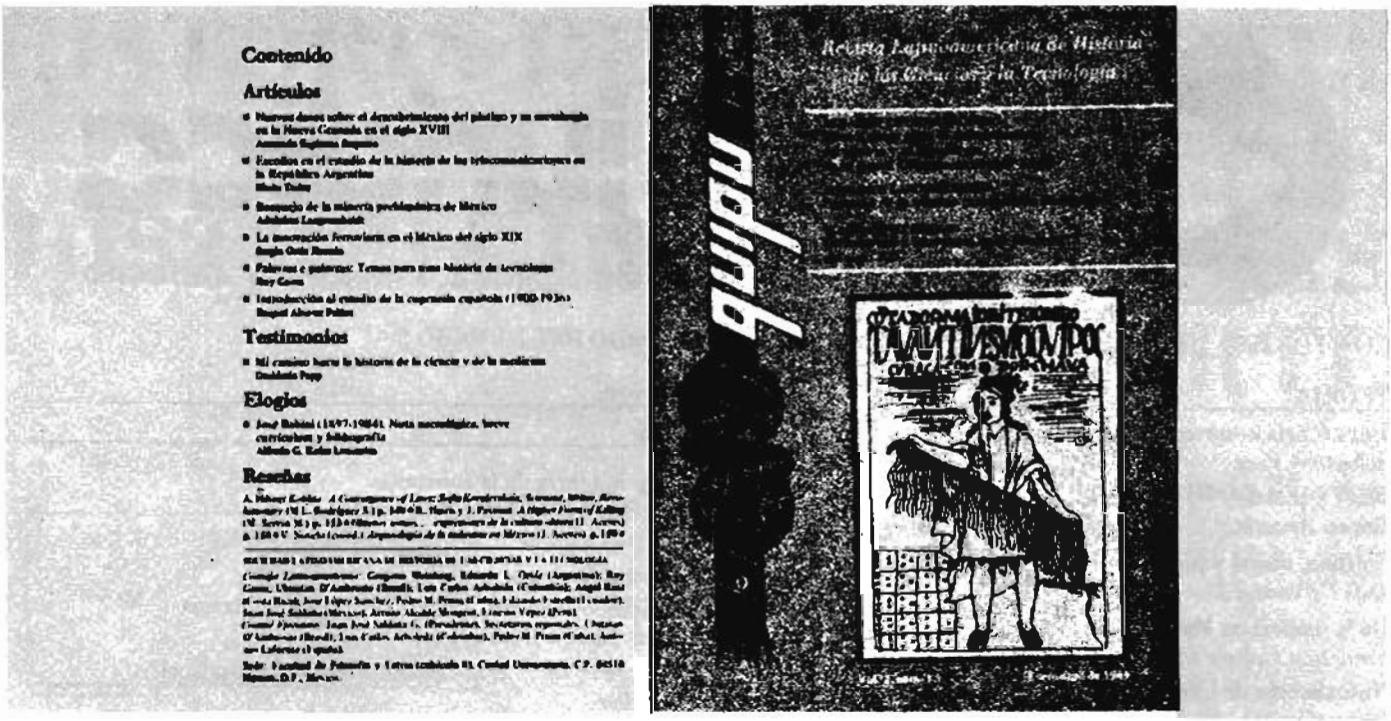



Figura No. 5 La rejilla de la perspectiva polar.




plaza hacia afuera y en forma radial la imagen aplanada de la anterior que, de ese modo, aparece como un anillo rodeando un círculo. El círculo circunscrito y el anillo circundante constituyen un todo coherente pues no tienen discontinuidad visual y representan una sola esfera de visión. Nótese que la razón por la que estas esferas aplanadas constituyen *una sola* imagen contínua y coherente, y no una sucesión discontínua de esferas aplanadas, está en el hecho de que las circunferencias que constituyen las fronteras entre unas y otras son, en cada caso, uno y el mismo punto gráfico compartido por las dos esferas aplanadas y que, además, es un punto único y preciso en la esfera de visión del observador hipotético. El mismo fenómeno de continuidad visual se repite con las nuevas esferas que se van aplanando a continuación. La figura 5 ilustra la rejilla típica de la perspectiva polar exhibiendo dos esferas aplanadas. Las figuras 6a y 6b son un ejemplo de obras de arte producidas con los principios de la perspectiva polar.

Así como se produce una imagen polar concéntrica aplanando una imagen esférica al situarla en el punto central de esfumamiento de otra, también se puede crear imágenes polares excéntricas construyendo la imagen esférica aplanada en uno cualquiera de los otros cuatro puntos fundamentales de esfumamiento de la esfera anterior ya aplanada.

Podemos recordar ahora que, en la perspectiva de esfera plana, el punto de esfumamiento N de la esfera que, al ser perforado y aplanado, se convierte en una circunferencia sufre una transformación importante: se convierte en un punto de esfumamiento divergente en vez de convergente, como lo era antes en la superficie de la esfera y como siguen siendo los otros puntos de esfumamiento en la esfera y en el plano. Esta situación incoherente de la perspectiva de esfera plana se supera cuando evoluciona a perspectiva polar, pues en ella el punto de esfumamiento divergente de la esfera aplanada se transforma en punto de convergencua en relación con la imagen de la primera esfera aplanada. En general, la perspectiva polar muestra que todos los puntos de esfumamiento funcionan tanto divergentemente como convergentemente. Así, la perspectiva polar, que comprende a la perspectiva de esfera plana, se convierte en un sistema de representación gráfica lógicamente consistente y visualmente coherente.

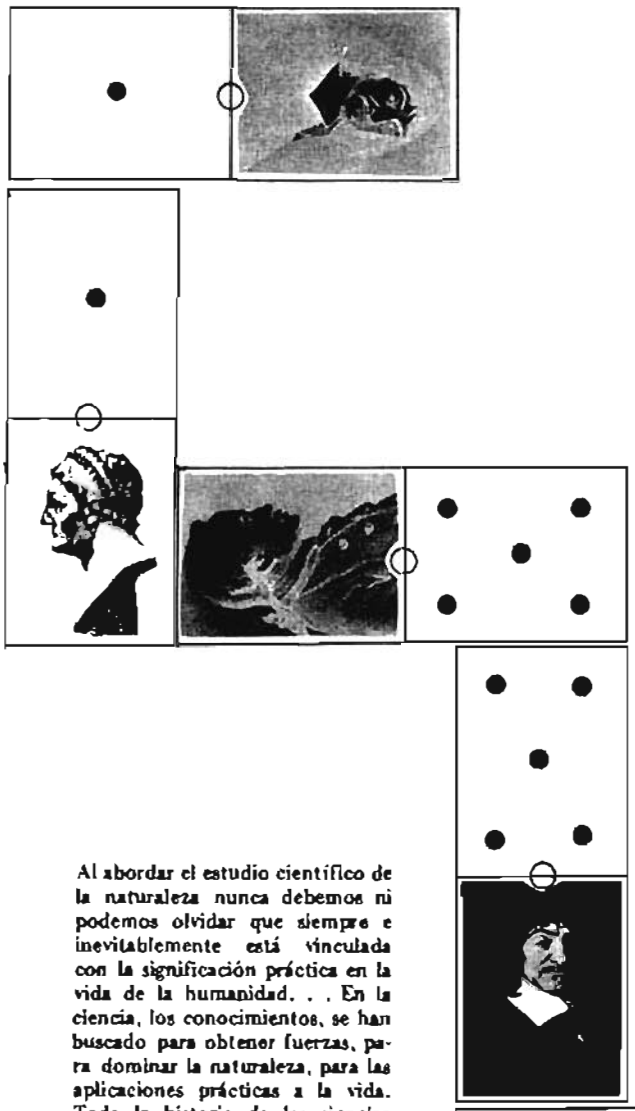
De esta manera, un observador que contempla trabajos realizados con perspectiva de esfera plana, tiene la extraordinaria experiencia de ver simultáneamente en todas direcciones. Asimismo, al observar una representación con perspectiva polar, ve una imagen coherente, no sólo en todas las direcciones, sino también su progresión en el tiempo.

Volviendo a la figura 4, podemos notar que, en la superficie de cada esfera de visión, existe una imagen de las tres dimensiones del espacio visual circundante al observador hipotético. Cada una de estas tres dimensiones está contenida en la superficie de estas esferas y de hecho está representada por uno de los tres círculos mayores dibujados en ellas, Aparte de estas tres dimensiones, la figura 4 representa la dimensión Pz que es la dimensión a lo largo de la cual se conectan las esferas de visión en sucesión temporal. Por esto podemos referirnos a la dimensión Pz como a "el tiempo". Casas, por otra parte, explica cómo esta dimensión puede representar no s-olo el tiempo, sino también una cuarta dimensión espacial. Es decir Pz en la figura 4 representa una dimensión gráficamente distinta y perpendicular a las tres dimensiones originales contenidas en las esferas. Esta dimensión Pz puede dibujarse, junto con las otras tres, creando una imagen en perspectiva de un mundo de cuatro dimensiones espaciales. Tal mundo cuatridimensional aparece en la figura 7: una pintura de Casas en la que vemos por encima de las conocidas tres dimensiones espaciales que son dadas por una imagen polar con dos esferas aplanadas, un personaje y su perro que se proyectan a lo largo de una cuarta dimensión.

Cochabamba, Bolivia.

# HISTORIA DE LA FILOSOFIA E HISTORIA DE LAS CIENCIAS 1era PARTE

**Lourdes Rensoli Laliga, Florinda Marón Domínguez***



**Al abordar el estudio científico de la naturaleza nunca debemos ni podemos olvidar que siempre e inevitablemente está vinculada con la significación práctica en la vida de la humanidad. . . En la ciencia, los conocimientos, se han buscado para obtener fuerzas, para dominar la naturaleza, para las aplicaciones prácticas a la vida. Toda la historia de las ciencias naturales y de las matemáticas está penetrada e impregnada por la conciencia del poderío que el saber aporta al hombre.**

V.I. Vernadski (*La materia viva*)

## Introducción

La elección de una de las más notables ideas sobre la proyección humana de la ciencia del académico Vernadski, pretende expresar nuestro reconocimiento a su labor integradora. El modesto alcance de este trabajo no va más allá de señalar algunos factores dignos de consideración, a nuestro juicio, si de dilucidar se trata el alcance de esa "conciencia de poderío" que el saber afirma en el hombre.

El saber humano, por cuanto es saber, y por cuanto es inevitablemente *humano* ya sea en un sentido constructivo o destructivo, en los planos teórico y práctico, tiene un carácter sintético, que a lo largo de la historia se ha manifestado de las formas más diversas, ya sea a través de una relativa armonía entre sus ramas, ya sea en contradicciones y oposiciones, que rompen o no, según el caso, la unidad del conjunto. Es así que cada uno de los elementos que integran este saber unificado sólo puede convertirse en objeto de estudio independiente de manera relativa, debido a que su separación del conjunto vivo que caracteriza cada etapa histórica constituye en sí mismo una abstracción. Toda abstracción es un arma poderosa, un acto necesario del conocimiento, siempre que

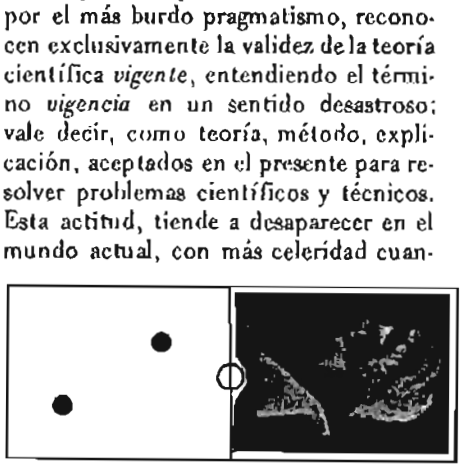
Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1, Impreso en México.

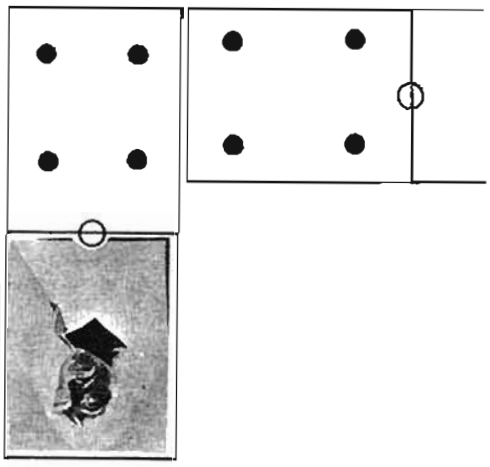
no se olvide que no es más que eso: un arma. El análisis metafísicamente programado de las formas del conocimiento, con conciencia o sin ella por parte de los estudiosos, puede conducir a resultados parciales, pero nunca conseguirá ofrecer una visión orgánica de la disciplina abordada ni mucho menos del conocimiento en general.

Nadie duda del lugar que ocupan, salvando diferencias de tiempo y espacio, la filosofía y las ciencias particulares en ese sistema. El reconocimiento de la importancia de las producciones científicas sobre todo naturales y filosóficas, para caracterizar una época, es prácticamente unánime. No lo es, sin embargo, el de los nexos indisolubles que a lo largo de la historia han existido entre éstas, ni mucho menos de las causas de estos nexos. Más aún: el estatus de ciencia, de la historia de la filosofía, ha sido con una visión en extremo parcial de la complejidad y alcance de la primera, se ha tendido a encontrar en ella, cuando menos —y no nos referimos, por supuesto, a la postura marxista-leninista en torno al problema— una forma de autoconocimiento por parte del hombre, un retorno crítico a su pasado en el cual podrían encontrarse soluciones y advertencias para el presente y para el futuro. Muy a menudo llega a compararse la "perennidad" del valor de las producciones filosóficas con la propia de la obra de arte, entendidas una y otra como simples objetos de contemplación. Se reduce el arte a museo; se reduce a galería la historia de la filosofía, cuyas muestras se engarzan por hilos débiles, imprecisos y hasta ficticios.

En el caso de la historia de la ciencia, el propio término *historia* ha hecho asomar múltiples sonrisas en labios de quienes, impulsados por estrechez de miras o por el más burdo pragmatismo, reconocen exclusivamente la validez de la teoría científica *vigente*, entendiendo el término *vigencia* en un sentido desastroso: vale decir, como teoría, método, explicación, aceptados en el presente para resolver problemas científicos y técnicos. Esta actitud, tiende a desaparecer en el mundo actual, con más celeridad cuando la integración de los conocimientos, la estrategia del desarrollo, los problemas de la coexistencia pacífica y la conservación del medio ambiente, demuestran la urgente necesidad de profundización en el enfoque sistemático de la realidad y de los conocimientos sobre la misma. J.D. Bernal, pionero en la concepción de una ciencia sobre la ciencia, destacó el aspecto histórico, no como el recorrido por el pasado que permite *comprender* el presente, sino actuar, conscientemente sobre el momento actual y sobre el futuro, insertados ambos en la trayectoria infinita de la historia del hombre. Por eso también, conocer el desarrollo de la ciencia es conocer al hombre, su evolución inseparable de la organización social, y las vías y formas para lograrlo. Este propósito, figuraba desde distintos ángulos en el pensamiento de los clásicos del marxismo, que vieron en el desarrollo de la ciencia una de las formas de manifestación más notables de la historia, punto de engarce de las fuerzas económicas que determinan este proceso, y el conjunto de las producciones ideológicas. La continuidad y discontinuidad del devenir de estos factores permite, en definitiva, la transformación consciente y activa de la realidad.

La historia de la filosofía y la historia de las ciencias son pues, ciencias de distinto nivel de generalización, cuyos objetos de estudio se diferencian, cuyos resultados poseen la autonomía propia de disciplinas sólidamente fundamentadas. Sin embargo sus nexos, no sólo como constituyentes del sistema de la *historia* del hombre sino como factores de mutuo impulso o retardo, exigen un tratamiento peculiar. Sin pretender agotar tal estudio, cuya perspectiva se ensancha felizmente cada vez más, trataremos de aproximarnos a algunos de los problemas planteados por dicha correlación, que han provocado ya frecuentes discusiones, tanto en congresos y tratados sobre filosofía, como en homólogos sobre historia de la ciencia, cuya propia instauración hace más que evidente la importancia que cobra cada vez más esta última.





Hemos dividido este trabajo en tres aspectos, que, según se verá, se ven obligados a incluir muchos otros que ameritan un tratamiento mejor y más detenido:

1. Nexos y diferencias entre la historia de la filosofía y la historia de las ciencias.
2. Mutua necesidad de ambas disciplinas. Límites de la influencia recíproca.
3. La perspectiva humanista y la síntesis del saber.

Esperamos contribuir en alguna medida, a la realización del propósito expuesto por V.I. Lenin en sus *Cuadernos filosóficos:* "La continuación de la obra de Hegel y de Marx debe consistir, en la elaboración *dialéctica* de la historia del pensamiento humano, de la ciencia y la técnica".[1]

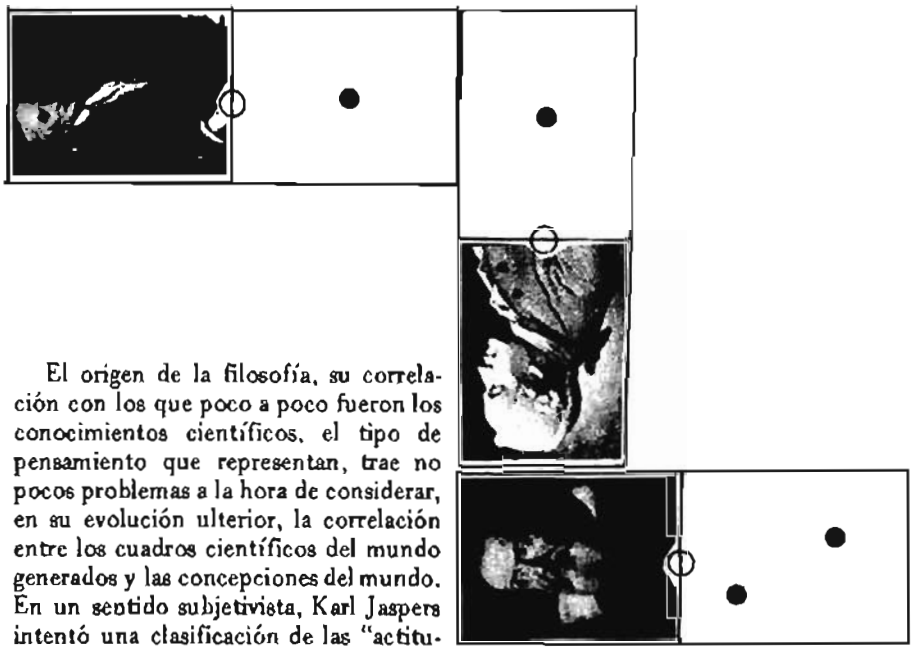
## Historia de la filosofía e historia de las ciencias: nexos y distinciones

La filosofía surgió como una *ciencia*, es decir, un saber abarcador en sentido universal, según las concepciones de los antiguos. En sus inicios, contuvo reflexiones en torno a la realidad y al hombre

1. Lenin, V. I. *Cuadernos filosóficos*. Ed Política. La Habana, 1964, p. 140.
Esta idea se complementa con las expresadas en los documentos de nuestro Partido Comunista con respecto a la política científica. Al establecer las líneas generales para el desarrollo científico en nuestro país, se resaltan, no sólo los aspectos filosóficos que han influido sobre éste a lo largo de la historia y cómo ciencia y filosofía fueron resultantes de condiciones muy peculiares, sino la necesidad de tomar en cuenta la historia de las ciencias para elaborar una estrategia del desarrollo científico. Así, se dice: "Este colonialismo económico, político y cultural contribuyó a deformar a cierta parte de la intelectualidad. Algunos científicos y técnicos, influidos por el espejismo superestructural de la alta técnica norteamericana, desinformados sobre lo que ocurría en los países del sistema socialista, y carentes de una base ideológica marxista-leninista, concibieron una falsa imagen del desarrollo mundial de la ciencia" (*Tesis y resoluciones, Primer Congreso del PCC*, Eds. del ODR. La Habana, 1976, p. 429).

en general, en las cuales se entrelazaban lo generalizador en sentido filosófico, y lo científico-natural. Si seguimos de cerca la propia formación del aparato categorial de la filosofía, encontraremos que sus primeras producciones se atienen exclusivamente a una terminología extraída del lenguaje común, poético, religioso, científico, político. Esta peculiaridad del lenguaje denota un hecho objetivo sumamente revelador: el nivel de las sociedades antiguas en las que tuvo su origen la filosofía precedida por innumerables observaciones, ya fuera descriptivas, o generalizadas en forma cosmogónico-mítica, en torno a la naturaleza.

