

naturaleza

educación y ciencia

Einstein: Autobiografía
Partículas elementales
Semblanza de C. Federici
Autonomía del educador



Einstein:
¿Don Quijote?
¿Sancho Panza?

número 0

noviembre/81

\$ 120

3ª REIMPRESION

presentación



NATURALEZA
Educación y Ciencia

Revista de divulgación científica y orientación didáctica. Licencia en trámite.

La revista **NATURALEZA** es una publicación de la Fundación Educación y Ciencia. La responsabilidad de los artículos corresponde a sus autores y no refleja necesariamente la opinión del Comité Editorial.

La Revista **Naturaleza** aparece tres veces por año, en los meses de enero, mayo y septiembre.

Comité Editorial Provisional

José Granés
Dino Segura
Julián Betancourt
Paul Bromberg

Director

Paul Bromberg

Representantes en otras Ciudades

Cali Cristina Dimaté, Alvaro Perea
Bucaramanga Rafael Isaacs
Medellín O. Mesa, Y. de Covaleda

Diagramación

José Daniel Benavides
Teléfono: 251 48 56

Composición

Martha Elena Valencia
Teléfono 247 27 89

Impresión

W. Offset

Caricaturas

Fernando Fernández
Grosso

Colaboración Especial

Taller SIMBOLOS
Calle 44A No. 20 45
Teléfono: 245 60 05

EDITORIAL

Carácter de la revista.

La publicación que se inicia con este número de prueba podría caracterizarse –aunque el término resulte necesariamente impreciso y problemático– como una revista de divulgación científica. No pretende por lo tanto constituirse en un vehículo para la difusión, en la comunidad científica nacional, de las investigaciones especializadas en las diversas áreas de las ciencias naturales. Su función es otra. Apunta en lo esencial a hacer accesibles a un público no necesariamente especializado pero interesado en las ciencias naturales, algunos de los problemas, conceptos, métodos y resultados de estas disciplinas. Sus páginas desde luego también estarán abiertas para el tratamiento de problemas más amplios relacionados con el impacto cultural y material de las ciencias naturales en el mundo de hoy y con las dificultades que afronta el desarrollo de las ciencias en nuestro medio. La problemática compleja de la enseñanza, en especial la de las ciencias naturales y las matemáticas, ocupará de manera sustancial las páginas de esta nueva publicación. Esta aspira incluso a convertirse en una ayuda cada vez más eficaz de los docentes mediante la presentación y discusión de problemas fundamentales y de conceptos básicos en las ciencias naturales y mediante el análisis de su desarrollo histórico. A este respecto es necesario señalar sin embargo, que los editores no somos promulgadores de ningún remedio a los problemas de la educación en Colombia. La solución puede ser o no a largo plazo, y estar o no por fuera del marco mismo de la educación. Pero quizás la solución de nuestros mismos problemas como educadores dependa de alguna manera de la preparación y concepción del mundo que alcancen nuestros educandos con la enseñanza que les impartamos.

Nuestros lectores.

Si bien se espera que la revista, en principio, sea de interés para cualquier lector culto, se propone sin embargo incidir de manera especial sobre los docentes en ciencias naturales y matemáticas a nivel de la primaria, secundaria y universidad y sobre los estudiantes universitarios en esas disciplinas. La revista debería ser en lo esencial un órgano de debate sobre los problemas que afectan la labor académica de este sector de la intelectualidad. En consecuencia se espera poder establecer con los lectores una relación dinámica principalmente a través de la sección de "Cartas a la redacción". Esta sección servirá también de canal de

Nuestra portada

Cómo hay que ver a Einstein? ¿Acaso como un Don Quijote apasionado por la especulación teórica, o más bien un Sancho Panza resueltamente empirista? "Es necesario", precisaba Einstein, que el científico "ponga sus conceptos en relación con el mundo de la experiencia en la forma más directa y necesaria posible". Pero la teoría no puede ser deducida lógicamente de la experiencia; es inventada libremente. "Una oscilación entre estos extremos", agregaba, "me parece inevitable, y el hombre de ciencia no debe temer a aparecer como una especie de oportunista sin escrúpulos". . . . Alguna vez Einstein se calificó a sí mismo como Don Quijote de la Einsteina".

comunicación con los autores de los artículos. El Comité de Redacción es consciente de la importancia que el lector asiduo tiene para una publicación de este tipo. Sin su contribución activa esta empresa no podrá sobrevivir en el largo plazo.