Han quedado atrás los intentos por atribuir la falta de una generalización de tal tipo a la existencia de una mentalidad "prelógica", criterio que engendrará, entre otras, la consideración del mito como simple "antecedente" de la filosofía y las ciencias "organizadas", si bien sus efluvios, más sofisticados, reaparecen de cuando en cuando en la literatura sobre estos temas.[2] El conocimiento del mundo evolucionó desde unidades sintéticas donde no era posible distinguir mas que principios de clasificación de disciplinas —para las cuales, sin embargo, se acumulaba poco a poco un considerable material empírico en la conciencia cotidiana y por la práctica— hasta el desmembramiento en cuerpos diferenciados, cada vez más independientes.



El origen de la filosofía, su correlación con los que poco a poco fueron los conocimientos científicos, el tipo de pensamiento que representan, trae no pocos problemas a la hora de considerar, en su evolución ulterior, la correlación entre los cuadros científicos del mundo generados y las concepciones del mundo. En un sentido subjetivista, Karl Jaspers intentó una clasificación de las "actitudes" productoras de las concepciones filosóficas cuyo sentido generalizador "complementa" al "descriptivo" de las ciencias[3] en activas, contemplativas, autorreflexivas, que es de todo punto imposible de aceptar por el reduccionismo que trae aparejado el criterio clasificador: la identificación entre actitud individual y el sentido histórico que condiciona esa actitud. Pese a todo, Jaspers reconoció la existencia de un elemento común a las producciones filosóficas y científicas que sería de imprescindible análisis, despojado, desde luego, de su carga irracionalista; lo que denominó "técnicas de pensamiento", que reduce a líneas de continuidad entre actitudes en la búsqueda del saber, pero que no carecen, según expresamos, de un aspecto racional. Tanto la filosofía como las ciencias naturales, sin contar con otras formas del saber humano, responden a estilos de pensamiento, que no pueden por su parte, ajustarse a modelos estrictos, ni exactamente a la clasificación propuesta por este autor; pero que denotan la unidad del conocimiento humano, no sólo por el interés común en abordar la realidad, sino por las perspectivas desde las cuales esto se lleva a cabo. De aquí surgió la idea de una "sicología" de las concepciones del mundo, que en la actualidad se reconoce, al igual que la sicología de la ciencia, como una necesidad de la investigación. Esta línea de estudios ha sido cultivada con éxito por marxistas, que han enfatizado la función de la intuición, de la imaginación, la voluntad y las emociones como factores actuantes en el proceso de la creación científica. Kedrov, Kelle, Blauberg, Yarovshevski, han escrito al respecto. Para este último, por ejemplo, la actitud sicológica más propicia para la creación científica obedece a motivaciones que van, desde el amor al saber y a sus efectos positivos para la humanidad, hasta la obtención de beneficios personales, ya sea el reconocimiento social, la autoafirmación de la personalidad, o el mejoramiento del propio estatus económico, que "no han de tomarse forzosamente en sentido peyorativo".[4]

Sin embargo, la tendencia sicologizante ha tenido continuadores en nuestros días que, pese a producir obras de interés para el conocimiento de figuras y periodos, reducen a motivaciones espi-

2. La teoría de Lévy-Bruhl (*La mentalité primitive*. Librairie Félix Alcan, Paris, 1922), que complementó su obra anterior: *Les fonctionsmentales dans les sociétés inférieures*, en la que: la "violación del principio de contradicción", peculiar de la ciencia, distingue la noción dialéctica de la transmutación recíproca de las cosas presente en el pensamiento primitivo cosmológico, no sólo dejó sus huellas, como Malinosvki, en estudios posteriores del mito (Lévy Strauss, Frankfort, Jakobsen, Eliade), sino en historiadores de la ciencia, como G. Bachelard, que niega a la antigüedad la paternidad de la ciencia, la cual ha de formarse en contra de la experiencia, de la naturaleza. Así, sólo la mentalidad del racionalismo, dominada por la lógica frente al "caos" de la experiencia, pudo generar la ciencia (véase: *La formación del espíritu científico*. Argos. B. Aires 1984) L. Hull contrapone el espíritu "aventurero e imaginativo" de la civilización homérica, con el espíritu científico de la Grecia clásica (véase: Hull, J. *Historia y filosofía de la ciencia*. Eds. Ariel. Barcelona, 1961, p. 27 y sigs).

3. Jaspers, K. *Psicología de las concepciones del mundo*. Ed Gredos Madrid, 1967. Las "imágenes del mundo" son "condiciones y consecuencias de la existencia anímica", pues el carácter psicológico de la relación sujeto-objeto, hace que este par se desdoble en actitudes e imágenes, ya se aborde el saber desde el punto de vista de la conciencia que lo elabora, o como resultado de esta conciencia.

4. Yaroshevski, M. *Revista Ciencias Sociales*. Academia de ciencias de la URSS, 1974, No. 1.

rituales el proceso, de forma que la actitud científica llega a indeferenciarse de otras actitudes, al desconocer los factores objetivos que determinan las inclinaciones personales, o al menos las moldean. Con esto distorsionan también la caracterización de etapas completas de la historia de la ciencia. Como ejemplo, puede citarse la obra de A. Koestler en torno a la cosmología de la Epoca Moderna,[5] en la cual se contrapone la "integralidad espiritual" de J. Kepler, cuyo principal cohesionante es, a su juicio, la conciencia religiosa, con la "incredulidad" y "arrogancia" personales de G. Galilei, con lo que la obra deviene intento conciliatorio entre ciencia y religión. Una mentalidad científica, desprejuiciada, sería, cuando menos, unilateral desde esta óptica.

Chocamos aquí con un problema, a la hora de considerar más profundamente este nexo en relación con los restantes posibles: ¿a qué estilos de pensamiento científico y filosófico nos referimos?. Los caminos de las ciencias y la filosofía en lo que se ha dado en llamar "Occidente" y el mundo no europeo han sido diferentes, y hasta opuestos a lo largo de la historia. De ahí que, con lamentable frecuencia, la historia de las ciencias y de la filosofía se conviertan en historia de las ciencias y la filosofía "occidentales", entendiendo como tal Europa y los territorios que intervinieran directamente en su devenir. La calidad de "anecdotario", de "curiosidad" que encontramos en los análisis al respecto cuyas pretensiones son, sin embargo, de alcance "universal", es una insuficiencia sobre cuyas repercusiones negativas en el terreno investigativo trataremos más adelante. Esta ha engendrado su colorido en la abundancia de historias de la filosofía y de la ciencia "orientales", "latinoamericanas", etcétera, que no persiguen siempre el encomiable propósito de afirmar la autenticidad de tales formas del conocimiento en otras partes del mundo, sino de recorrer, o bien el arribo de los descubrimientos europeos a éstas, o bien, su "superioridad" e "independencia" absoluta. Esta pretensión tiene nefastas consecuencias en el terreno político y en el económico, pues apunta hacia un nacionalismo dirigido a crear, en los países subdesarrollados, una conciencia antitética hacia los llamados "modelos europeos" del desarrollo, entre los cuales se ubica, en ocasiones, con propósitos diversionistas, al marxismo y su concreción política económica y científica en el campo socialista. Asimismo, tanto unos como otros resquebrajan la unidad del conocimiento como conquista del hombre. Marx señaló los efectos destructivos de la colonización y los aspectos negativos del eurocentrismo,[6] pero también los efectos positivos que trajo, para países en un grado inferior de desarrollo, en contacto con Europa, aunque se diera bajo una forma tan nociva y contradictoria.

Una concepción científica de las disciplinas que nos ocupan exige pues de requisitos previos que influirán en el lugar asignado, en cada época, a la filosofía y a las ciencias en el sistema de las relaciones sociales, de los conocimientos, de sus funciones sociales. Sólo dentro de este marco podremos enfrentar otros problemas también de gran peso: qué es el "estilo de pensamiento" en una época, qué especificidad adquiere en el caso de las ciencias y de la filosofía, qué factores condicionantes de toda la ideología, actúan sin embargo con más fuerza en una o en otra.

Estos problemas que nos plantea de inmediato una visión, incluso superficial, de las ciencias que nos preocupan, conducen a la necesidad de la presición del objeto de estudio de la historia de la filosofía y de la historia de las ciencias respectivamente, así como de los sectores comunes entre estos objetos. Para mejor comprensión del problema, analizaremos primero por separado cada una.

Acerca de la historia de la filosofía se han adoptado las posturas más diversas. Entre los autores no marxistas, se reconoce con gran frecuencia su función autorreflexiva, aunque con perspectivas en extremo limitadas o distorsionadas. Así, se vuelve retorno sobre sí mismo del espíritu —en sentido religioso— del conocimiento positivo del mundo, que se revaloriza a cada paso, o del hombre, que se reencuentra en cada momento de la historia. Estas actitudes se reparten entre el irracionalismo (Abbagnano, Jaspers, Spengler, etcétera), el pensamiento religioso (Dasgupta, Ikeda, Brehier, De Wulff, etcétera) y neopositivistas y neokantianos (Windelband, Cassirer, Russell, entre otros). No constituyen estas vertientes bloques homogéneos, ni absolutamente inmanentistas, pues abundan en ellos las referencias, a menudo serias y profundas, aunque parciales, a la relación entre la filosofía y el sistema de las relaciones sociales. R. Mondolfo, neohegeliano cuya postura se acerca, sin identificarse por entero, al último grupo, considera que:

> ". . .la reconstrucción histórica del desarrollo de la filosofía aparece como un reconocimiento del camino recorrido por el proceso de formación progresiva de la conciencia filosófica, vale decir, como una conquista de autoconciencia. Y de ahí se evidencia el error de toda orientación antihistórica de los filósofos y la necesidad de la reconstrucción histórica como fundamento y condición previa de la investigación teórica"[7]

Se reduce de esta forma, el devenir de la filosofía al de la autoconciencia al ámbito gnoseológico, que se presenta independiente de cualquier aspecto práctico, en función de un humanismo inevitablemente parcial. La historia es premisa para el conocimiento de las esencias y contornos de los objetos presentes de reflexión. Carece de otro cometido. Es saber y constatación de la originalidad de dicho saber, vale decir, del progreso. Los vínculos con la realidad se hacen imprecisos en esta concepción,

5. Koestler, A. *Los sonámbulos.* Colección ciencia y desarrollo. Ed. del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. México, 1981, en particular, de la cuarta parte, el cap. 2 ("El misterio cósmico") y el cap. 4 ("Kepler y Galileo").

6. Marx, C. *El Capital* Ed. de Ciencias Sociales, La Habana, 1973 t. I., cap. XXV "La moderna teoría de la colonización". En la misma obra, el análisis del personaje "Robinson" (pp. 43-44) ofrece un punto de partida para reflexiones análogas. Véase también los artículos de Marx "La dominación Británica de la India", y "Futuros resultados de la dominación británica en la India" (*Obras escogidas en tres tomos.* Ed. Política; La Habana, 1965, t. I). Se refiere aquí no sólo a los aspectos negativos y antihumanos, sino desmistifica la aureola "dorada" de la antigüedad en el Oriente y señala los defectos de la administración inglesa sobre las formas de producción, la unificación de países y las posibilidades de ampliación cultural, "única revolución social" vista en Asia hasta su época.

7. Mondolfo, R. *Problemas y métodos de investigación en la historia de la filosofía.* Eudeba. Ed. Universitaria de Buenos Aires, 1963, p. 31.

que no logra apartarse del conjunto de las tendencias contemplativas. Elegimos a este pensador, pues es, dentro de la filosofía burguesa contemporánea, uno de los más notables investigadores, que se caracteriza por partir de la historia como un sistema complejo de elementos, en los cuales se integra la producción filosófica, y por ende, pueden hallarse en sus obras interesantes ejemplos de enfoque dialéctico, no consecuente. En otros casos, el reduccionismo en la perspectiva deviene incluso a historicismo, al desconocer el progreso, las tendencias en la problematización y sus respuestas, la continuidad, en suma.

En relación con la historia de la filosofía, Engels escribió: "El pensamiento teórico de toda época, incluyendo por tanto la nuestra, es un producto histórico, que reviste formas muy distintas y asume, por tanto, un contenido muy distinto también, según las diferentes épocas. La ciencia del pensamiento es, por consiguiente, *como todas las ciencias, una ciencia histórica* la ciencia del desarrollo histórico del pensamiento.[8] Marx por su parte, señaló lo siguiente: "La reflexión acerca de las formas de la vida humana, incluyendo por tanto el análisis científico de ésta, sigue en general un camino opuesto al curso real de las cosas. Comienza *post festum* y arranca, por tanto, de los resultados preestablecidos del proceso histórico".[9]

Esta concepción acerca de la historia de la filosofía no sólo es esencialmente distinta de las mencionadas, sino que contiene y supera sus aspectos racionales. La ciencia histórico-filosófica se caracteriza como una ciencia sobre una de las formas del desarrollo histórico, que no puede por tanto, prescindir del análisis en sistema del devenir social, marco de las ideas filosóficas, y que, como toda ciencia histórica, debe proponerse dilucidar, no sólo las causas que condicionan dichas ideas en cada momento, sino las leyes que rigen su desarrollo, de manera general, y por etapas. Es también entonces autorreflexión: pero no sólo esto, sino indagación del sentido de esta autorreflexión, a partir de la comprensión del fenómeno humano como conjunto de relaciones sociales, y de su precisión de límites y contenidos por consiguiente. Hemos subrayado intencionalmente una parte de la cita, que nos servirá para establecer la correlación que nos interesa.

En consecuencia con esto, el académico M. Iovchuk afirma que "la historia marxista de la filosofía investiga en primer lugar el desenvolvimiento de la filosofía materialista y su pugna con el idealismo, la sucesión de formas y tipos de materialismo, y también en la gestación, aparición y desarrollo de la dialéctica y su lucha contra la metafísica". Y más adelante, se refiere a que "investiga también la gestación, aparición y desarrollo de las categorías más importantes del conocimiento".[10] Si bien es indisoluble el enfoque partidista del análisis científico de la historia de la filosofía, debemos objetar, por nuestra parte, a esta definición, que no abarca completamente el hecho de que, como afirman Marx y Engels, el pensamiento filosófico, pese a las contradicciones que encierra, por la lucha de partidos y entre la dialéctica y la metafísica, posee unidad dada por la continuidad del proceso histórico y la comunidad de factores condicionantes en las diversas épocas, aunque algunos de estos factores pesan con mayor fuerza que otros en las vertientes coexistentes en un mismo periodo.

Tanto los clásicos del marxismo-leninismo como los autores marxistas, subrayan un aspecto al que hemos de dirigir nuestra atención: la necesidad del análisis de las producciones científicas, de su historia y tendencias, para la caracterización de la historia de la filosofía. Engels, al respecto, se refiere a que "los filósofos no avanzaban impulsados solamente, como ellos creían, por la fuerza del pensamiento puro. Al contrario. Lo que en realidad les impulsaba eran, precisamente los progresos formidables y cada vez más raudos de las ciencias naturales y de la industria".[11] De ahí lo imprescindible para el estudioso de la historia de la filosofía, del conocimiento de la historia de las ciencias, no sólo como colección de datos ilustrativos que puedan servir de marco a su análisis, sino como concepción orgánica del conocimiento científico que determina –y es determinada a su vez– por la filosofía a lo largo de su desarrollo. De ahí que, como se destaca en la cita No. 5, la ciencia acerca de las ciencias, si aspira a serlo, debe tener un carácter histórico, que es indisoluble de otras formas del pensamiento, porque, tanto la filosofía como las ciencias particulares son formas del pensamiento, en primera instancia. La ciencia abarca sin embargo, además del conocimiento científico, la práctica científica que lleva aparejada, como su causa y consecuencia, unida a la vida de la sociedad en mayor o menor grado según el periodo y la sociedad de la que se trate.

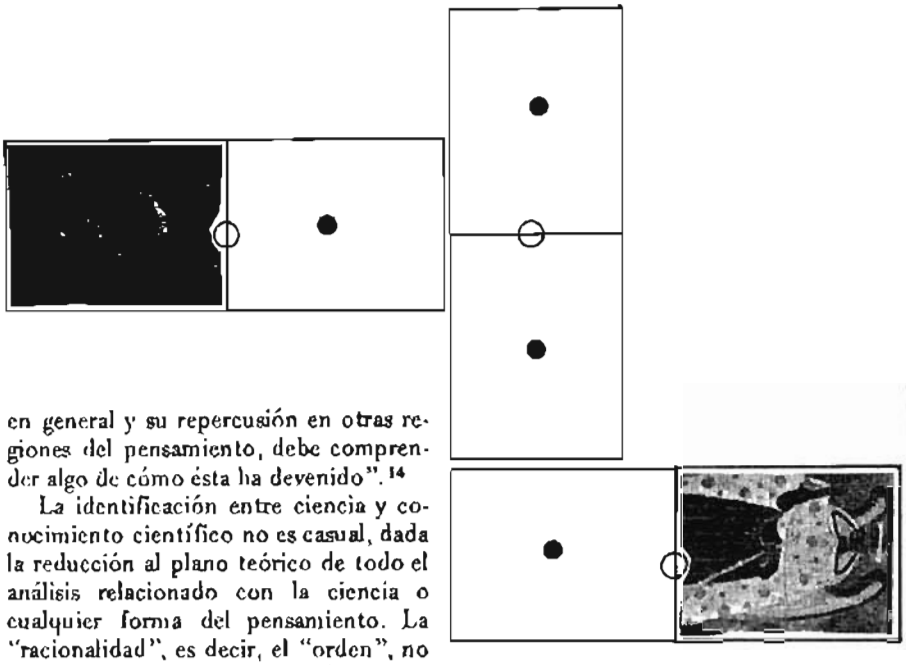
Debemos ahora atender a algunas definiciones del objeto de la historia de las ciencias, con el fin de determinar análogamente su función en el sistema de los conocimientos.

En el pasado siglo, por ejemplo, L. Brunschvicg intentó la construcción de una historia de la filosofía y una historia de las ciencias fundidas en su sentido más "racional" y acabado por las matemáticas, únicas factibles a su juicio, de otorgar cientificidad a la filosofía. A ella "corresponde revelar la libertad de las invenciones cuyos datos intuitivos han sido solamente la ocasión, la diversidad, la infinidad de los recursos que el espíritu acumula para la organización del universo".[12]

En la primera mitad de nuestro siglo proliferaron los llamados enfoques "internalistas" de la ciencia y su historia, entre los cuales podemos citar el de W.C. Dampier, para quien la ciencia "puede ser definida como *conocimiento organizado* de los fenómenos naturales, y el *estudio racional** de las relaciones entre los conceptos mediante los cuales estos fenómenos se expresan".[13]

En torno a la historia de la ciencia, considera este autor que "probablemente las reconstrucciones filosóficas e históricas están vinculadas por el hecho de que, mientras el matemático o el científico experimental empeñado en algún problema específico, necesita sólo un conocimiento de la obra de sus predecesores inmediatos, el que estudia el significado más profundo de la ciencia

8. Engels, F. *Dialéctica de la naturaleza.* Ed. Política. La Habana, 1979. p. 23.
9. Marx, C. *El Capital*, t. I. p. 43.
10. Iovchuk, Cizerman y otros. *Historia de la filosofía.* T. I. Ed. Progreso, Moscú, 1981, p. 10.
11. Engels, F. *Ludwig Feuerbach y el fin...* En: *Obras escogidas*, t. 3. p. 235.
12. Brunschvicg, L. *Las etapas de la filosofía matemática.* Ed. Lautaro B. Aires, 1945, p. 15.
13. Dampier, Sir W.C. *A History of Science.* Cambridge at the University Press, 1948, p. XIII ("Introduction". Traducción, L.R. L.).



en general y su repercusión en otras regiones del pensamiento, debe comprender algo de cómo ésta ha devenido".[14]

La identificación entre ciencia y conocimiento científico no es casual, dada la reducción al plano teórico de todo el análisis relacionado con la ciencia o cualquier forma del pensamiento. La "racionalidad", es decir, el "orden", no es el reflejo de un proceso real, si no es apartado por el sujeto, que clasifica, interpreta y reduce a factores comunes los hechos. Es evidente la orientación "cientista" de este enfoque, propia de positivistas y neokantianos.

Aldo Mieli, otro ejemplo ilustrativo, coincide con Dampier al respecto.[15] En general, sin embargo, en la valoración de la existencia de un terreno común entre la historia de la filosofía y la historia de las ciencias como variantes del pensamiento, pero sólo eso. En esa posición se alínea A. Koyré, quien halla la síntesis de filosofía y ciencia en la religión, como "formas elevadas" de la espiritualidad.[16] Este ha realizado estudios meritorios, aunque parciales, de las relaciones de la ciencia y la cultura, frutos de un "medio intelectual", de un "estilo de pensamiento", en un sentido estrecho. También puede ubicarse en ella a H. Kearney, cuyas observaciones sobre las "tradiciones científicas" coexistentes en una época ofrecen gran interés, pese a su desconocimiento de los condicionantes objetivos.[17] Enmarca en una línea *Whig*, como reduccionistas, a marxistas y externalistas, que pretenden, a su juicio simplificar la historia de las ciencias, presentándola a modo de evolución de la superstición a la racionalidad, cual la concibiera la Ilustración.

En la actualidad, también entre autores no marxistas se ha perseguido definir la estructura, la línea que siguen las producciones científicas y sus vínculos con la sociedad, a través de revoluciones totales o parciales. Cabe aquí citar las conocidas obras de T. Kuhn, con su teoría de los paradigmas, que impiden incorporar al acervo científico elementos que significarían una renovación, hasta que las condiciones para la ruptura no se presentan; los "núcleos duros" de los programas investigativos de Lakatos.

En su artículo "Dialéctica de la historia de la ciencia", el estudioso búlgaro A. I. Kítov, considera lo siguiente:

> "La dialéctica de la historia de la ciencia posee un gran significado heurístico. Esto es una condición esencial para el conocimiento correcto presente, y en particular, futuro, de la ciencia. . ."

La dialéctica de la historia de la ciencia se caracteriza por algunas etapas. Su estudio y conocimiento permite no sólo descubrir las tendencias generales del desarrollo de la ciencia, sino también comprender correctamente las etapas actuales, y sobre todo, futuras, de su desarrollo.[18]

Esta definición puede compararse con otras como la que ofrece R. Gumppenberg: "La historia de la ciencia puede por ende, concebirse, en cierto sentido, como dialéctica de la acción recíproca, que se amplía o intensifica continuamente, entre la filosofía y las ciencias particulares. Esto no significa sin duda, entender como si se basara el progreso de las ciencias en un proceso de transformación autónomo. Son además las necesidades objetivas, materiales de la producción y de la vida práctica, la que promueven el desarrollo de las ciencias, en un radio dado y siempre creciente".[19]

B. Kedrov, por su parte, establece que:

> ". . .los aspectos material y espiritual del desarrollo sujeto a ley, de las ciencias naturales, deben tomarse unificados y en su interdependencia, teniendo en cuenta el papel determinante (en fin de cuentas) de la práctica respecto a la teoría (. . .) *Descubrir la ley fundamental del desarrollo de las ciencias naturales significa*, ante *todo, esclarecer qué causas materiales*, cuyas raíces se encuentran en fin de cuentas en las condiciones de la producción social, *condicionan su desarrollo*".[20]

Partiendo de un enfoque marxista, consideramos como tarea imprescindible del historiador de las ciencias la investigación también en sistema, del conjunto de las relaciones sociales que determinan el desarrollo de las ciencias, en relación directa con la producción material en

14. Dampier, Sir W.C. op. cit., ("Preface", p. VIII, trad. L.R.L.).
15. Mieli, A. *Panorama general de la historia de la ciencia I. El mundo antiguo.* Espasa-Calpe Argentina, S.A. B. Aires, 1945, cap.I.
16. Véase: Koyré, A. "*Orientación* y proyectos de investigación". En: *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, editores, México, 1980.
17. Véase: Kearney, H. *Orígenes de la ciencia moderna, 1500-1700.* Eds. Guadarrama. S.A. Madrid, 1970, "Introducción", y "tres tradiciones de la ciencia".
18. Kítov, A.I. "Dialektika istorii nauki". En: *Trudi XIII medjdunarodnove kongressa po istorii nauki.*
Sektsia I. "Obchie problemi istorii nauki i tejniki" izdatelstvo "Nauka". Moskva. 1974, s. 197 (trad. L.R.L.).
19. Gumppenberg, R. "Wissenschaftageschichte als Dialektik" En: *Trudi*, s. 57 (trad. L.R.L.)

cada etapa, con vistas a definir leyes en este desarrollo, que permitan no sólo establecer la continuidad entre teorías del "pasado", sino comprender la ciencia actual y su futuro devenir. Está claro además, que los historiadores de la ciencia consideran para su tarea tan necesario establecer las relaciones con las concepciones del mundo, como los de la filosofía exigen la consideración del cuadro suministrado por las ciencias en calidad de elemento imprescindible para la suya. ¿Dónde están pues, las diferencias? Se trata hasta ahora, de dos ciencias que parten del análisis del sistema de la sociedad, que procuran hallar en ésta los factores condicionantes de los fenómenos que les interesan, que buscan leyes de formación y desarrollo. Cada una pretende una función generalizadora —y lo consigue—, por lo demás, ¿En qué radica entonces, la especificidad de cada una?

Para responder esto, a nuestro juicio ha de entenderse la naturaleza del conocimiento cuyo desarrollo recoge cada una. Si el conocimiento filosófico pretende una generalización, extraída de la reflexión acerca de todas las formas de la realidad, sintetizadas en conceptos tan amplios como los de ser, pensamiento, verdad, actuación, devenir, etcétera, el conocimiento científico aspira a determinar las leyes y características generales que presiden los fenómenos, según sus géneros, para lo cual deben clasificarlos indefectiblemente con el fin de posibilitar un análisis que no resulta realizable sino entre fenómenos de un mismo nivel, o de niveles que posean una relación inmediata. Así, el electromagnetismo sólo considera fuerzas de atracción y repulsión, intensidad de cargas, etcétera. La biología molecular, requiere de la fisiología, la bioquímica, la física y química moleculares, por cuanto abordan un mismo fenómeno desde distintas perspectivas.

Hay que recordar aquí la vigencia de la clasificación de las ciencias llevado a cabo por Engels, en la cual se basan los historiadores marxistas para abordar el problema. Esta clasificación se orienta de acuerdo con la *forma de movimiento* a la que se dirigen las diferentes ciencias. Ya que ninguna pretende agotar las características de la realidad, sino desde una perspectiva determinada. La filosofía sí aventura conclusiones generales que a lo largo de la historia han sido, desmentidas, en todo o en parte, por las ciencias en conjunto.

Pero no hay que olvidar que conocimiento científico no equivale plenamente a *ciencia*. La ciencia incluye también la actividad social que condiciona su obtención y aplicación. El que la ciencia incorpore a su definición estos aspectos y la filosofía, pese a reflexionar también acerca de sus causas y consecuencias tenga una mayor autonomía, obedece a las relaciones con la vida material de la sociedad, propias de cada una.

Las ciencias particulares han marchado adelante impulsadas, sobre todo, por las necesidades de la técnica y de la producción. Hay excepciones, por supuesto. Ciertos descubrimientos no encuentran acogida social precisamente por la inmadurez o inexistencia de esas necesidades, *y han sido "reencontrados" posteriormente* en virtud de las mismas razones. Muchos problemas científicos, planteados muy temprano a causa del espíritu previsor de sus exponentes, sólo han hallado solución cuando se ha convertido en una exigencia social.[21] Por esto Engels expresó que "el hecho de que la sociedad sienta una necesidad técnica, estimula más a la ciencia que diez universidades".[22]

No se puede, por supuesto, esquematizar este importante hecho. Algunas ramas de la ciencia han avanzado impulsadas, al menos en buena medida, por la filosofía. Tal es el caso de Euclides, por ejemplo, quien sistematiza los descubrimientos geométricos en Grecia hasta su época, y en su método axiomático, evidencia las huellas de la correlación entre *doxa* y *ciencia*, propuestas por la escuela eleática y desarrolladas por atomistas y platónicos.

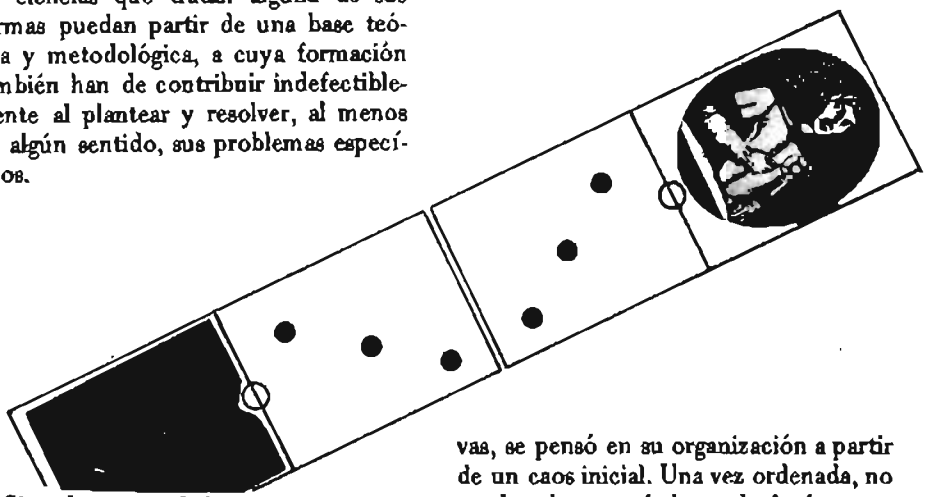
La delimitación entre el tipo de generalización acerca de la realidad brindada por la filosofía y la propia de las ciencias se hace más diáfana a medida que avanza la historia. En la "antigüedad" es en extremo difícil, sobre todo en la etapa prealejandrina (hasta el S. IV. a.n.e.). La escuela pitagórica, si no se atiende, por no hacer interminable la lista, a figuras como Demócrito,

20. Kedrov, B. "Sobre las leyes del desarrollo de la ciencia" En: *Revista Ciencias Sociales*. Academia de Ciencias de la URSS. 1974, No. 1. p. 30.
Esta idea se complementa con la siguiente: "Un componente importante del conocimiento científico es la interpretación filosófica de los datos de que dispone la ciencia, interpretación que constituye tanto su base metodológica como conceptual (. . .) El desarrollo de la ciencia necesita no sólo saber interpretar teóricamente los hechos, sino también analizar el propio proceso de su obtención y darse cuenta de los procedimientos generales a seguir para buscar lo nuevo. El estudio de semejantes problemas tiene carácter filosófico". Como se observa la correlación de los conocimientos científicos y filosóficos en su desarrollo, goza de aceptación prácticamente unánime (Kedrov, M.B. y Spirkin, A. *La ciencia*. Ed. Grijalbo, México. D.F. 1967, pp. 23-24).

21. Los ejemplos interesantes al respecto abundan. Podemos citar, entre ellos, el análisis hecho por Marx acerca de la teoría aristotélica del valor, que pese a aproximarse a la teoría equivalencial del valor, no pudo hallar la "sustancia" de éste, al estar basada la sociedad griega, en la desigualdad entre esclavistas y esclavos, y por tanto, "entre los hombres y sus fuerzas de trabajo" (Marx, C. *El Capital*, t. 1. p. 27) Marx descubrió este concepto cuando las propias características de la sociedad capitalista no sólo permitían, sino exigían la develación de la naturaleza del valor, y existía además una serie de valiosas investigaciones en el campo de la economía política, qe suministraba una buena base. Otro ejemplo significativo es la concepción leibniziana acerca del desarrollo de la naturaleza, estructurada en niveles de organización jerárquicamente organizados. En embrión, y desde perspectivas idealistas, expuso un primer enfoque de la teoría de la evolución de la materia que no sería retomada hasta mucho después, con el estudio de los fósiles y de la formulación de hipótesis anticreacionistas por Lamarck y otros Thomas Kuhn, al referirse a la "ciencia normal", escribe que su realización "parece ser un intento de obligar a la naturaleza a que encaje dentro de los límites prestablecidos y relativamente inflexibles que proporcionan el paradigma. Ninguna parte del objetivo de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos: en realidad, a los fenómenos que no encajarían dentro de los límites mencionados frecuentemente ni siquiera se los ve". (*La estructura de las revoluciones científicas*. F.C.E. México, 1971, p. 53). Señala también Kuhn que el "descubrimiento del oxígeno no fue por sí mismo la causa del cambio en la teoría química"; sino la teoría de su combustión, elaborada por Lavoisier (op. cit., p. 98). Pese a obviar los factores en la vida material de la sociedad que dan lugar a tal proceso, es cierto que la imposibilidad de asimilación y solución de los problemas que traerían nuevos descubrimientos, dentro del cuadro del mundo imperante, es por lo general la causa de que se les salte como obvios o simplemente, queden como curiosidades sin aplicación general (los famosos autómatas del Renacimiento, que suelen ser tildados de legendarios).

22. Engels, F. "Carta a H. Starkenburg del 25 de enero de 1984" En: *Obras escogidas*, t. 3. p. 381.

Sócrates, Anaximandro, etcétera, basta para hacer comprender que la teoría posee, con mucha frecuencia, una indistinción casi total en estos casos. No creemos que el problema pueda resolverse en el marco de una discusión en torno a los nexos entre la historia de la filosofía y la historia de las ciencias, puesto que la indiferenciación, total o parcial, según sea el caso, es un rasgo *de la conciencia social en su conjunto* en la antigüedad, sea griega, china, o en el caso de otras civilizaciones. Corresponde pues dar los primeros pasos a la historia general como disciplina, y al materialismo histórico en calidad de ciencia general en torno a la sociedad, sin que esto signifique en modo alguno que juzgamos la nuestra como tarea *a posteriori*, sino que se hace imprescindible un trabajo en torno a la evolución de la conciencia social para que las ciencias que tratan alguna de sus formas puedan partir de una base teórica y metodológica, a cuya formación también han de contribuir indefectiblemente al plantear y resolver, al menos en algún sentido, sus problemas específicos.



Si en la antigüedad parten filosofía y ciencias de la observación directa de la realidad y la formulación de principios, leyes, esencias —de tal comunidad es un resultado el propio lenguaje—, a cuya falta de significado preciso para cada disciplina nos hemos referido como resultado del escaso avance en éstas; ya en la época alejandrina el incremento del saber permitió, no sólo una clasificación de las ciencias, de acuerdo con su finalidad, teórica o práctica —es decir, aplicada o reflexiva—, sino el empleo de métodos diferentes, no siempre de manera totalmente consciente. La generalización empírica y el método axiomático quedaron dentro del ámbito científico particular, aunque en el caso de la primera, la delimitación no es total, mientras que la generalización, no a partir de resultados de la experiencia, ni sobre la base de principios "intuitivos" e "indefinibles", sino de otras generalizaciones de menor grado correspondientes a ámbitos particulares, quedó para la filosofía, convertida en "ciencia de las ciencias". La lógica formal aristotélica, con sus categorías de lo universal, lo particular y lo singular, fue el esquema que expresó esta perspectiva del pensamiento, sin que afirmar esto implique, de nuestra parte, negar la validez de sus postulados.

Esta concepción, vigente en general a lo largo de la edad media, al establecer la filosofía como una ciencia *"a posteriori"*, le negó, o más bien desconoció su función prognóstica. No era extraño tal hecho en un momento en el que imperaba una visión de la realidad como invariable. Si bien Aristóteles, historiador de la filosofía, reconoció un hilo conductor en el avance de estas ideas, no ocurría lo mismo en relación con la estructura de la naturaleza. En etapas más primitivas, se pensó en su organización a partir de un caos inicial. Una vez ordenada, no se alteraban sus órdenes de fenómenos. En la edad media, y desde la última etapa de la sociedad esclavista, en la que comienza a formarse e imponerse la teología cristiana, la filosofía se convirtió en un tipo de generalización intermedia, entre las ciencias particulares, que versarían sobre tipos de fenómenos naturales, y la teología, que abordaba las relaciones entre el cosmos y su creador, ya se tratara de árabes —en la época escolástica— o de cristianos.

Retornemos a los sistemas de Platón y Aristóteles, lo cual nos permitirá establecer una importante diferencia con respecto al problema que abordamos. Es reconocido el mérito de este último como historiador de la filosofía. ¿Fue empero, realmente, el fundador de esta disciplina? ¿se diluían en sus consideraciones al respecto observaciones propias ya dentro del terreno de la historia de la ciencia? No puede olvidarse que Platón quien recoge todo tipo de antiguas tradiciones con un interés conscientemente crítico; no sólo considera como un hecho la formación del universo, sino la formación del conocimiento, de tal manera que la obtención de la verdad es resultado de un proceso, cuya primera parte es la historia del cosmos, y la segunda y "última", el despertar del hombre a la conciencia de su propio poder.[23] Para él el saber humano, *ciencia* en general, por contraposición a la *doxa*, opinión que guía los actos cotidianos, sin la cual no hubiera sido posible el verdadero saber[24] procede por niveles.[25] Su discípulo Aristóteles, trataría en su *Metafísica*, con un rigor que constituye su primera conquista histórica, las dificultades propias del deslinde entre los objetos de la filosofía y las ciencias, y la necesidad del enfoque histórico para comprender las relaciones y oposiciones entre ellas. Pese a todo, las matemáticas forman parte para él de la filosofía. No creemos necesario insistir en una cuestión tan bien demostrada como es la concepción histórica de la estructuración del saber en Aris-

23. En sus *Diálogos*, sobre todo el *Timeo*, Platón trata el problema y llega a afirmar explícitamente: ". . .el deber del amigo de la inteligencia y de la ciencia consiste en indagar, en primer lugar, las causas racionales: y sólo en segundo lugar, las que mueven y son movidas por una especie de necesidad". Y más adelante: "La maravillosa utilidad de la vista, a mi parecer, es que jamás hubiéramos podido discurrir, como lo hacemos, acerca del cielo y del universo, si no hubiéramos estado en posición de contemplar el sol y los astros. *La observación del día y de la noche, las revoluciones de los meses y de los años nos han suministrado el número, revelado el tiempo e imperado el deseo de conocer la naturaleza y el mundo. Así ha nacido la filosofía*, el más precioso de los presentes que los dioses han hecho y pueden hacer a la raza mortal" (Platón. *Obras* E.D.A.F., Madrid, 1960, p. 883). Encontramos aquí los siguientes aspectos de interés:
a) Una muy incipiente delimitación entre la indagación racional (filosófica) y la empírica (sujeta a necesidad, científico-particular para nosotros, aunque no sea así para Platón).
b) La observación en calidad de principio de todo saber, que versa, en definitiva, sobre el cosmos.
c) La existencia de diferentes niveles de abstracción, originados a partir de la experiencia (la "revelación del número y el tiempo" anteceden a la filosofía).
Estos aspectos tendrían una decisiva influencia en la clasificación aristotélica de las ciencias.

tóteles,[26] al menos, en los marcos de este trabajo. Queremos en realidad insistir en dos aspectos:

1) La labor platónica en torno a la delimitación de objetos no rompe del todo –ni era aún posible– con la concepción totalizadora de la filosofía, aunque este proceso se inicie. El conocimiento resulta de la historia, pero aparece nítidamente definido como *historia*.
2) En Aristóteles existe una conciencia de la indiferenciación entre filosofía y ciencias, y la necesidad de superación histórica, dada por el propio avance del saber. La aparición de su sistema, el cual cree plasmado tal cometido histórico, muestra también la delimitación que, a partir de éste, se hará necesaria entre la historia de la filosofía y la historia de las ciencias. Descubrimientos ulteriores, comentarios, reformulaciones, deberán incluirse en la disciplina correspondiente. Su teleologismo no deja por ello de señalar que, de haber una continuación, habría de llevarse a cabo de este modo.

De acuerdo con lo expuesto, creemos posible concluir que, históricamente, el deslinde entre ambas disciplinas se produce con Aristóteles, al afirmarse que, tras un recorrido en común, se delimitan filosofía y ciencias de acuerdo con su objeto de estudio. Tal resultado no fue asimilado por sus seguidores en general. Marcó un hito cuyas repercusiones esenciales se harían notar a partir de la revolución científica producida en los albores de la época moderna.[27]

La formación de la ciencia moderna permite una distinción harto conocida entre la filosofía y las ciencias: el empleo de procedimientos lógicos por parte de la primera, mientras que las últimas se apoyan desde entonces, en el método experimental, ya sea como fuente del saber, corroboración o apoyo en cualquiera de sus ramas. Uno de los rasgos que la caracterizan como revolución *global*, según algunos[28] es que da lugar a la aparición de un nuevo *estilo de pensamiento*, de acuerdo con el cual es posible fundamentar la profunda transformación operada en el pensamiento filosófico en el sistema de la cultura. Las relaciones entre ciencia y filosofía se estrecharon tanto más cuanto la reacción contra todo el orden feudal y la teología, guía y rectora de la filosofía especulativa medieval, inclinó a científicos y filósofos a rechazar, al menos en principio, todo cuanto fuera susceptible de comprobación experimental, de medición. Galileo, con sus métodos compositivo y resolutivo, se adelantó en varias décadas al apotegma newtoniano *Hypotheses non fingo*. Ni uno ni otro fueron ajenos a la filosofía, antes bien, fundaron una nueva rama, junto a otros destacados investigadores: la metodología moderna del conocimiento científico. Un rasgo de esta época de destrucciones, preparaciones y reconstrucciones, cuya esencia desde el punto de vista del conocimiento y el grado de poder que expresa, se resume brillantemente en la estructura dada por Bacon a su *Novum Organum*, es la falta de una perspectiva histórica siquiera satisfactoria. Supo reconocer sus diferencias con la Edad Media –que hizo más tajantes que lo demostrado por la realidad– y sus semejanzas con la antigüedad –en las que se manifiesta el mismo defecto–, para suponer un "despertar" de la humanidad; en su sentido en exceso ingenuo y superficial, olvidó algo que las limitaciones históricas e ideológicas no habían impedido reconocer a Aristóteles o a San Agustín: la continuidad histórica como base del progreso, sin la cual no es posible comprender la verdadera naturaleza de las discontinuidades, vale decir, de las revoluciones sociales, científicas o filosóficas, más aún cuando las tres se fundían en esta etapa. Tal insuficiencia resulta explicable en un momento cuyo cometido principal era la renovación, la fundación de una forma de vida, y por tanto, de pensamiento.

24. Nuestra opinión sobre el vínculo indisoluble entre *ciencia* y *doxa* en la filosofía socrático-platónica, se detalla en el trabajo: "tres filósofos de la duda: Sócrates, Agustín, Descartes" (en proceso de edición). Aquí exponemos la tesis del saber filosófico como medio para vivir en la realidad empírica, y no como contemplación absoluta, ni como vía de escape religioso, en estos pensadores.
25. Véase al respecto: Platón: *República*, Libro VII. En: Op. cit. Aquí señala ya que la filosofía es una ciencia de las ciencias. La geometría, astronomía, música, etc. preparan el alma para la recepción del saber absoluto. De ahí los grados de la dialéctica.
26. Una exposición sintética y rigurosa de este aspectos puede hallarse en el ensayo "*Veritas Filia temporis* en Aristotéles". En: Mondolfo, R. *Momentos del pensamiento griego y cristiano*. Ed. Paidos. B. Aires 1964. Véase, para mayor profundización: Jaeger, Werner. *Aristotle*. Oxford at the clarendon Press. 1955 sobre todo el cap. XV. los epígrafes "Analitical Thinking" y "Science and metaphysics". V. Asmus insiste sobre el tipo de delimitación aristotélica y la historia del saber en relación con sus factores condicionantes en el capítulo lo consagrado a éste en su *Istoria antichnoi filosofii*. Izdatelstvo "Vischaia chkola". Mosskva, 1965, sobre todo los epígrafos 3 y 6 ("La ontología de Aristóteles y su doctrina sobre las relaciones entre el ser inteligible y el ser sensible", y "Teoría del conocimiento de Aristóteles: ciencia, arte y experiencia"),
27. Hay casos, pese a todo, a lo largo de la edad media, que ameritan un análisis, tanto individual, como de su significado para una revaloración de esta etapa. En la filosofía cristiana se destaca, en primer término, San Agustín, historiador de la filosofía cuyas afirmaciones en torno al paralelo entre la evolución del individuo y de la humanidad, anticipan, desde un ángulo idealista y religioso, lo que cobraría mayor rigor en Herder, Vico, Hegel y en la biología evolutiva. También Tomás de Aquino y Ramón Lull. Entre los árabes, Ibn Yaldún y Avicena, entre otros. Aunque el marco de una ponencia no es adecuado para extenderse al respecto, sería faltar a la justicia dejar de señalarlo.
28. Sobre todo escribe T. Kuhn en la obra mencionada, que un paradigma siempre implica un determinado "concepto del mundo". Se refiere básicamente aquí al cuadro científico del mundo, cuya modificación permite la observación de la naturaleza desde nuevas perspectivas. Los elementos que conforman la concepción filosófica del mundo son analizados por él en un sentido muy restringido, aunque señala que la transformación en el cuadro del mundo provoca indefectiblemente cambios en todo el pensamiento. No penetra sin embargo, en la intervención mutua de filosofía y ciencias, lo que sí hacen Koarney, Mieli, Hull, aunque también parcialmente, y sin la profundidad de Kuhn en el análisis del cambio en el cuadro del mundo. A. Rey subraya marcadamente este aspecto (véase: *La ciencia oriental antes de los griegos*. UTEHA. México, 1959, p. 12, donde dice: "Desde el momento en que existe *pensamiento* científico, la ciencia es obligadamente filosófica" idea que mantiene a lo largo de sus cinco volúmenes sobre la ciencia griega en esta colección. Sartón también comparte esta idea, directriz de su *Ciencia antigua y civilización moderna* (F.C.E. México 1961) y en otras obras, así como J.D. Bernal, Para Ambartzumián y Kazlutinzki, la aparición de nuevas concepciones del mundo y un nuevo estilo de pensamiento en general, es rasgo típico de las revoluciones globales ("Las revoluciones en las ciencias naturales: aspectos filosóficos" Revista *Ciencias Sociales* No. 3, 1978), así como Kedrov, en la obra ya citada.

Procesar en el plano teórico todos estos hechos, sistematizarlos, organizarlos, buscar su explicación, sería tarea del siglo XVIII, padre de la moderna filosofía de la historia.

Lo que nos interesa de tales acontecimientos para profundizar en las relaciones entre la historia de la filosofía y la historia de la ciencia, es la significación de los grandes virajes en el estudio de cada una. La filosofía puede progresar, incluso notablemente, en periodos cuya producción científica es pobre, lenta, y hasta puede limitarse a la compilación de ideas provenientes de etapas previas. Tal es el caso de Tertuliano, Agustín o Avicena, y más tarde, en torno a la revolución técnica feudal, el de Roger Bacon o Raimundo Lull. Sin embargo, las transformaciones profundas en el ámbito científico y técnico, por cuanto obedecen a condicionamientos socio-económicos de tal envergadura que actúan de forma indiscutible en la renovación social, se vinculan siempre con tranformaciones sustanciales en la filosofía. Esto no significa una absoluta correspondencia en el florecimiento de nuevas perspectivas en ambos campos. La correlación puede darse por antítesis, o con un relativo retraso de una con respecto a otra. Un ejemplo ilustrativo es el que señala Engels:

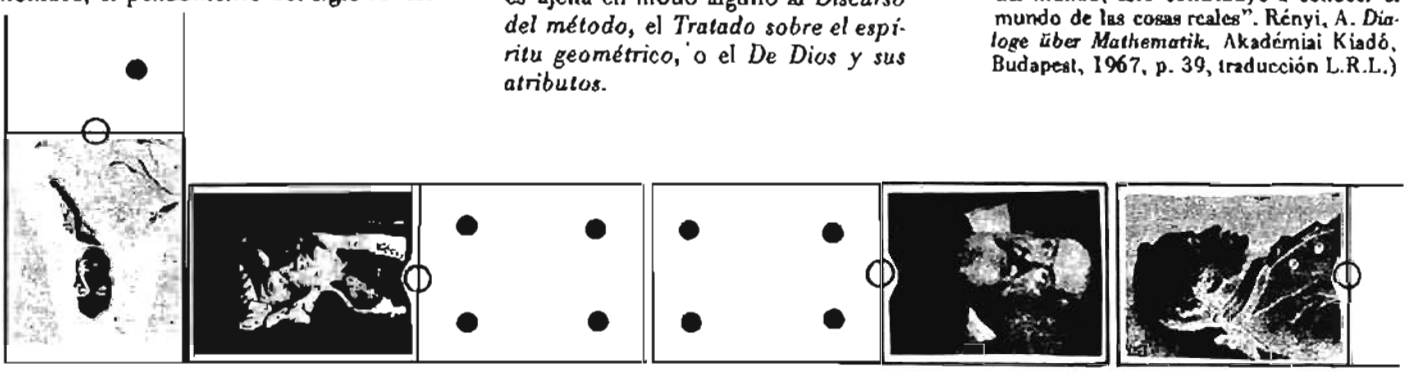
> "Todo lo que las ciencias naturales de la primera mitad del siglo XVIII estaban por encima de la antigüedad griega en punto al conocimiento e incluso a la clasificación de la materia, se hallaban por debajo de ella en cuanto al modo de dominarla idealmente, en cuanto a la concepción general de la naturaleza".[29]

Culminada la revolución científica, que coincidió con el auge de la investigación filosófica en torno a las vías de apropiación del mundo por parte del hombre, el pensamiento del siglo XVIII se encontró, en sus albores, con los siguientes resultados:

1) Una ciencia experimental bastante desarrollada y un cuadro mecanicista del mundo, de acuerdo con la supremacía de los descubrimientos en este campo.
2) Incipientes cambios en las ciencias de la vida, a partir del empleo del microscopio y del estudio de los fósiles, que anunciaban ya una ruptura en estas ciencias con el mecanicismo, aunque tardaría aún en producirse.
3) Dos líneas, internamente vinculadas por parámetros comunes, y en apariencia antogónicas: racionalismo y empirismo en la filosofía.
4) El surgimiento de la química, cuya influencia en la formación de la noción de estructura, y su posible dinamismo, fue notable. R. Boyle en el siglo XVII y Priestley en el XVIII —este último iluminista además—, dieron pasos decisivos al respecto, en el proceso culminado con Lavoisier, con quien la idea del cambio producido en las sustancias por interacciones, intercambios con el medio, alcanzó una verdadera fundamentación científica.
5) Un desarrollo también apreciable en las matemáticas, tanto en el álgebra y en la geometría analítica, como en el cálculo de magnitudes infinitas.
6) Un ordenamiento de todo el saber desde una perspectiva antropológica. Del concepto del hombre como *microcosmos* imperante en el renacimiento, se pasó al del hombre como medida del valor de la ciencia, la filosofía, el arte y cualquier otra actividad. Si bien este sentido queda implícito en obras como *Leviathan, la Etica demostrada según el orden geométrico*, o los *Nuevos ensayos sobre el entendimiento humano*, no es ajena en modo alguno al *Discurso del método*, el *Tratado sobre el espíritu geométrico*, o el *De Dios y sus atributos*.

Las matemáticas, por su carácter no experimental, torturaron durante mucho tiempo a científicos y filósofos. Puede decirse que en el siglo XVIII no había sido del todo superada la concepción aristótelica según la cual las matemáticas, aunque fueran objeto de obras independientes, debían tratarse, al menos en cuanto a sus principios, como problema típicamente filosófico, pues constituían una esquemática del mundo, a la cual debían obedecer la ética, la sicología, la ontología, etcétera. La segunda opción era la perspectiva teológica, nada ajena por cierto a Pascal, a Malebranche, a Leibniz o al propio Descartes.[30] La tercera fue la naturalista, propia de la Ilustración, sobre todo francesa, fruto de la extrapolación del cuadro científico del mundo a la valoración filosófica de la naturaleza como única forma de ser, al hombre como única racionalidad consciente posible, capaz empero de comunicar a la naturaleza "ciega" su propia racionalidad, en el cur-

30. No quedó atrás con su época esta discusión. La capacidad, propia de las matemáticas de poseer, además de su objeto de estudio, la propiedad de lenguaje universal de la ciencia, según quedó bien establecido desde Galileo para la modernidad, ha hecho reflexionar hasta nuestros días en torno al porqué de tal universalidad y de sus fundamentos. El matemático A. Rényi indaga si debe llamarse al matemático que introduce nuevos conocimientos "inventor o descubridor". Afirma al respecto, que se trata de un descubridor esencialmente, sólo que sus objetos, que existen, no existen empíricamente, del modo en que afirmamos con respecto a los árboles o las piedras, que existen. Prueba de esto es la aplicabilidad, la utilidad, teórica o práctica, que a la larga tienen todas las teorías matemáticas a su juicio ("El mundo de la matemática no es otra cosa que el reflejo del mundo de los hechos en el espejo de nuestro pensamiento. Cuando se conoce por consiguiente una verdad en la imagen del mundo, esto contribuye a conocer el mundo de las cosas reales". Rényi, A. *Dialoge über Mathematik*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1967, p. 39, traducción L.R.L.)



29. Engels, F. *Dialéctica de la naturaleza*, p.7.

so de la historia, a través del trabajo dirigido a lograr el bien común, el avance del poder sobre la naturaleza, saber que se plasma en actos. El deísmo aparejado en muchos casos a este enfoque era también un requerimiento de las ciencias naturales.

Todo esto condicionó el origen de la concepción de la historia como historia del espíritu, según afirman los clásicos del marxismo-leninismo, en oposición a las ciencias naturales, ciencias de las relaciones necesarias. La filosofía se ocupaba de los fundamentos de una y otra, por lo menos en mentalidades tan avanzadas como la de G. Vico o G.W. Leibniz, a principios de siglo, y más adelante, los iluministas, sobre todo alemanes.

Es por esto que desde tales perspectivas se elaboró la historia con un criterio inmanentista. Reconocer la *unidad* de las producciones culturales humanas, equivalía para ellos a aceptarlas como productos del espíritu —divino o humano— que se enriquece progresivamente. De ahí la interpretación de las transformaciones de la realidad como *resultados* siempre del saber, como fenómeno *a posteriori*. En esta relación, conocer la ciencia, equivalía a un contacto inmediato con la realidad, a un "primer paso" del espíritu en su ascensión, culminante en la filosofía.

La polémica Kant-Hegel acerca del saber *a priori* o *post festum*, entre sus múltiples consecuencias positivas para el análisis del pensamiento, tuvo la de delimitar el tipo de actitud, el modo específico, en que cada una de las esferas de la realidad, que son objeto de búsquedas, son abordadas. Al mismo tiempo, afirmar esta diferenciación como unidad, a la manera en que la cosmología, griega o renacentista, enfrentara el problema del hombre. Hegel siguió el camino trazado por Schelling, en cuanto a la necesidad de enfocar todas las formas del saber dentro y fuera a la vez de su contexto peculiar.[31] Las ciencias, que habían acumulado resultados dentro de una esquemática del mundo más o menos sostenida, proporcionaron poco después descubrimientos que conducirían a la variación definitiva de tal imagen, no ya desde perspectivas especulativas, o en el marco estrecho del antropologismo materialista, sino factible de fundamentación objetiva.

La revolución filosófica llevada a cabo por Marx y Engels resumió toda una época de viajes en el ámbito histórico, a la par de preludiar una nueva y superior. La aspiración, largamente acariciada por los iluministas, de arribar a perspectivas nunca antes logradas en el saber y la vida social, se plasmó como teoría y pronóstico científico a la vez en Marx y Engels. No es nuestro propósito insistir aquí sobre la esencia de tal revolución, ni cabe en el marco de este trabajo. Nos interesa recalcar, de acuerdo con la idea expuesta en torno al nexo existente entre los cambios en la perspectiva y sus repercusiones en el ámbito filosófico, que mientras que la filosofía recogió los resultados de la revolución científica de la época moderna, de las grandes revoluciones burguesas y la revolución industrial, hasta llegar a producirse, en tres siglos, dos revoluciones filosóficas... en el campo de las ciencias, había culminado con el siglo XVII una perspectiva, que sería lentamente subvertida. En ciencias aisladas el cambio se produciría primero. En cambio, en general, tendría lugar de nuevo una revolución científica a fines del siglo XIX y principios del siglo XX. Resulta de gran interés el hecho de que, la revolución teórica llevada a cabo por Marx y Engels, en torno a la concepción integral del mundo —y nos referimos aquí a las tres partes del marxismo y no sólo a la filosofía— alcanzara un nuevo y necesario nivel: fuera desarrollada por Lenin, quien incorporó a la misma, no sólo rasgos y problemas ulteriormente surgidos en el devenir del sistema capitalista y sus contradicciones económicas, clasistas, científicas, filosóficas, sino un nuevo elemento real: la aparición de un sistema socialista. La obra de Lenin puede ubicarse en el contexto de la revolución científica que, iniciada a fines del siglo XIX, tuvo su natural continuación en la *revolución científico técnica*.

Es a estos grandes virajes, por cuanto implican cambios —en todo o en parte— radicales en la perspectiva de una época, a lo que deben la historia de la filosofía y la historia de las ciencias atender con mayor cuidado. Las causas de estos cambios revolucionarios, ligados a transformaciones sociales más o menos profundas; el que se produzcan análogos fenómenos en la filosofía, o lo opuesto, requiere de estudios más detallados en torno a los cambios en la cultura en general, al estilo de pensamiento y sus repercusiones en la evolución del cuadro científico del mundo y de las concepciones filosóficas. Algunos historiadores burgueses de fines del pasado siglo, como T. Gomperz,[32] W. Jaeger, y más adelante, R. Mondolfo, han aspirado a un ideal de "historia integral", hasta suponer que la reconstrucción en cualquier vertiente de la historia del pensamiento exige la de toda la época. Marx, en *El Capital*, al referirse a las necesidades y diferencias entre el método de investigación y el método de exposición, advierte de la distinción que ha de establecerse entre esta "historia integral" —que es válida, incluso imprescindible dada la complejidad de factores que se expresan en las producciones culturales, como base para cualquier estudio en la historia de la filosofía o de las ciencias— y la especificidad del campo abarcado por el historiador de estas disciplinas. Una "historia integral" debe enfocarse críticamente sin embargo, en su propia significación, en su empleo para las reconstrucciones en estos terrenos, pues tal y como fue concebida por estos autores carece de una jerarquización,

31. J. Schelling, en su *System des transzendentalen Idealismus*, establece las premisas de este análisis cuando enfrente el saber como resultado de la correlación sujeto-objeto objetivo y sujeto-objeto subjetivo. La precedencia del principio trascendental —identidad absoluta ser-pensar- en relación con la naturaleza y del hombre, obliga a suponer siempre un contenido "objetivo" de las ideas, cuya génesis ha de conocerse a la par de las mismas. La verdad en un proceso que, según critica justamente Hegel, culmina en el éxtasis, pero es un proceso abarcador que ha de agotar por fuerza el nivel científico. Sobre esto, véase: Schelling, J. op. cit., Verlag Phillip Reclam, jun, Leipzig, 1979. Véase también la distinción que hace Hegel en su *Fenomenología del Espíritu* (Ed. de Ciencias Sociales. La Habana, 1972. Prólogo: "La formación del presente", pp. 9-12, "El conocimiento histórico y el matemático", p. 28-31, entre otros).

32. Tal es el objetivo de Gomperz en su obra *Pensadores griegos* (Ed. Guarania, Asunción del Paraguay, 1951, 3 vol.) en la cual considera que, pese a ser la filosofía una producción del espíritu, deben tomarse en cuenta por igual *todos* los constituyentes de la sociedad y la época, desde el medio geográfico hasta los más nimios hechos de la vida cotidiana, del "clima espiritual". Nuestra opinión al respecto se esclarece más en el trabajo *"El Capital* y la investigación histórico-filosófica" (inédito), en el cual tratamos las diferencias entre el método de investigación y el método de exposición en la historia de la filosofía. De su ejemplo han partido los restantes, que siguen modelos más o menos similares.

en orden de importancia de los elementos a considerar en la formación de doctrinas y tendencias: para ellos, la sociedad es un sistema de fenómenos y estructuras en los cuales se enmarcan filosofía y ciencias. La especialización es juzgada como un mal por estos autores y sus herederos, como muestra de lo cual citaremos palabras de A. Koré, en un periodo más reciente:

> ". . .Sabemos igualmente que la división que realizamos entre diversas actividades humanas que aislamos para hacer de ellas ámbito separados, objetos de historias separadas también, es un poco artificial y que en realidad se condicionan, se interpretan y forman un todo, pero ¿qué hacer? No podemos comprender el todo sin distinguir sus aspectos, sin analizarlos por partes. . . La reconstrucción, la síntesis, viene después. Si es que viene... lo que no es frecuente a juzgar por las últimas tentativas de renovar las hazañas de Burckhardt y ofrecérnoslas bajo el prestigioso nombre de historia de las civilizaciones. Las historias yuxtapuestas no forman una historia... La especialización es el precio del progreso, de la abundancia de documentación, del enriquecimiento de nuestros conocimientos que, cada vez más, sobrepasan la capacidad de los seres humanos. Por eso ya nadie puede escribir la historia de las ciencias, ni siquiera la historia de una ciencia".[33]

La especialización se reduce a un mal inevitable, contrapuesta con la antigua concepción totalizadora del saber. La integración de las ciencias –y no sólo de los conocimientos– es la contrapartida de tal diferenciación. Lejos de constituir un escollo insalvable, abre las posibilidades para la construcción científica de los estudios científicos sobre historia, a partir de las premisas sentadas por la filosofía marxista-leninista. Cada vez resulta menos factible, precisamente en aras del verdadero rigor científico, el estudio de una vertiente de los procesos históricos desvinculada, siquiera relativamente de las restantes si bien queda mucho por avanzar en dicho campo, e innumerables problemas metodológicos aguardan una solución que sólo podrán provenir de la investigación misma, existen ya intentos de gran valor, capaces de mostrar que resulta factible de alcanzar dicha "historia integral" si se concibe como síntesis, marco que permite recrear el vivo fluir de la filosofía y las ciencias. La *Historia social de la ciencia*, de J.D. Bernal es un ejemplo. G. Sarton, pese a lo parcial de su enfoque, tiene aciertos en este sentido.[34] Al igual que una polémica como la sostenida entre Newton y Leibniz permite comprender el siglo XVII a cabalidad, tanto en el plano científico como en el filosófico, la teoría de la relatividad de Einstein resulta representativa en nuestro siglo, lo que significa que por un caso aislado sea posible reconstruir el todo. La historia de las ciencias siempre apuntará con mayor énfasis hacia exigencias de la estructura económica de la sociedad. La historia de la filosofía, sin dejar por supuesto de incluir este aspecto, lo incluirá de una forma más mediada por otras producciones ideológicas, una de las cuales es la ciencia misma, cuyo ejercicio, al menos en las grandes perspectivas renovadoras, requiere de la filosofía; cuando Newton advirtió a la física contra los peligros de la metafísica, continuó sin proponérselo, las huellas del *Novum organum*. La reconocida duplicidad de objeto entre las ciencias y la filosofía hasta el deslinde posibilitado por la formación del marxismo, no es obstáculo para reconocer, desde Aristóteles, una diferenciación que devino en peculiaridades de las respectivas historias.

La historia de la ciencia es pues, en cierta forma, la historia de la producción y de los medios y conocimientos que intervinen en ésta. Es como ciencia particular acerca del desarrollo histórico de una forma del pensamiento, una ciencia social. La historia de la filosofía, parte del sistema de las ciencias filosóficas, trata acerca del desarrollo de las interpretaciones acerca de la realidad, en el amplio sentido que exige una concepción del mundo. La historia de la filosofía forma parte de la concepción general del mundo, presente en el desarrollo de la ciencia. ¿Qué razones determinan entonces la indispensable correlación entre ambas? ¿Hasta qué punto hacer historia de la filosofía es hacer historia de la ciencia, una vez salvado el problema de los orígenes, al cual nos referimos, y viceversa? Estas interrogantes servirán de marco a un nuevo aspecto, cuyas diferencias en relación con el primero resultan bastante formales.

33. Koyré, A. "Perspectivas de la historia de las ciencias" En: *Estudios de historia del pensamiento científico*. Siglo XXI editores, México, 1980, p. 381.

34. G. Sarton en sus obras, ha enfocado la historia de las ciencias como elemento integrador, "esqueleto" de la cultura. En *Seis Alas* reafirma una idea presente en su *Introducción a la historia de la ciencia*. "si deseáramos exponer el progreso de la humanidad, la historia de la ciencia construiría el verdadero eje de nuestra exposición (E. Eudeba, B. Aires, 1960, p. 14), o bien, "la ciencia está en la raíz de todo cambio social" (op. cit. p. 16).

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

# LA FISICA ES UN ARTE

## Entrevista con Mario Schenberg por Amelia Imperio Hamburger*

### Presentación

Este año conmemoramos el 70 aniversario de Mario Schenberg. Nacido en la ciudad de Recife, vivió gran parte de su infancia en Río de Janeiro, donde se preparó para su examen de admisión; pero fue en su ciudad natal donde ingresó en la Facultad de Ingeniería, trasladándose después a São Paulo donde terminó la carrera. Se recibió de ingeniero electricista en 1935, en la Escuela Politécnica de la Universidad de São Paulo, en 1935 se recibió de bachiller en matemáticas en el primer grupo de la recién fundada Facultad de Filosofía, Ciencias y Letras de la U.S.P. Fue profesor del Departamento de Física de esa facultad de 1940 a 1969, de donde fue despedido compulsivamente por el decreto constitucional No. 5, junto con algunos compañeros, igualmente destacados intelectuales y líderes científicos y universitarios.

Desde 1944, fue catedrático de mecánica racional, celeste y superior de aquella facultad; director del Departamento de Física de 1953 a 1961; tuvo la iniciativa de crear el laboratorio de física de estado sólido (física de bajas temperaturas y resonancia nuclear magnética) y de la instalación del primer computador de

* Instituto de Física de la Universidad de São Paulo. Tomado de la revista *Ciéncie Hoje*, Vol. 3, No. 13, 1984. Traducido por Julio Mendoza, Departamento de Física del CINVESTAV, IPN.

# PERSONALIDAD CIENTIFICA

la U.S.P. en colaboración con la Escuela Politécnica y la Facultad de Ciencias Económicas. En esa época se consolidaron los laboratorios de física nuclear de baja(s) energía(s), el Van Der Graff dirigido por Oscar Salas, el Betatrón, por Marcelo Damy; fueron instalados laboratorios de física y de altas energías, de fotografías de cámara de burbuja y de emulsiones nucleares con Jean Meyer y César Lattes, respectivamente; además de un laboratorio de electrónica. Bajo su influencia fueron creados nuevos cursos en el plan de estudios, como astronomía, física del estado sólido, partículas elementales y evolución de los conceptos de la física. Es interesante notar su capacidad de poner en práctica las complejas relaciones entre la física experimental, física teórica, física aplicada y sus relaciones con la tecnología. Promovió la llegada de varios profesores extranjeros con los cuales tenía una gran interacción, como Mario Bunge, Guido Beck, G. Molière, David Bohm, Ralph Schiller, J. Osada, M. Taketani y T. Tati. Sus ideas de aquella época, aun ahora tienen repercusión. Posee una amplia e intensa producción con más de 100 artículos científicos en campos fundamentales de la física teórica, astrofísica y física matemática. Desde la Escuela Politécnica su interés se definía por los fundamentos de la física.

Su tesis versó sobre "Los principios de la mecánica". Aun ahora sus trabajos buscan una visión más fundamental del concepto de espacio, tratando de buscar relaciones algebraicas que, a partir de un nivel más básico, determinarían las métricas, los conceptos geométricos. El inicio de su carrera estuvo marcado por los contactos que tenía con Gleb Wataghin y Giuseppe Occhialini, que vinieron a implantar la investigación en física en la U.S.P. Trabajó con Fermi, Gamow, Pauli, Chandrasekhar, De Groot y Prigogine, con quienes interactuó bastante en sus estadías en el Instituto de Física en Roma, en la Universidad George Washington, en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton y en la Universidad Libre de Bruselas. Convivió con Einstein, de Broglie, Langevin, Joliot-Curie y otros físicos de ideas fundamentales para la ciencia contemporánea.

Entre sus contribuciones de gran originalidad encontramos: la explicación del origen mesónico de los rayos cósmicos, el papel del neutrino en el problema de las super novas, una estadística clásica de partículas indistinguibles, la determinación del límite Chandrasekhar - Schenberg, el momento angular del campo gravitacional e interacciones nucleares que no conservan la paridad. Recientemente, sus trabajos en álgebra cuántica, mecánica cuántica y geometría, gravitación y causalidad y teoría electromagnética sin métrica pre-determinada, constituyen una línea de importante inspiración en vistas de una teoría unificada de las fuerzas descritas por la física. Está por hacerse una evaluación profunda de su obra que, conforme a la entrevista, no está terminada. En Brasil, trabajaron más directamente con él, J. Leite Lopes, W. Schutzer, J. Tiomno, C. Lattes, A. de Moraes, J. Meyer, J. A. Swieca, N. Bernardes, Carmen L. Braga, Alberto L. Rocha Barros. Entre sus alumnos se incluye la propia entrevistadora. Actualmente, da un curso de posgrado sobre Métodos Geométricos de Física en el Instituto de Física de la U.S.P. y orienta un trabajo sobre los fundamentos de la termodinámica.

Fue presidente de la Sociedad Brasileña de Física y miembro del consejo de esa sociedad durante varias administraciones. Su acción se destacó en la definición de una política de la comunidad de físicos contra el acuerdo nuclear Brasil-Alemania para la construcción de fábricas nucleares. Ha participado constantemente de las discusiones sobre las cuestiones de enseñanza, dando énfasis a la integración enseñanza-investigación en la universidad, a la necesidad de desarrollar la enseñanza y la investigación tanto en las áreas básicas cuanto en las aplicadas y al combate de la enseñanza libresca. Se ha preocupado también por el reconocimiento de la carrera de físico, habiendo sugerido una carrera de ingeniero-físico.

Tiene un libro de física elemental publicado en 1945 y está por editarse un curso sobre *La evolución de los conceptos de la física* que impartió en el Instituto de Física el año pasado.

También es de resaltar su actuación como político militante, dos veces ha sido electo diputado estatal: por el Partido Comunista Brasileño en la constituyente en 1946, y en el Partido Laboral Brasileño en 1962; habiendo sido cesado como diputado, en el primer caso, a los pocos meses de haber tomado posesión con la proscripción del Partido Comunista. Electo por segunda vez, no llegó a ser registrado como diputado por el tribunal electoral. Ha sufrido restricciones en virtud de su posición y convicciones políticas e ideológicas, estuvo preso dos meses tanto en 1947 como en 1964. El alejamiento de sus funciones en la universidad fue una represión que nos dolió a todos.

Otra faceta de sus actividades, que amplía aún más la grandeza de su personalidad es ser crítico activo del arte e incentivador de la pintura y de las artes plásticas, su casa posee un ambiente fuertemente impregnado de la presencia mágica de los cuadros de Volpi, Gruber, Pancetti, Raimundo, Lourdes Cedran, ésta con su solidaria presencia física también. Tiene una hija que estudió genética, y dos nietos.

El profesor Schenberg recibió el año pasado, el premio de ciencias y tecnología del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPQ). Se le acaba de conferir el título de Profesor Emérito de la Universidad de Sao Paulo, por la congregación del Instituto de Física. Ha sido celebrado un simposio para conmemorar sus 70 años. En su honor se editará un número especial de la *Revista Brasileña de Física*, a la cual mandaron su contribución más de 20 científicos brasileños y extranjeros. El CNPQ, patrocinará la publicación de la Colección seleccionada de sus obras en el campo de la física.

**Entrevista**

*–Profesor Schenberg, ¿podría hablar sobre sus clases, sobre lo que valoriza de la enseñanza de la física y de la interacción con los alumnos?*

– Para comenzar me gustaría decir algo sobre mis tendencias de comportamiento. Antes de todo, soy una persona de tendencias intuitivas y no de muchos razonamientos. Así, me comporto de acuerdo con lo que me sugiere la intuición. Puedo haber preparado una clase

# PERSONALIDAD CIENTIFICA

de acuerdo con una idea y al llegar al salón, cambiarla por completo. Tampoco me gusta mucho separar las cosas de la vida. La vida no se nos separa de la ciencia, de la actividad política, de la actividad filosófica: la vida es una cosa única, naturalmente marcada por la personalidad de la persona, que se manifiesta en todo lo que hace. Yo tengo tendencia a tener una personalidad intuitiva. Cuando la gente se prepara mucho, deja de ser verdadera consigo misma, se vuelve medio fingida, y dificulta el contacto con las otras personas. Una clase muy bien preparada, escrita, completa, es una clase mala, porque es una cosa muerta, no tiene la vivacidad de lo que está siendo creado en el momento que se dice.

Lo principal no es transmitir a los alumnos un gran caudal de conocimientos, sino comunicar ciertos puntos de vista. Siempre me guié por eso, por la sinceridad en todo lo que se haga, no ser pedante, no tener excesivas preocupaciones lógicas y con la coherencia. Para muchos parece desorganizado, pero creo que esa forma de actuar penetra más en el espíritu del alumno que las clases muy bien preparadas. Muchas veces una clase difícil hace al alumno pensar y le puede sugerir algo hasta años después.

Este amor a la informalidad no es tan original. El famoso matemático y físico alemán Herman Weil decía haber aprendido más matemáticas platicando con David Hilbert, el mayor matemático de su tiempo, durante los paseos que hacían por los bosques, que en los salones de clase en Gottingen. Por cierto que la primera persona que tuvo una fuerte influencia sobre mí, el profesor Luís Freire, también me enseñó mucho de ese modo, en las pláticas informales en su casa.

Creo que así se establece un contacto más libre, y por eso más profundo, entre el profesor y el alumno, en donde éste último aprovecha mucho más.

*–¿Cómo ve usted la universidad actual en comparación con la de otros tiempos?*

–Para mí, la universidad brasileña de antes era mejor que la de ahora. Por ejemplo, por el modo de encarar la enseñanza. Claro que había personas preocupadas en dar sus clases llevando en cuenta la didáctica pero había una cierta intuición en la universidad de que lo importante no era tanto transmitir el conocimiento sino estimular la creatividad del alumno. De cierta forma, había tendencia al informalismo dentro de la universidad, que después desapareció, principalmente con la Reforma Universitaria. Puede ser que algunas personas todavía lo conserven, pero mi impresión es que eso desapareció.

Otra cosa diferente es que en aquel tiempo las personas no se imponían objetivos determinados de hacer tesis, maestría y doctorado, lo que prácticamente se convirtió en el centro de las preocupaciones de la universidad. La persona no se propone hacer una investigación científica, sino que procura hacer una tesis. Esas tesis sólo tienen valor formativo si representan una investigación científica real. La propia persona, por las dificultades que debe superar en la investigación, se va desarrollando como científico. Hoy siendo una cosa medio formal, eso no sucede. Antes no era así: la única tesis que hice fue para el concurso de catedráticos.

Hoy se obliga a la persona a publicar mucho, a publicar demasiado. El criterio para juzgar la eficacia científica de una persona es el número de publicaciones, lo cual es una cosa completamente absurda. Hay muchos trabajos publicados que permanecen totalmente desconocidos. Un ejemplo curioso es el de Bunsen, químico alemán que publicó más de quinientos trabajos: aun cuando haya ayudado mucho a Korchhoff a fundar la espectroscopía, es hoy conocido sólo por el mechero de Bunsen, el mechero de gas rutinario en los laboratorios.

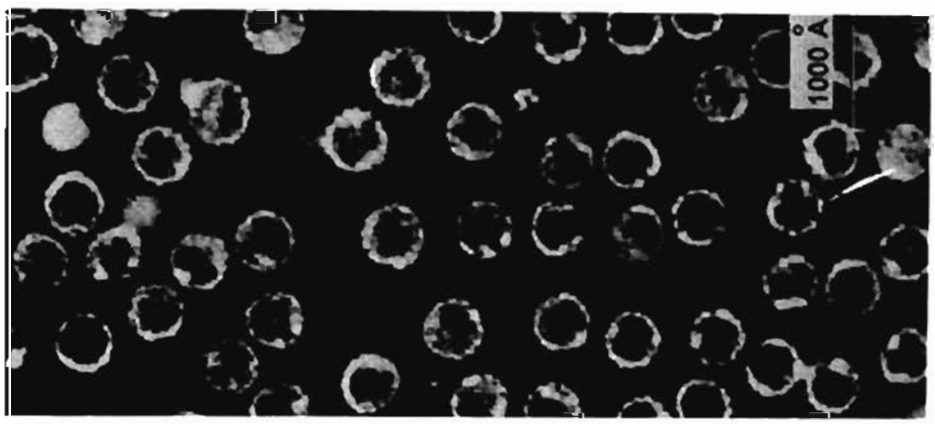
Por otro lado, hay personas que se hicieron famosas con una sola publicación, como por ejemplo el físico hindú Bose. La historia es curiosa, pues Bose escribió un trabajito de media página y lo mandó para el *Philosophical Magazine*. Como el trabajo fue rechazado, Bose se lo envió a Einstein, que lo publicó, sin consultar a Bose, en el *Annalender Physik*. En ese pequeño trabajo de media página, se describe por primera vez una familia de partículas llamadas en su honor Bosones, además de otras cosas importantes.

Esa preocupación de tener un gran número de trabajos publicados a veces puede perjudicar a las personas, si es que no las perjudica siempre, pues la persona está siempre con la tensión de estar publicando cosas nuevas, sin tiempo para concentrarse en una cosa determinada.

*–¿Sería cosa de profundizar en el trabajo?*

–No es solamente cosa de profundizar en un trabajo, sino también de perseguir un destino. Creo que existe alguna cosa què está más allá de la voluntad de la persona. La persona no hace un trabajo profundo y original. Lo hace porque sí, y a veces ni se da cuenta de si está haciendo un trabajo profundo y original. Son otros los que se van a dar cuenta de eso, y a veces muchos años después de la muerte de la persona. Creo que hay un destino, creo en eso. Toda mi carrera de físico, por ejemplo, se definió alrededor de los 13 años, cuando estudié por primera vez física y geometría.

La geometría me causó un impacto muy grande, cuando vi que las impresiones sensoriales, las formas, aquello que se ve con los ojos, podía transformarse en una estructura lógica, matemática. Al



mismo tiempo comencé a estudiar física y vi que los fenómenos de la naturaleza se regían por leyes matemáticas. Más tarde llegué a pensar que toda la física era, en el fondo, una geometría.

Lo interesante es que, antes de esa edad, había estudiado matemáticas y no me había gustado nada, ni de aritmética, ni de álgebra. No era un buen alumno. Fue en geometría, que fui por primera vez buen alumno en matemáticas, porque aquello me llegó profundamente, despertó algo en mí, era un destino.

La obligación de hacer tesis y todas esas cosas, puede estar apartando a las personas de su destino, empujándolas hacia direcciones que no son las suyas. Tengo la impresión de que la educación no debe ser nunca una carga para la persona: debe ser una cosa estimulante, dando bastante libertad al alumno. Einstein por ejemplo se quedó con odio hasta de la propia Alemania por causa del gimnasio alemán que era muy opresivo. Hizo todas las cosas sólo, y no fue un buen alumno: no asistía a las clases, y procuraba respetar mucho su propia personalidad, sus intuiciones. No se preocupaba mucho de estar bien informado sobre las ideas de los otros, o documentar esas ideas. Procuraba desarrollar las que tenía y, si eran las mismas, perfecto, no tenía importancia.

El sistema actual no pretende estimular la creatividad del alumno, sino su producción. Por cierto, tuve una experiencia interesante cuando estuve en los Estados Unidos en 1940, trabajando con el profesor George Gamow. Era un ruso de formación europea, le tenía horror a la universidad norteamericana, y me previno de ir mucho a la universidad de ahí, no es recomendable, pues la persona es valorada por el "peso" de sus publicaciones y no por su peso científico. Pensaba que eso se debía al hecho de que, en general, eran universidades particulares, y que los *boards of trustees*, formados por el hombre de negocios, cultivaban la idea de producción sin pensar en la calidad. El criterio para la promoción, para la renovación de contrato, era el número de trabajos. Ese criterio cuantitativo fue introducido en Brasil por la Reforma Universitaria, que, como se sabe es consecuencia del acuerdo MEC-USAID. Un famoso físico americano defendió a la universidad de los EUA, diciendo que el país necesitaba formar 50,000 ingenieros por año, no necesariamente los mejores del mundo, para mantener el desarrollo industrial. Cuando querían alguien de gran capacidad, lo contrataban en Inglaterra, en donde la organización universitaria permitía formar, por año, los 200 mejores ingenieros del mundo. Esa era la filosofía dominante: aplicaban en la enseñanza los métodos industriales. Ese sistema se transplantó aquí, arrasando con toda la tradición universitaria brasileña que ya existía y que tal vez fuese más apropiada al Brasil que la que fue instituida.

Estoy convencido de que la universidad de hoy es una institución en vías de desaparecer: entonces será una cosa completamente diferente. Tendrá que ser reformulada, repensada, ciertos objetivos deberán ser redefinidos.

*—¿Ha sentido usted ese problema en sus contactos con los alumnos de la universidad brasileña?*

—En la actualidad hay alumnos de posgrado que no saben cosas elementales. Después de un curso de mecánica estadística que acabo de dar constaté en el examen oral que un alumno no sabía lo que era vapor, que el vapor no es un gas. ¡Pero es una cosa que se debería saber desde la secundaria!, por lo menos en mi tiempo era así. Las cosas más elementales son las que se deben saber bien. Tal vez los alumnos tengan un conocimiento puramente operacional de esas cosas, pasando a estudiar cosas más sofisticadas. Creo que eso es muy curioso. No consigo formarme una idea general de la enseñanza actual, pero sé que no se puede decir que la universidad esté funcionando bien.

*—Mario, nos gustaría que nos contase algunos hechos de su infancia, de cómo se estableció su relación con el arte, de cómo se fue orientando para la física.*

—Nací en Recife, pero no me quedé mucho tiempo allá. Muchas veces pasé largas temporadas en Río de Janeiro en donde mi familia venía frecuentemente: mi madre me contaba que a los dos años me dio la gripe española en Río de Janeiro. En 1930, pasé todo un año en Río para presentar el examen vestibular. Yo quería estudiar en Europa, pero no se pudo: no tenía las condiciones financieras para eso. Regresé a Recife y allá entré a la Escuela de Ingeniería.

Una de las cosas más interesantes de mi infancia fue cómo me relacioné con el arte. Sucedió cuando tenía ocho años y fui con mi familia a París y otros lugares de Europa. Principalmente en París, no se por qué, las catedrales góticas me impresionaron mucho. Hasta conseguí que mi padre me comprara un visor binocular de una especie de transparencias, y de regreso en Brasil, durante mucho tiempo me quedaba mirando aquellas catedrales góticas en el aparatito. Fue una cosa que me marcó mucho, ese encuentro con el arte a los ocho años de edad, mucho antes de encontrar la ciencia. Al regresar de ese viaje, cuando el barco pasó por Portugal, mi padre bajó del barco y me preguntó qué quería que me trajera. Le pedí un libro de historia universal, y me trajo el libro de Raposo Botelho, horrible, lleno de fechas, nombres de reyes y batallas. No sé cómo, pero leí aquello como si fuese una delicia. Cuando llegué al Brasil, ya había leído todo el libro. Ahí comenzó mi interés por la historia, que también es antiguo y nació en relación con el arte. Aún después, los dos se conservaron ligados. Mi interés por la ciencia vino más tarde, a los diez años: comencé interesándome por la tecnología, leía unos libritos en francés sobre aviones, barcos y motores. El fonógrafo me impresionaba mucho. En mi infancia el contacto con la tecnología era muy reducido, aun el automóvil era muy raro. El vuelo de travesía por el Atlántico por Sacadura Cabral me entusiasmó, pero todavía no tenía idea de lo que era la ciencia: sólo estudié física, química e historia natural en el último año de secundaria. Ese fue un año de grandes impactos ideológicos. Además del concepto con la geometría, fue también el año en que tuve contacto por primera vez con las ideas marxistas, a través de la revista *Cultura*, publicada por Francisco Mangabeira, hijo de João Mangabeira. Fue un tiempo muy fecundo de mi vida, en el que muchas cosas se juntaron e interactuaron.

Yo podría haber sido un artista, pero eso no sucedió, tal vez por la estupidez de los cursos de dibujo, en donde se ponía un jarro en medio de la sala de clases y teníamos que copiarlo. A mí, que dibujaba muchas cosas de mi imaginación,

no me gustaba quedarme copiando detalles. Me quedé entonces con el complejo de que no sabía dibujar. Hasta que tuve treinta años volví a hacerlo y vi que no era tan inepto como suponía.

*–¿Y cómo comenzó su carrera de físico?*

–Yo no ingresé a la carrera de físico, pues en aquellos tiempos no había en Brasil carrera de físico. Fuí a la Escuela de Ingeniería, como todo el mundo a quien le gustara la física o las matemáticas: así como a quien le gustaba la biología iba para la Facultad de Medicina. En aquella época ya me atraían las matemáticas y la física.

Hice los dos primeros años en Recife y después, en el tercero, me transferí para São Paulo. Al año siguiente, crearon la Facultad de Filosofía, con los departamentos de Física y de Matemáticas, y entré en el curso de matemáticas. En esa época prácticamente no había diferencia entre los cursos de matemáticas y de física. Me recibí de ingeniero electricista en 1935 y de bachiller en matemáticas al siguiente año. Luego estuve trabajando, contratado como asistente del profesor Wataghin, que fue traído para fundar el Departamento de Física de la Facultad de Filosofía de la U.S.P. (Universidad de São Paulo).

En el último año de la Escuela de Ingeniería ya había hecho un trabajo de física teórica sobre las interacciones de los electrones, una aplicación de la electrodinámica cuántica. Ese trabajo se publicó en la revista italiana *Nuovo Cimento* en 1936. En la época de estudiante había hecho un trabajito: "Principios de la Mecánica", del que sólo publiqué la primera parte, la introducción, en la *Revista del Gremio Politécnico*. La segunda parte nunca la llegué a publicar. Ya recibido, hice algunos trabajos de física experimental con el profesor Occhialini, también en la U.S.P. sobre rayos cósmicos.

*–¿Qué contactos fueron significativos para el desarrollo de su trabajo en física?*

–Aquí en Brasil los contactos con Wataghin y Occhialini fueron muy estimulantes. Poco después, en 1938, comisionado por el Gobierno del Estado de São Paulo, fui para Italia. Occhialini regresaba allá de vacaciones. Viajamos juntos, y en el barco hicimos un trabajo experimental sobre la variación de la intensidad de las "lluvias de rayos cósmicos" con la latitud. Más tarde volví a trabajar con él en Bélgica, ligado a un grupo de física experimental. En Roma trabajé con Enrico Fermi. Publiqué dos trabajos sobre las fuciones singulares de la electrodinámica cuántica, que salieron en la revista *Physica*. Publiqué después un trabajo más completo en el *Journal de Physique et du Radium*. Hice un trabajo interesante sobre el origen de los rayos cósmicos a partir de los mesones, partículas altamente ionizantes, y no de los electrones o fotones, como se creía en esa época. Fermi no creyó en eso, y yo sólo redacté el trabajo aquí, publicándolo en los *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. Pero ese trabajo está

citado en el libro de Heisenberg sobre los rayos cósmicos. Después de que Fermi salió de Italia, fui para Zurich, donde trabajé con el profesor Pauli. Me encontré con Pauli varias veces más tarde, en Princeton en 1941, y después de la guerra, en Zurich, en donde él enseñaba. Tuvimos contactos frecuentes, que me influenciaron mucho, no sólo desde el punto de vista de la física. Yo que ya tenía interés por la filosofía oriental, fui estimulado por él en varias pláticas sobre ese asunto.

De Zurich, como la guerra estaba por estallar, fui para Bélgica, cerca de algún punto donde pudiese tomar un barco para volver. Antes pasé por París donde encontré a Bruno Pontecorvo, a quien me habían recomendado en Italia. El me presentó a Frédéric Joliot y pasé algunos meses en el Collège de France donde impartí seminarios y conocí a Paul Langevin. En Antuérpia tomé un barco del Lloyd Brasileiro. Era abril, y las tropas alemanas entraban en Praga. La guerra comenzó en septiembre cuando los alemanes invadieron Varsovia.

Fue un periodo interesante. Me gustó mucho Italia, en donde me identifiqué con el pueblo y vi muchas cosas sobre arte. Fue cuando comencé a interesarme nuevamente por el arte. En París conocí a Di Cavalcanti que tenía un estudio junto con Di Chirico.

Fue muy interesante hacer ese viaje a Europa, antes de la guerra. París antes de la guerra era otra cosa. Fue un mundo que todavía alcancé a conocer, y que desapareció.

*–¿Y usted regresó allá después de la guerra?*

–Regresé en 1948, 49. Durante la guerra fui para los Estados Unidos con una beca de la Fundación Guggenheim que por primera vez daba becas para el Brasil. También recibió esa beca Mauricio Rocha y Silva. Fui a Washington donde estaba Gamow, a quien ya conocía desde Brasil. Gamow estaba interesado en dilucidar la posibilidad de colapso de las supernovas. Pocos días después de haber llegado a Washington, comencé a estudiar los cálculos de la mecánica estadística y vi que no tomaban en cuenta la existencia del neutrino. La idea de la existencia del neutrino era reciente, había sido sugerida por Pauli y por Fermi. La energía era consumida en el centro de las estrellas con la emisión de neutrinos, y se daba con una velocidad tan grande, como en la que desaparecía el dinero en la mesa de ruleta del casino de la Urca.* De ahí que Gamow llamó a ese fenómeno, proceso Urca. Ese fue un periodo bueno en el que tuve muchas ideas. Después fui para Princeton, como miembro del Institute for Advanced Studies, en donde pasé 4 meses con mucha gente

* Famoso casino en el cerro de la Urca, en Río de Janeiro.

buena. Además de Pauli y Einstein, Feymann, que hacía su tesis, Wheeler, Von Neuman y Chandrasekhar. Trabajé con Pauli en cuestiones de relatividad general, publiqué dos notas en el *Physical Review*, una llamando la atención para el momento angular del campo gravitacional, por primera vez, y otra, un trabajo ya comenzado en Brasil, sobre interacciones nucleares que no conservarían la paridad. Cuando salió ese resultado, Pauli no quiso creer en él. Eso fue muchos años antes del descubrimiento de Yang y Lee, que no conocían mi trabajo. Sakata, en un congreso en Japón en 1965 mencionó ese trabajo.

Todavía en 1941 trabajé con Chandrasekhar, en el observatorio de Yerkes, sobre problemas de la evolución del sol, habiendo establecido el "Límite de Chandrasekhar-Schenberg". Ese resultado es importante en astrofísica y es válido hasta la fecha. En 1942, si me hubiera quedado en los Estados Unidos, tendría que haberme enlistado. Me invitaron para quedarme a trabajar en la Universidad de Chicago. Creo que fue un error regresar al Brasil en aquel momento. Regresé para presentar concurso y como se demoró hasta 1944, me fui quedando en Brasil. Trabajé entonces en teoría electromagnética, principalmente en problemas relacionados al electrón puntual. En 1948, regresé a Europa para el 1er. Congreso Mundial de Intelectuales por la Paz, después de haber sido en 1947, cancelado mi nombramiento de diputado y apresado por dos meses. Estuve hasta 1953 en la Universidad de Bruselas, en el Centro de Investigaciones Nucleares. Hice varios trabajos en mecánica estadística y teoría cuántica, publicados en el *Nuovo Cimento*, que fueron aprovechados en varias ramas de la físico-química. Además de esos trabajos hice una reformulación de la mecánica estadística clásica, construida a partir de la mecánica de Newton. Mostraba que la indistinguibilidad entre partículas no es consecuencia de la teoría cuántica, sino que está contenida en la teoría clásica. Es una cuestión de simetría. Creo que esos trabajos de Bruselas son muy importantes.

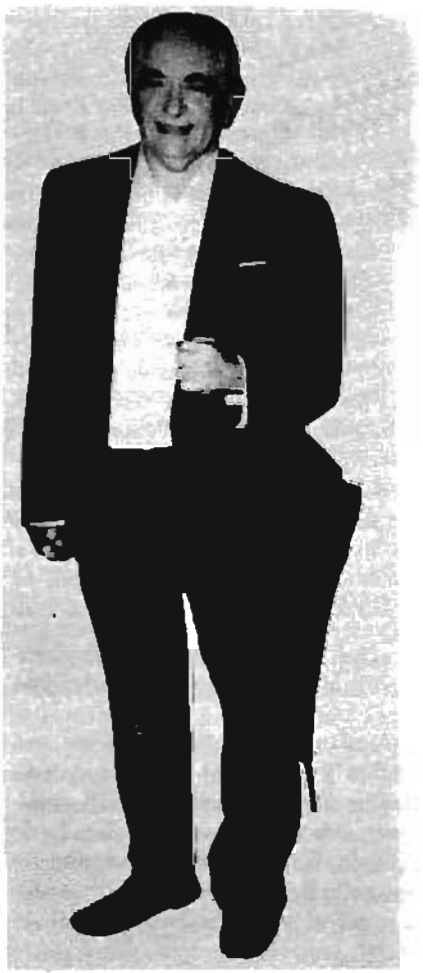
*—Al regresar, usted se vio comprometido con la implantación de la enseñanza y la investigación en física en São Paulo...*

—En esa época, Marcelo Damy era el director del Departamento de Física. Paulus Pompéia fue también director. Física funcionó primero en la sede de la Politécnica, en la calle de Tres Ríos, después pasó para una casa vieja en la calle Tiradientes y más tarde para la avenida Brigadeiro, después para la María Antonia y finalmente, pasamos para la Ciudad Universitaria. Nunca quise aceptar cargos administrativos; sólo acepté después de haber regresado del 2o. viaje a Europa, en 1953. Entonces quedé como director del Departamento de Física hasta 1961. Contribuí para hacer varias modificaciones, y fui ayudado por el rector, doctor Ulhoa Cintra. Sin su ayuda no hubiéramos conseguido fundar el Laboratorio de Física del Estado Sólido, y eso fue importante. Toda la gente del departamento era exclusivamente para física nuclear, pero yo tenía una divergencia de opinión muy grande, tecnológica, con la gente del Departamento de Física. Ellos creían que iba a haber una revolución industrial, y que esa revolución iba a tener como base la energía nuclear. Yo creía que venía realmente una revolución industrial, pero no basada en la energía nuclear, sino en la informática, en la electrónica. Por eso, creía que se tenía que desarrollar la física del estado sólido. Nadie en el Brasil entendía eso. Había ya algunos grupos, como los encabezados por Bernard Gross y Joaquín Costa Ribeiro, mas eran grupos pequeños. Intentaron también iniciar un trabajo en São José dos Campos, pero no tuvo éxito.

Nuestro programa fue hecho con mayores recursos, de origen federal. Quien me brindó una gran ayuda fue el entonces diputado Ulysses Guimarães. Cuando todo el mundo creía que el futuro sería la física nuclear, yo no sólo incentivé la física del estado sólido, sino que hice que el rector Ulhoa Cintra, comprara el primer computador de la U.S.P., un IBM; pero tuve que enfrentar una fuerte oposición. Hasta los profesores Oscar Sala y Carlos Gomes trataron de convencerme de no comprar un computador. Decían que en Boston no había...

Los físicos estaban contra las computadoras; no vislumbraron que ellas iban a revolucionar la ciencia. Es como sucedió con respecto a la política nuclear brasileña. Al comienzo, se podía contar con los dedos cuántos estaban realmente en contra: un desastre económico y la gente no se daba cuenta de esto. Los físicos brasileños no tienen mucha intuición con respecto a cómo se desarrolla la tecnología. Hay una falta de sentido de la realidad económica, por error de formación. Con relación a la energía nuclear, eso fue claro: no hay duda de que el reactor nuclear no puede competir de ningún modo con la energía hidroeléctrica. El cálculo del potencial hidroeléctrico que hacía la gente era absurdo. La energía nuclear podría competir con la energía derivada del petróleo, pero no con la hidroeléctrica. Confundieron las cosas, creyendo que la energía nuclear saldría más barata que la hidroeléctrica.

Los físicos creían que era en el área de la física nuclear donde iba a ocurrir una nueva revolución industrial y que



# PERSONALIDAD CIENTIFICA

las otras áreas eran teóricas. No comprendían que los rayos cósmicos fueron la primera fuente de partículas de alta energía –sólo después vinieron los aceleradores– y con ellos estaba la cuestión de la estructura de la materia. Era sólo falta de intuición sobre los caminos que la física iba a seguir. La física nuclear siguió siendo una rama secundaria y sólo escaparía de esa situación si se volviese tecnológicamente importante. Importante era la física de las partículas elementales y no la física nuclear propiamente dicha. Los fundadores de la física experimental en Brasil vieron las cosas con ciertas limitaciones, sin mucha amplitud. Quedaron fascinados con la física nuclear.

*–¿Profesor Schenberg, considera usted que los llamados fenómenos paranormales pertenecen a la misma realidad que los fenómenos físicos?*

–Uno de los puntos que todavía no he podido realizar –y todavía espero poder hacerlo– es la fusión de la biología con la física. El gran problema que está frente a la física es el problema de la vida. La mecánica cuántica consiguió fundir la química con la física y sólo después de eso fue posible explicar la valencia química. La frontera de la física quedó entonces en la biología, y el problema es cómo fundir esas dos ciencias. Yo creo que entre la física y la biología, está la parasicología. No la parasicología que se piensa en términos del espiritismo. Por cierto que el propio nombre "parasicología" es errado, porque da a entender cosas que están más allá de la sicología. Sería mejor "parafísica", lo que viene después de la física.

Mire: a Einstein no le gustaba la mecánica cuántica porque creía que iba a llevar a la parasicología. ¡Que intuición! Pero él no pensaba en los términos generales de la ciencia, cosa que Heisenberg sí hizo: Heisenberg pensaba en fundir la biología y la física. ¿Qué es fundamental en la biología?, ¿cuál es la característica esencial de la vida? Los biólogos no responden a eso. Yo creo que son las propiedades parasicológicas. Einstein comprendió, desde 1927, que la mecánica cuántica bordea la parasicología. Mostró que la materia tiene propiedades como parasicológicas, lo que en verdad es otra relación con el espacio y el tiempo: no es la de la física clásica, sino la de la mecánica cuántica. Y esa fusión entre la biología y la física quizás ni se dé con la mecánica cuántica, tal vez sea por la mecánica clásica misma. Para Heisenberg, la unión de la física y de la biología se da porque el fenómeno típico de la vida es el que haya una historia ¿por qué no va a haber cierta historicidad en la física? Esa era su idea. Puede haber otras.

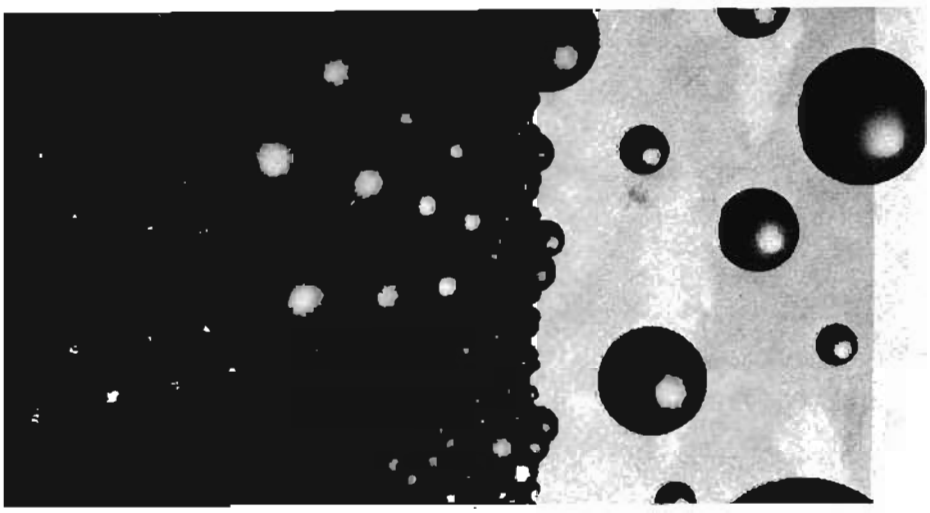
Es necesaria una cierta sensibilidad para lo desconocido; el científico tiene que estar siempre en el borde de lo desconocido. El científico no es el hombre que está en lo conocido –ese es el tecnólogo. Y lo que está al borde de lo desconocido es el problema de la vida. Esa y otras cuestiones tal vez estén ligadas a la impropiamente llamada parasicología, y tengan más que ver con la física misma. Este puede ser uno de los grandes cambios del pensamiento humano, un gran salto. La formación del científico debe crear en la persona una actitud de apertura para lo desconocido. Se necesita crear un faro para lo desconocido, en el sentido de sospechar de las cosas. Einstein era así, su percepción era muy fuerte.

*–¿La idea de parafísica tiene relación con su trabajo en Bruselas?*

–En Bruselas procuré mostrar que, dentro de la mecánica de Newton, se podía hacer una teoría de las partículas indistinguibles, necesaria para una termodinámica correcta, para evitar la llamada paradoja de Gibbs. Creían que eso sólo tenía que ver con la mecánica cuántica, con el principio de Pauli, pero mostré que no era así. Es el mejor trabajo que he hecho, se relaciona con la ecuación diferencial de Liouville en la mecánica estadística. Los artículos están publicados en el *Nuovo Cimento*.

Pero llegó un momento en que me asusté, porque aparecieron cosas extrañas y no entendí: parecía que podían suceder fenómenos físicos que no tenían localización espacial. Pero eran teorías matemáticas. Fue un enigma. A quien le gustó fue al profesor De Groot, de Alemania. Me dijo que había hecho un perfeccionamiento de la teoría de Newton en una dirección que no parecía posible. Recientemente, salió un libro en Holanda, del físico canadiense R. Paul, quien descubrió que en muchas ramas de la físico-química, se pueden aplicar métodos de la mecánica cuántica, aun cuando no sean asuntos de mecánica cuántica. Y realmente era eso lo que yo había hecho. En muchos asuntos de física clásica era posible aplicar métodos que parecían ser de la mecánica cuántica, pero que no lo eran, que entonces podían ser aplicados a la mecánica newtoniana.

Cuando hice ese trabajo, ni había oído hablar de parasicología, fue sólo hace diez años que, leyendo sobre fenómenos parasicológicos, relacioné las cosas, o sea, los fenómenos no localizados en el espacio. Y esos fenómenos no necesitan ser cuánticos, pueden ser clási-



cos. Luego que pueda, voy a volver a estos asuntos. Tal vez sean fenómenos relacionados con la telepatía, pero a través del arte. El arte está bastante relacionado con las cosas parasicológicas. Es posible que todo fenómeno artístico sea un fenómeno parasicológico, o al menos lo involucre.

*–¿Y sus trabajos más recientes?*

–Desde 1965 comencé a trabajar en problemas de gravitación. Publiqué, en la *Revista Brasileira de Física*, en 1971, y en el *Acta Physica Austriaca*, en 1973, dos artículos en los que hago una reinterpretación de la teoría de la relatividad general como una teoría de la causalidad. Así toda la geometría del espacio–tiempo queda basada en la causalidad. En la *Revista Brasileira de Física*, en 1977, publiqué un artículo sobre eso. Es un tratamiento más primario del problema del espacio, a nivel pre-geométrico, sin tomar en cuenta la existencia de una métrica *riemanniana*. En la actualidad continúo esa línea, con un trabajo en el que considero un principio variacional de la teoría electromagnética, sin la métrica que conduce a las cosas de la mecánica cuántica. La idea es tomar las ecuaciones algebráicas del conjunto de las ecuaciones de Maxwell, sin admitir *a priori* un número de dimensiones. Tomamos las leyes físicas en un nivel premétrico. Lo extraño es que el desarrollo de las ecuaciones va a exigir que la dimensión del espacio-tiempo sea igual a cuatro. Pero los trabajos que más me gustan son el de mecánica estadística clásica, que espero publicar a fin de año.

*–Usted, señor, parece tener una gran libertad interior, no estar ligado a esquemas ortodoxos.*

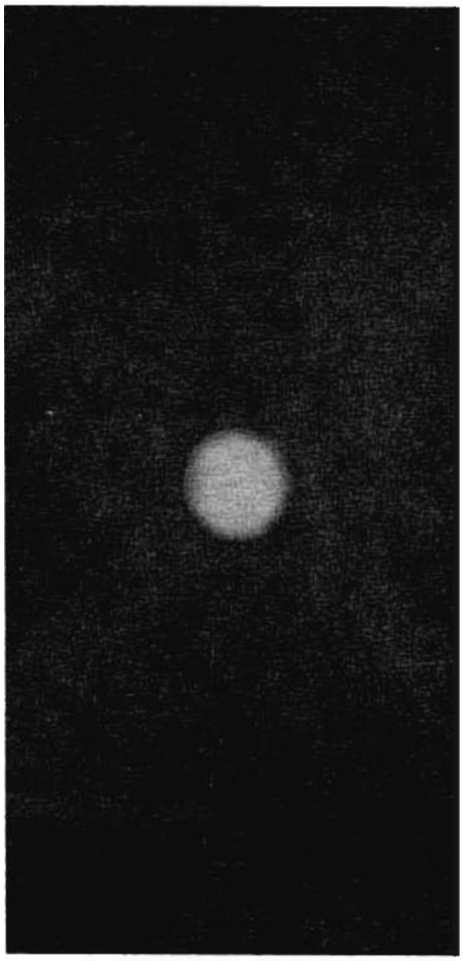
–Yo no me guío mucho por el raciocinio. El raciocinio es importante para probar las cosas, pero es la situación la que muestra las soluciones de los problemas.

Creo que no siempre se pueden ver las cosas con claridad. Hay cosas que, por su propia naturaleza, no pueden ser vistas con mucha claridad. Son cosas crepusculares, y si se quisieran ver con claridad se desvanecen. Tienen que ser vistas de esa manera.

No me impongo barreras innecesarias. Las personas se autocensuran. Yo no. Pero es claro que no digo todo lo que pienso, no soy un loco. No me censuro, mas no siempre hablo de los resultados a los que llego. La mayor parte de la gente tiene miedo, miedo de las cosas invisibles. Yo temo a los peligros visibles. Tal vez por eso yo no sea muy crédulo.

*–Usted nos lleva a la cuestión política.*

–Siempre fui un hombre de posiciones políticas definidas. Siempre que tengo certeza, alguna certeza, tomo posiciones políticas definidas. Es un deber que uno tiene, aunque se equivoque. Así creo que ayudamos más a las personas. Tenemos que dar opiniones, aunque no las podamos probar; eso puede estimular en los otros la búsqueda, para que tomen direcciones. Es el problema de Sócrates, quien era un partero de ideas, sacaba las ideas que estaban incubadas en la cabeza de las personas. A mí me gustaría hacer eso, y si lo hago, es sin la eficiencia de él.



*–Recientemente, en un debate sobre la guerra nuclear, usted hizo una exposición en respuesta a las predicciones pesimistas que se hicieron a partir de la lógica de la estrategia militar.*

–Lo que yo dije fue que también era matemático, hasta cierto punto y por lo mismo sé cuándo la lógica es precaria, de modo que no me entusiasmo mucho por las argumentaciones lógicas. Sé que es muy fácil descubrir una brecha en cualquier razonamiento. Creo que en el momento actual no estamos viviendo una situación normal para la humanidad: vivimos un momento muy especial, un momento en que la humanidad como un todo corre el riesgo de extinción total. . . tengo la impresión de que vivimos un momento en el que pueden ocurrir cosas excepcionales. Tenemos que apelar a otras cualidades humanas: sólo que los raciocinios lógicos no serán suficientes.

Podemos alinear una serie de argumentos, pero eso no nos lleva a ninguna decisión. Lo que nos da decisión es otra cosa, lo que nos impulsa a la acción. Creo que la humanidad está tomando esas decisiones. Vemos que los pueblos se movilizan por la paz en Inglaterra, en Alemania.

Además una discusión lógica nunca es una discusión realista. Uno puede aplicar la lógica a toda y cualquier cuestión. Lo difícil es tener sentido de la realidad. El problema que se enfrenta hoy es éste: ¿la humanidad puede ser destruida dentro de pocos días, pocas horas, o va a continuar su historia? Y esa es una pregunta completamente nueva. Aunque la cuestión de la ideología política de una persona. . . no es el tipo de cuestión que más interesa en este momento. Ante la inminencia de destrucción total, una divergencia política e ideológica por más grande que sea, no es tan grande como se pensaba antes. . .

En este momento debemos de tener una gran intuición. El valor de un pensamiento no es por lo lógico que sea, sino por cuánto represente a la realidad. Tenemos que procurar vivir esta realidad de nuestros días, que es una realidad muy rica, contradictoria, compleja y que puede ser muy diferente de lo que nos parece a primera vista. Vivimos un momento crucial y esto seguramente no va a llevar a la inacción.

# CIENCIA Y LUCIDEZ

**Vicki A. Sailer***

Einstein

OPINION

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

### La semántica de la ciencia

Para el "no-iniciado" la ciencia parece cada vez más, mucho más allá de su habilidad para comprenderla. Es una lástima, porque la ciencia, siendo una de las expresiones más nobles del ser humano, no debe ser privilegio de unos cuantos elegidos. Todos aquéllos con deseo de entender la vida, deberían tener acceso a los nuevos descubrimientos de la ciencia. Pero existe un obstáculo grande que es el obstáculo lingüístico. Los científicos inventan palabras para aplicarlas a sus descubrimientos y a sus herramientas. Inventan todo un lenguaje para conversar entre sí. Entonces, lo primordial para entender a los científicos, es poder conversar con ellos. Esta es la razón por la cual nuestros sistemas de educación superior empiezan con una licenciatura en la que se introduce al estudiante en los "idiomas" de cada especialidad. Los cursos de licenciatura son más que nada una memorización de términos científicos y un aprendizaje de la gramática científica: las matemáticas. A partir de ahí, un estudiante abusado ya puede entender lo que dicen los científicos y puede aprender más leyendo libros avanzados sobre los temas que le interesan. Es fácil decirle a un estudiante que no entiende algún problema científico, cuando simplemente no entendió cuál era la pregunta; y no es que sea incapaz de comprender el problema físico, porque esta dificultad es relativamente insignificante. Sólo los maestros inseguros se aprovechan de este detalle para presumir ante los "no iniciados". Sin embargo, siendo nuestro modo de comunicación básicamente verbal, la gravedad del problema está en el lenguaje que usan los científicos. Lo más grave del asunto es que este problema pasa inadvertido por los trabajadores científicos, los más indicados para solucionarlo. Es una falla de nuestra cultura el que nos acostumbramos tanto a hablar, que se nos olvida que las palabras son sólo un medio para comunicar ideas sobre lo que experimentamos en la vida real.

* Departamento de Energía CINVESTAV-IPN, Unidad Mérida.

### Cordura, locura y genios

Otra falla de nuestra cultura es siempre querer dividir las cosas en pares de opuestos. Queremos las cosas en blanco y negro. Nada de gris, por favor. Clasificamos a las personas como prácticas o idealistas y a los investigadores científicos como experimentales o teóricos. El que intenta hacer las dos cosas igual de bien, corre el riesgo de ser tomado por un "mil-usos": aunque, en plan de broma, le conceden la posibilidad de ser un genio: pobre de él si resulta serlo. Un genio es una cosa gris, una excepción que echa a perder la regla. ¿Qué hacer con él? Se le trata normalmente como una agradable equivocación por parte de la madre naturaleza. Una mejor solución al problema sería tomarlo como una persona normal y a los demás como errantes. Así podríamos estudiar sus procesos mentales para averiguar qué es lo que lo hace ser tan especial.

Hay una explicación sencilla de la relativa carencia de genios en nuestra sociedad. La mente, como cualquier aparato, tiene su manera de funcionar y necesita ser utilizada correctamente para poder sacarle el mejor provecho. Sin em-

bargo, la mente no viene con facturas. Antes de saber cómo usarla, la tenemos que usar para poder sobrevivir. Dependemos de la suerte y de nuestros mayores para aprender a usarla antes de que la echemos a perder. Habiendo pocos genios, hay pocas esperanzas para el que no hace un gran esfuerzo para afinar su máquina. ¿Cómo serán los procesos mentales lúcidos? Básicamente consisten en dar vueltas alrededor de los siguientes tres pasos:

a) Observar la vida real usando los sentidos físicos.

b) Relacionar los datos observados con datos almacenados.

c) Visualizar modelos mecanísticos para explicar los datos.

Todo ser vivo observa. Es lo más fácil y automático. Pero algunos observan más que otros. El que observe más, tiene más datos que relacionar y puede adaptarse mejor a su ambiente. Si definimos la cordura como estar en contacto con "la realidad", con el mundo físico-real, entonces los que observan mucho son muy cuerdos. Los científicos experimentales tienden a ser muy cuerdos (una observación de la autora). Sus vidas están dedicadas al aprendizaje del arte de la observación.

Todo ser que sobrevive relaciona. La expresión más simple de este paso de los procesos mentales es el método de aprendizaje por intento-y-error. Quien no aprende de sus errores está destinado a sufrir mucho y a vivir poco. Hasta un organismo unicelular tiene que hacer relaciones entre sus observaciones. ¿Qué es entonces lo que hace tan especial la mente del ser humano? Que tiene el sistema nervioso más altamente desarrollado de todos los seres vivientes que conocemos: tiene una gran capacidad de almacenamiento de datos y es capaz de hacer relaciones muy delicadas entre grandes cantidades de ellos. Es capaz de crear todo un mundo ideal, fantasioso, hecho de puros pensamientos. Pero el peligro está precisamente en eso. Los científicos teóricos, que muchas veces son confundidos con genios, suelen volverse locos. Quieren mucho a sus mundos ideales y pierden interés en el mundo físico-real. También pierden interés en comunicarse con los demás.

Todo ser que vive feliz visualiza. Dentro de nuestros modelos visuales está toda nuestra comprensión del mundo exterior que nos rodea. Nuestra adaptación al mundo se incrementa conforme

nuestros modelos se acercan más a la realidad. La tarea principal de la mente humana es ir modificando los modelos, comparándolos con viejas y nuevas observaciones, en un gran intento para adaptar mejor al organismo y, consecuentemente, para ser más feliz. Este proceso requiere ir subiendo hasta niveles super-abstractos y bajar otra vez a niveles de abstracción visualizables con una facilidad que permita no perder mucha información en el camino. Los genios son aquéllos cuyos caminos mentales están como supercarreteras: en buenas condiciones y sin obstáculos. La ciencia avanza gracias a los genios. Sin ellos los datos de los experimentales y las matemáticas de los teóricos no llevarían a ningún descubrimiento importante y quedaríamos igual de ignorantes todos.

**El ejemplo del electromagnetismo**

> "Nuestra época presenta terribles exigencias a la imaginación. El grado de imaginación necesario es mucho más extremo que el necesario para algunas ideas antiguas. Las ideas modernas son mucho más difíciles de imaginar. Usamos un montón de herramientas. Usamos ecuaciones y reglas matemáticas y construimos muchas imágenes. De lo que me doy cuenta es que cuando hablo del campo electromagnético en el espacio, veo una especie de superposición de todos los diagramas que siempre he visto dibujados al respecto. No veo pequeños haces de líneas de campo corriendo por ahí, porque me preocupa que si corrieran a una velocidad diferente, los haces desaparecerían. Y no siempre veo los campos eléctricos y magnéticos, porque a veces pienso que debería haber formado una imagen con el potencial vectorial y el potencial escalar, puesto que quizás sean las cosas físicamente más significativas que serpentean".
>
> *The Feynman Lectures on Physics*

Las palabras de Feynman son representativas del pensar científico de nuestra época y, hablando de épocas, se ve en sus palabras un error común pero seriamente grave. La esencia de la ciencia es estar siempre en la frontera de los conocimientos almacenados por la sociedad. Lo nuevo es característicamente incomprensible, simplemente porque no estamos acostumbrados a ello. Es una arbitrariedad suponer que vivimos en una época privilegiada en la cual la ciencia ya está más allá de nuestra capacidad para comprenderla. Sería una gran tristeza para la humanidad si los campos electromagnéticos no fueran visualizables puesto que, según la física moderna, todo fenómeno físico puede ser reducido a una interacción y/o superposición de ondas electromagnéticas. Si los campos electromagnéticos no son visualizables, entonces vivimos en un mundo que tampoco lo es y sólo nos queda vivir como teóricos locos. Antes de aceptar esta desesperante y futil conclusión, vale la pena investigar la historia de los estudios sobre el electromagnetismo y aplicar el proceso mental genial a los datos que se consiguen en el camino. La razón por la cual debe uno hacer eso, es que ninguna teoría está completamente despejada de sus orígenes históricos. Hay que tomar en cuenta los conocimientos que el científico tenía accesibles y el camino pensativo que le llevó a su teoría. En pocas palabras hay que saber ¿en base a qué dijo lo que dijo?

Faraday (1791-1867) fue un científico autodidacta que aportó una larga lista de descubrimientos al mundo científi-

co. Uno de sus trabajos más importantes fue el de lograr convertir magnetismo en electricidad. Es necesario mencionar que no fue para él un accidente. Oersted ya había mostrado cómo producir magnetismo con electricidad y Faraday concluyó, por simetría entre relaciones físicas, que el proceso inverso debería de ser posible. Su interés siempre estuvo en la ciencia pura, en buscar nuevos datos y relaciones. Sin embargo, no estaba acostumbrado a usar los símbolos ni métodos matemáticos. Para él sólo servían para hallar numeritos, pero dejaban sin explicación al fenómeno mismo. Siempre insistía en buscar modelos visualizables. Así que, según él, dos polos magnéticos o dos cargas eléctricas podrían actuar uno sobre otro sólo si el medio entre ambos jugaba un papel importante en el fenómeno. Después de 20 años de intentos, logró conseguir evidencia para su convicción, demostrando que un campo magnético es capaz de rotar el plano de polarización de un haz de luz. A este efecto se le conoce como el "efecto Faraday".

Maxwell (1831-1879) también aportó una gran variedad de descubrimientos al almacén del saber científico. Sus grandes contribuciones a la teoría electromagnética fueron las "corrientes de desplazamiento" y la formulación de las ecuaciones generales del campo eléctrico, precursoras de la teoría electromagnética de la luz. Maxwell, convencido por los trabajos de Faraday de la necesidad de un medio físico-real, portador del campo electromagnético, concluyó que cuando cambia la polarización dentro de un campo eléctrico, este cambio debe de involucrar un desplazamiento de electricidad, y en consecuencia debe de existir en el campo, durante el cambio, una corriente con las mismas propiedades magnéticas que la corriente en un conductor. Basándose en una analogía mecanística, o sea, en un sistema mecánico llenando todo el espacio, llegó a la conclusión de que este medio debía de ser capaz de transmitir vibraciones transversales, con una velocidad igual a la razón entre las unidades electromagnéticas y electrostáticas de carga. Luego se dio cuenta de que esta razón era igual a la velocidad de la luz, que había sido aproximada por Fizeau, y concluyó que la luz consiste de ondulaciones transversales en este medio dieléctrico. Lo que no hizo Maxwell fue estudiar las propiedades físicas del medio. Sugirió que fuera un fluido incomprensible; una sugerencia sin fundación en experimentos, pero tomada como algo intrínseco del modelo mecanístico por investigadores modernos.

Lorentz fue quien más hizo para desarrollar la teoría matemática. Estudiando el comportamiento de materia en movimiento en campos electromagnéticos llegó a un conjunto de ecuaciones conocidas como las *transformadas de Lorentz* que indican cómo las medidas de longitud y de tiempo de un marco de referencia, pueden ser traducidas a correspondientes medidas del mismo evento observado desde otro marco. El tomaba siempre un marco estacionario con respecto al éter y atribuía sentido físico solamente a las medidas hechas en este marco. Las ecuaciones tienen la propiedad de conservar la velocidad de la luz como una constante.

Todo fue tranquilo y comprensible en el mundo del saber sobre electromagnetismo, hasta el día en que se le ocurrió al joven teórico Einstein olvidarse del éter y aplicar las ecuaciones de Maxwell y de Lorentz a un mundo relativo y vacío. Nos introdujo a un mundo donde las ondas viajan en la nada y luego aparecen como partículas capaces de ejercer presión cuando entran en contacto con objetos físicos. Luego vino De Broglie para decirnos que hasta las partículas físicas en que habíamos puesto nuestra fe, no son más que ondas electromagnéticas también. Así que la conclusión "lógica" era que la existencia es una ilusión. Recordando la definición de cordura, como el estado mental de estar en fuerte contacto con el mundo físico-real, se concluye que la ciencia moderna va en camino hacia la locura.

Regresamos ahora a la pregunta original de si es posible visualizar ondas y campos electromagnéticos. Lo más probable es que sí y lo más irracional sería decir que no, simplemente porque así lo dijo algún "genio oficial". Lo que falta por hacer es aplicar un poco de sentido común físico al problema del éter. Por definición, si hay ondas tiene que haber un medio físico-real, puesto que una onda que se mueve longitudinalmente no es ni más ni menos que un *proceso* donde una compresión del medio se propaga. Es importante entender que una onda no es una cosa que se puede agarrar y aislar. Es un proceso que ocurre en un medio hecho de partículas individuales con espacios entre sí. Sin partículas no puede haber ondas. Si careciéramos de evidencia de que la luz se comporta tanto como una onda y como una partícula, entonces sí tendríamos una paradoja. El hecho de que los fotones siempre "viajan a la velocidad de la luz", indica que lo que miden nuestros instrumentos al sentir presión de radiación, es el oleaje que sufren los fotones cercanos al aparato. Pensando en el éter como un gas de fotones, podemos imaginar una variedad de propiedades. Lo principal es darnos cuenta de que, siendo compresible, el éter puede tener una densidad variable. Eso implica variabilidad en el número de fotones por unidad de volumen en un oleaje y, también implica, que la velocidad de propagación de ondas electromagnéticas en el "vacío" no puede ser una constante universal, porque varían las condiciones de este supuesto vacío.

Faraday fue quien propuso la idea de líneas de campo para visualizar campos eléctricos y magnéticos. El suponía que había flujos de éter que viajaban en las direcciones de estas líneas y sigue siendo vigente este modelo. Es especialmente ilustrativo para visualizar campos magnéticos alrededor de un imán, porque nos hace notar que los materiales sólidos magnéticos permiten libre paso al flujo del éter. En sólidos conductores, el éter, fluyendo como una corriente eléctrica, encuentra algo de resistencia y por eso se calienta el material.

Lo más difícil de visualizar entre las cosas mencionadas en este relato es, tal vez, la cuestión de las mediciones relativas. Una de las ecuaciones más ilustrativas es la de la relatividad de la masa. Todos aquéllos con algo de familiaridad con los conceptos de la relatividad, han escuchado decir que no se puede viajar más rápido que la velocidad de la luz. El resultado, según dicen, es que la masa del objeto sería infinita. Todo esto parece tener muy poco sentido si estamos hablando de viajar en un espacio "vacío". Pero recordando que este espacio está lleno de partículas, podemos imaginar lo que pasaría al movernos y causar una compresión tremenda de este gas: nos encontraríamos de repente con la nariz aplastada contra una pared de fotones. En la ecuación matemática es igual suponer la masa infinita que admitir que la velocidad vuelve repentinamente a cero. Las matemáticas de poco sirven si la idea no puede ser expresada con unas cuantas palabras del sentido común.

# NOTICIAS Y NOVEDADES

Elementos No. 4/5, año 1, Volumen 1. Impreso en México.

## POSIBLE DETECCION DE ANILLOS PROTOPLANETARIOS*

H.L. Shipman

NOTI CIAS

El proyecto de satélite IRAS (dado este nombre por sus siglas en inglés) de astronomía infrarroja por medio de satélites, es un esfuerzo conjunto de la NASA, la Agencia Espacial Holandesa y el Consejo Británico de Ciencias e Ingeniería, que recientemente ha encontrado una amplia variedad de fenómenos astronómicos nuevos.[1] Aproximadamente 250,000 fuentes infrarrojas individuales han sido cartografiadas dentro del proyecto, y el análisis de este banco de datos, que se llevará a cabo durante los próximos años, arrojará tremendos dividendos. Uno de los resultados más dramáticos que han aparecido en la primera etapa, es el descubrimiento de materia sólida orbitando en torno a ciertas estrellas cercanas.

Aunque las propias estrellas emiten alguna radiación infrarroja (ir), cualquier materia sólida que pudiera orbitar en torno a ellas absorberá luz de la estrella y reemitirá esa energía también como radiación ir. Así pues, una nube de polvo o de partículas de hielo orbitando en torno a una estrella producirá un exceso de emisión en la región infrarroja del espectro, el tipo de radiación medida por el IRAS. Otras mediciones y análisis se requieren para decidir si el exceso de radiación ir es realmente causado por una nube de partículas sólidas o por alguna otra causa.

La primera indicación de un exceso de radiación ir vino de las repetidas observaciones de IRAS de la 5a. estrella más brillante en el cielo: Vega (alpha Lyrae).[2] H. Aumann y colaboradores reportaron que Vega es siete veces más brillante en la longitud de onda de 60$\mu$m de lo que debería. Tanto en el caso de Vega como en el de otra brillante estrella, Fomalhaut (Alpha Piscis Austrini), mediciones hechas por IRAS y también desde tierra mostraron que la emisión ir no proviene de la pequeña y bien definida imagen de la estrella sino de una región más difusa, de un disco de material que rodea a la estrella. El tamaño de este disco o rascarón que rodea a Vega es aproximadamente del doble del tamaño de la órbita de Plutón y su temperatura es de 85° Kelvin, justamente la que se esperaría de granos de polvo a esa distancia de Vega. La composición de esta nube de materia protoplanetaria no es conocida: partículas sólidas grandes o muy pequeñas, formadas de polvo o hielo, podrían explicar las observaciones., P. Weissman ha planteado que otra posibilidad es que se trate de núcleos de cometas.[3]

Un estudio de las mediciones de IRAS de estrellas cercanas al sol mostró que más de 40 de una muestra de 335 estrellas dentro de un radio de 80 años luz de la tierra son objetos tipo Vega, que emiten en el rango 25 a 100$\mu$m por lo menos el doble de la energía que se esperaría.[4] Pero esas estrellas no han sido estudiadas con el mismo detalle que Vega y Fomalhaut y puede haber otras explicaciones del exceso de radiación ir (tales como pérdida de masa o la existencia de estrellas compañeras, previamente desconocidas).

Vega y Fomalhaut, para las cuales la interpretación de los datos está razonablemente bien establecida, son estrellas luminosas en la secuencia principal de su fase evolutiva (las estrellas de la secuencia principal, como el Sol, obtienen su energía de la fusión del hidrógeno en sus núcleos). Son, sin embargo, considerablemente más masivas que el Sol y su tiempo de vida en la secuencia principal es relativamente corto (aproximadamente $10^9$ años). Las otras 40 o más estrellas mencionadas anteriormente son más parecidas al Sol en sus masas, luminosidades y tiempos de vida. Los resultados obtenidos de Vega y Fomalhaut muestran que otras estrellas aparte del Sol están rodeadas por material sólido que puede asemejarse al que rodeaba al Sol en el tiempo en el que se formaron los planetas. Los resultados para las otras estrellas, si la interpretación del exceso de radiación ir se confirma, muestra que estos resultados pueden ser aplicados a una fracción considerable de estrellas tipo Sol.

* Traducción de: "IRAS Findings of Possible Solid Material Orbiting Nearby Stars", por H. L. Shipman, *Phisics Today*, enero 1985.

### Referencias


1. G. Neugebauer et al., *Science* 224, 15 (6 April 1984).
2. H.H. Aumann et al., *Astrophysics Journal Letters* 278, L23 (1 March 1984).
3. P. Weissman, *Science* 224, 987 (1 June 1984).
4. H.H. Aumann, *Bulletin of the Astronomical and Astrophysical Society* 16, 483 (1984).
5. *Science* 225, 39 (6 July 1984).

– Otras noticias relacionadas:

6. "Fotografía de alta resolución de un disco protoplanetario orbitando en torno a una estrella". *Physics Today*, febrero 1985, p. 19.
7. "Compañera estelar que aparentemente es un planeta gigante". *Physics Today*, abril 1985, p. 19.

# LA ESTRUCTURA DE LOS ELECTRONES SOLVATADOS**

P.G. Wolynes

Los efectos de un medio ambiente líquido en el comportamiento cuántico de la materia son centrales en muchos problemas de físicoquímica, que van desde la cinética de transferencia de electrones en reacciones biológicas y la química de radiaciones hasta la transición metal-aislante en fuidos. La entidad química más simple que exhibe estos efectos es el electrón solvatado. Descubierto primeramente en soluciones de metal en amoniaco, el electrón solvatado consiste de un solo electrón "suelto" confinado a una pequeña región por un cascarón fluctuante de moléculas del solvente.

Durante el último año poderosas técnicas teóricas han hecho posible llevar a cabo simulaciones por computadoras que permiten visualizar las trayectorias cuánticas del electrón y el cascarón de solvente que lo rodea. En la primera simulación de un electrón en cloruro de potasio fundido, Parrinello y Rahaman[1] usaron la técnica de dinámica molecular para muestrear las configuraciones del electrón y del solvente. Mostraron que en este sistema el electrón se parece mucho a un "centro-F", un fenómeno conocido en el cual un electrón es atrapado en el lugar que dejó vacante un ión negativo en un cristal iónico; una diferencia notable consiste en que el electrón solvatado tiene coordinación tetrahédrica. Esto podría esperarse de un anión tan pequeño en solución.

El sistema más simple: un electrón en Helio ha sido investigado por Hall *et al*, usando técnicas Monte Carlo.[3] Sus estudios indican la existencia de una densidad crítica en la cual se forman los electrones solvatados. En contraste con algunos modelos simples, la transición no afecta mayormente la energía del estado sino que produce un cambio estructural considerable. Aunque existe desde hace algún tiempo evidencia experimental de una transición de este tipo, suave pero rápida, en los estudios de movilidad, una prueba definitiva de la teoría no ha sido efectuada. Una teoría analítica[4] de esta clase de transición que utiliza conceptos de la teoría de la estructura de líquidos además de un tratamiento variacional del polaron ha sido propuesta por Feynman.[5]

Estos resultados son algunos de los primeros frutos de los nuevos enfoques sobre los aspectos cuánticos de la química de líquidos.

** Traducción de: "Structure of Solvated Electrons", por P.G. Wolynes, *Physics Today*, enero 1985, p. 5-16.

Referencias

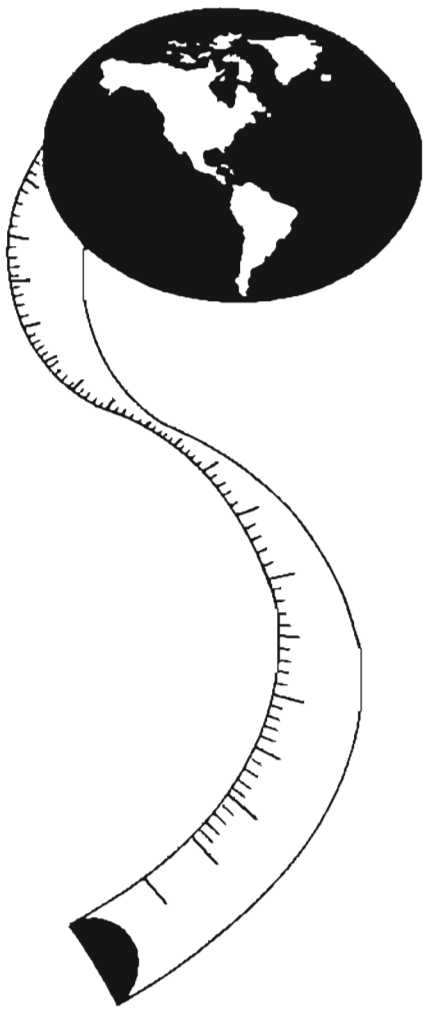

1. M. Parrinello and A. Rahman, *Journal of Chemical Physics*, 80, 860 (1984).
2. M. Parrinello and A. Rahman, *Monte Carlo Methods in Quantum Problems*, edited by M. Kalos (Reidel, 1984).
3. R.W. Hall, J. Bartholomew, and B. J. Berne (submitted to *Journal Chemical Physics* 1984); R. W. Hall, thesis, Columbia University, 1984.
4. D. Chandler, Y. Singh and D. Richardson, *Journal Chemical Phisics* (por aparecer).
5. R.P. Feynman, *Physical Review*, 97, 660 (1955).


# RESPECTO A LA NUEVA DEFINICION DEL METRO*

En la XVII Conferencia General de Pesos y Medidas celebrada en París en Octubre de 1983, se aprobó una nueva definición del metro* como principal unidad de longitud.

El metro ahora está definido por la unidad del trayecto que la luz recorre en el vacío en un intervalo de tiempo de 1/299 792 458 segundos. El valor de la velocidad de la luz se ha fijado en c = 299 792 458 metros/segundo. Así la unidad de longitud se independiza en el sentido metrotécnico, del segundo como unidad de tiempo. El metro sigue siendo la unidad base del Sistema Internacional de Unidades (SI).

En el servicio metrológico de la República Democrática Alemana, que es la oficina de Normalización, Metrología y Control de mercancías, el metro se representa con ayuda de la radiación de un láser de helio-neón/J2 de frecuencia estabilizada, con lo que la economía nacional del país dispone de la máxima exactitud que se puede alcanzar en la actualidad.



* Definición clásica del metro: "El metro es la diezmillonésima parte del cuarto del meridiano Terrestre.

Definición de 1960: "El metro es igual a 1650763, 73 veces la longitud de onda luminosa emitida durante la transmisión de un electrón entre los niveles $2p^{10}$ y $5d^5$ del átomo de criptón de masa 86.

*Revista de Jena*, 1984.

## FUNGUS DEGRADA CONTAMINANTES

La raiz blanca fungus (Phanerochaete Chrysosporium) que generalmente degrada moléculas de lignina en el medio ambiente, también puede degradar contaminantes tales como el DDT, dioxinas y lindano. Los bioquímicos John A. Bumpus, Steven D. Aust y colaboradores de la Universidad Estatal de Michigan demostraron en experimentos con radioisótopos que el fungus puede degradar anillos aromáticos halogenados y desclorar cloruros de alquilo, produciendo dióxido de carbono [*Science*, 228, 1434 (1985)]. Por ejemplo, en un periodo de incubación de 30 días, el fungus transforma 117 picomoles de benzo /a/ pireno y 131 picomoles de lindano (pesticida policlorado: 1, 2, 3, 4, 5, 6,-hexaclorociclohexano) a partir de cultivos que contienen 1250 picomoles de sustrato. Estos investigadores sugieren la implantación de cultivos de fungus en sistemas bajo tratamiento biológico, como medida ecológica y biológica de desintoxicación y eliminación de desperdicios químicos halogenados.

*Chem. & Eng. News*, No. 63, (1985) 32.

## LA ATMOSFERA DE MERCURIO

Mercurio el planeta más cercano al Sol, tiene una atmósfera semejante a la coma de un cometa –la región de gas difuso que rodea al núcleo de un cometa–. Potter y Morgan usando un telescopio al que se le acopló un espectrómetro, encontraron que el vapor de sodio es un constituyente mayor en la delgada atmósfera de Mercurio. Previamente se había detectado Helio e Hidrógeno en su atmósfera en un experimento llevado a cabo por el Mariner 10. El sodio en la superficie de Mercurio, posiblemente depositado allí como polvo proveniente de meteoros, puede haber sido depositado en la atmósfera cuando el viento solar choca con la superficie del planeta; la atmósfera puede estar siendo barrida continuamente por el viento solar, pero necesariamente un balance estacionario es mantenido para producir una atmósfera semejante a la de un cometa.

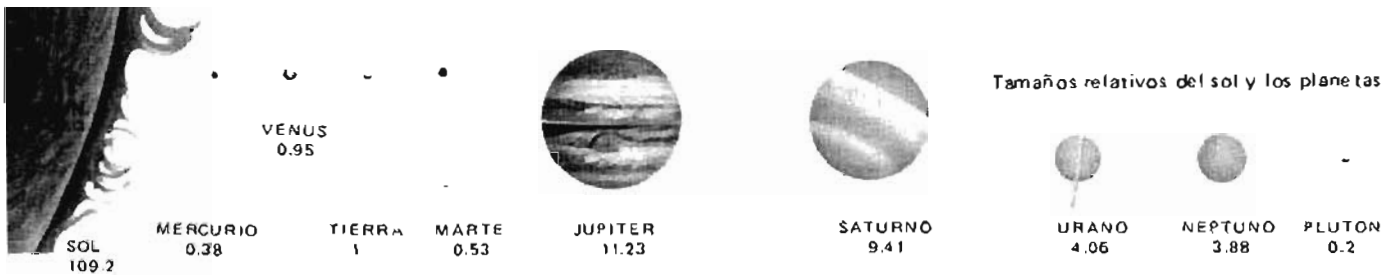
*Science*, 16 Agosto 1985

## ECLIPSES EN PLUTON

La detección de eclipses en Plutón a principios de este año confirma la existencia de la Luna de Plutón. En 1978 fue propuesta la existencia de un satélite –nombrado en forma extra oficial "Charon"–; pero dada la distancia a la que se encuentra Plutón de la Tierra, la confirmación de esta propuesta no ha sido fácil. Los astrónomos, se han estado preparando por años para detectar los eclipses en el sistema (Plutón-"Charon" que deberían ser aparentes desde la Tierra cada 3.2 días durante los próximos 5 o 6 años. Usando poderosos telescopios y detectores de luz muy sensibles, astrónomos en Texas, Hawai y California, registraron cambios en la luz reflejada por Plutón durante los meses de enero y febrero del presente año, que eran consistentes con la ocurrencia de eclipses. Estos datos deben hacer posible la determinación de los diámetros de Plutón y de "Charon", la masa del sistema, la densidad de Plutón y cualquier característica de la órbita de "Charon" alrededor de éste.

No será sino hasta el año 2100 que Plutón y "Charon" estén alineados correctamente para volver a observar sus eclipses.

*Science*, 7 Junio 1985




## CLIMA MARCIANO

Las tormentas de polvo globales parecen afectar el clima del planeta Marte. Marte es 1.5 veces más alejado del Sol que la Tierra y es muy frío. Las amplias fluctuaciones de temperatura contribuyen a la formación de fuertes vientos y tormentas de polvo, particularmente en el hemisferio sur, durante el verano. Marte tiene una atmósfera pequeña, formada principalmente por bióxido de carbono ($CO_2$), que se condensa en forma de escarcha en la superficie del planeta. Muestras colectadas por los satélites Viking (1976-1978) indicaron que la escarcha permanece en el Polo Sur de Marte durante casi todo el año, mientras que desaparece durante el verano del Polo Norte. Esta diferencia no era esperada, porque ambos polos reciben la misma cantidad de luz solar durante el año. Paige e Ingersoll explican esta diferencia mostrando que la escarcha en el Polo Norte es alrededor de 25% más obscura que lo escarcha en el Polo Sur y sugieren que la escarcha en el norte está más contaminada de polvo. Esto permite que absorba más energía solar y que entre en la atmósfera más rápidamente.

*Science*, 7 Junio 1985

# LASERES DE ELECTRONES LIBRES*

C. Brau

Los Láseres de Electrones Libres (LEL) son láseres de alta potencia y sintonizables, en los que la energía cinética de los electrones es transformada en luz. Durante el año pasado el campo de los LEL's ha experimentado un excitante crecimiento donde era más necesario, en el área de los resultados experimentales.[1] En verdad el campo alcanzó un nuevo grado de madurez cuando el primer LEL, es decir, el experimento original de la Universidad de Stanford, fue apagado. En su lugar ahora existen cuatro nuevos experimentos, y varios más están muy cerca de operaciones.

El primer experimento nuevo que empezó a funcionar fue el del anillo de almacenamiento ACO, en el laboratorio LURE cerca de París, Francia. Construido como fuente de radiación de sincrotrón, ACO se caracteriza por tener una corriente más bien baja y carecer de secciones rectas largas donde se pueda instalar un "meneador", un sistema de imanes que hace que el haz de electrones emita radiación. La ganancia del LEL medida hace unos años era de unas pocas partes por diez mil cada ciclo y, para complicar el asunto, las frecuencias armónicas de la radiación emitida por los electrones tendían a degradar la reflectividad de los espejos. Para mejorar la ganancia un nuevo tipo de meneador —llamado "klystron óptico"—, fue desarrollado. Este tipo de meneador fue concebido originalmente por un grupo en Novosibirsk, en la URSS, y emplea una sección magnética dispersiva para incrementar el agrupamiento óptico de los electrones y aparentar que el meneador es más largo de lo que realmente es.

Con un cuidado extraordinario el grupo de LURE construyó un resonador óptico de muy bajas pérdidas, y tuvo éxito el verano pasado en producir osciladores láser a una longitud de onda de 0.6$\mu$m empleando electrones de una energía aproximada de 150 MeV. Aunque la potencia del láser era pequeña, cerca de 100$\mu$W, la acción de "lasear" persistió por periodos de hasta una hora, limitada solamente por el tiempo de almacenaje de los electrones en el anillo. Los anillos de almacenamiento de electrones operan convenientemente a altas energías con excelente colimación del haz; es particularmente interesante cómo el LEL consigue longitud de ondas, $\lambda$, cortas, y ciertamente la mencionada anteriormente es la más corta alcanzada hasta ahora.

El segundo nuevo experimento que inició operaciones fue una colaboración entre un grupo de TRW, lidereado por George Neil, y el grupo de Stanford. Empleando el acelerador superconductor de Stanford —el mismo que emplearon John Madley y colaboradores en el experimento original del LEL— y un klystron óptico de 1.6$\mu$m., y una potencia promedio de 10W en pulsos de milisegundos. Recortando el periodo del meneador, la eficiencia y potencia de salida fueron incrementadas, logrando la mejor eficiencia de conversión de la potencia del haz a potencia del láser del orden del 1.2%. El diseño del klystron óptico fue empleado para incrementar la ganancia porque comparado con otros aceleradores empleados para experimentos de LEL, el vibrador superconductor de Stanford tiene relativamente una corriente baja (aproximadamente 2.6 amperes de corriente pico) pero muy buena resolución en energía y colimación. Un resultado inesperado del experimento fue la observación de una fuerte radiación de tercera armónica en 0.5$\mu$m.

El tercer nuevo experimento, un oscilador de $\lambda$ = 10$\mu$m desarrollado por Roger Warren y su grupo en Los Alamos, empezó a funcionar en el otoño de 1983. El primer experimento fue llevado a cabo en un meneador uniforme (no recortado). Dado que al acelerador que usan produce una corriente promedio alta, cerca de 30mA a 20MeV, es posible obtener una potencia de hasta 3kW en pulsos de 100$\mu$sec, que corresponden a una eficiencia del 0.4%. Variando la energía de los electrones es posible sintonizar el láser en el rango $\lambda \sim$ 9-11$\mu$m. Existen limitaciones debidas a la reflectividad de los espejos, que son del tipo forrados por un dieléctrico. Se observó que la calidad del haz óptico está cerca de los límites impuestos por la difracción. Este resultado, además de los resultados similares obtenidos por los grupos de TRW y Stanford, confirma las predicciones de la excelente calidad del haz óptico obtenible de los osciladores de LEL.

Recientemente el grupo lidereado por Donald Prosnitz del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore ha estado desarrollando un experimento de un amplificador de $\lambda$-larga y alta ganancia. Empleando un haz de electrones de 500A y 3MeV de un linac de inducción para amplificar la señal de un magnetrón de $\lambda$ = 9mm han obtenido cerca de 35 decibeles de ganancia con una potencia de salida que se satura en 100MW. La máxima eficiencia que han observado es de cerca del 5%.

En los próximos años se espera que se inicien varios nuevos experimentos. En Escocia, Desmond Smith y un grupo de personas de Heriott-Watt, el Laboratorio Kelvin y el Laboratorio Daresbury, están terminando la construcción de un sistema que operará a $\lambda$ = 10$\mu$m. En el Laboratorio Nacional de Brookhaven, N.Y., Claudio Pelligrini y colegas están planeando un LEL en el anillo UV de la Fuente Nacional de Luz Sincrotón, que operará en el visible y el cercano ultravioleta.

Dos grupos, uno conducido por Luis Elias de la Universidad de California en Santa Bárbara y otro conducido por Earl Shaw de los laboratorios AT&T Bell, están cerca de completar sus sistemas que operarán en el lejano infrarrojo, cerca de 100-400$\mu$m. Aunque estos sistemas son bastante distintos, el de UCSB emplea un microtón, ambos están destinados a ser usados como herramientas de estudio en la física del estado sólido. Aunque los LEL debido a su gran tamaño y costo nunca llegarán a ser tan comunes como por ejemplo, los láseres de helio-neón, su número creciente y alta potencia esperada deberán hacerlos de gran utilidad a un gran número de usuarios en un futuro no distante.

**Referencias**

[1] *Physics Today* 36, 17 (diciembre 1983). Otras notas relacionadas:

[2] Livermore reporta un láser de rayos X suaves, *Physics Today*, marzo de 1985, p. 17.

[3] Amplificadores de Láser de Electrones Libres alcanzan altas potencias en microondas, *Physics Today*, abril 1985, p. 17.

* Traducido de: "Free Electron Lasers", por C. Brau, *Physics Today*, enero 1985, p. 5-23.