Las secciones.

La revista contará con las siguientes secciones:

- Divulgación científica
- Historia y filosofía de las ciencias
- Documentos
- Ciencia y Sociedad
- Entrevistas
- Problemas de la enseñanza
- Dicáctica de las ciencias
- Problemas, paradojas y experimentos
- Noticias Científicas
- Noticias
- Cartas a la redacción



1978 - 1984

Durante estos seis años hemos contado con el apoyo de profesores y estudiantes de las diversas Universidades en donde hemos realizado exhibiciones temporales o permanentes, y de los cientos de clientes que utilizan nuestro servicio de pago contra entrega en las diversas ciudades del país



TECNILIBROS

Carrera 7a. No. 48-71 -- Tel.: 288 1721 -- Apartado 30976

índice

5	Cartas	
7	Notas para la semblanza de un pionero: la obra de Carlo Federici en Colombia	Jesús Hernando Pérez Vladimir Rojas
11	Autonomía del educador	Antanas Mockus
17	Clonación: pasado y presente	Cristóbal Corredor
19	La función exponencial	Open University
23	Los exámenes de admisión en la Universidad Nacional	Grupo de Admisiones de la Universidad Nacional
29	El aprendizaje de la ciencia a nivel básico: ¿continuidad o discontinuidad?	Dino Segura
37	Los métodos numéricos en la solución de problemas elementales de física	Germán Arenas
41	Notas para una autobiografía	Albert Einstein
49	La astucia de Dios o el enigma de las partículas elementales	Alicia de Mesa
59	Problemas y experimentos	
60	Noticias	

DISEÑO GRAFICO
FOTOGRAFIA ●
ILUSTRACION



245 60 05

○ José daniel
benavides

Calle 44A 20-45

ADIVA

AYUDAS DIDACTICAS DEL VALLE

Todo en material didáctico

Material para laboratorios de Física,
Química, Biología

Balanzas Microscopios Vidriería

○ DOTACION DE OFICINAS

○ PAPELERIA

○ TEXTOS ESCOLARES

CALLE 8 No 9-45 TEL 751939 CALI

□ Vida inteligente en el universo

Sagan (C.) y Shklovskii (I. S.)

La presente obra, versión española de la edición norteamericana, tiene diez capítulos más que la original rusa, debido casi por completo a asuntos nuevos. La disposición general permanece como en la edición rusa: una presentación primero de formación astronómica, luego de la naturaleza de la vida y de su posible concurrencia en nuestro sistema solar y, finalmente, un tratamiento de la posibilidad de que existan en los planetas de otras estrellas civilizaciones técnicas comunicativas adelantadas. En el capítulo introductorio aparece una visión general del libro más detallada.

EXTRACTO DEL INDICE

Capítulo 1. Perspectivas. — 2. Vida extraterrestre como prueba psicológica destacable. — 3. Tamaño y estructura del universo. — 4. Propiedades fundamentales de las estrellas. — 5. El medio interestelar. — 6. La evolución de las estrellas. — 7. Supernovas. — 8. El origen de los elementos. — 9. Evolución de las galaxias. — 10. Cosmología. — 11. Sistema de estrellas múltiples. — 12. Puntos de vista históricos sobre el origen del sistema solar. — 13. Rotación estelar y origen del sistema solar. — 14. Sobre la definición de la vida. — 15. El origen de la vida: Puntos de vista históricos y panspermia. — 16. Acondicionamiento físico para el origen de la vida. — 17. Síntesis química y principio de la evolución de la vida. — 18. ¿Hay vida en la Tierra? — 19. El planeta Marte. — 20. La búsqueda de

vida en Marte. — 21. La Luna. — 22. Mercurio y Venus: Medio ambiente y biología. — 23. El sistema solar más allá de Marte: Entornos solares. — 24. Vida en otros sistemas solares. — 25. El reconocimiento de la mediocridad. — 26. ¿Son satélites artificiales las lunas de Marte? — 27. Contacto por radio entre civilizaciones galácticas. — 28. Contacto óptico entre civilizaciones galácticas. — 29. Distribución de civilizaciones técnicas en la galaxia. — 30. Contacto interestelar por radio. — 31. Contacto interestelar por vehículos sonda automáticos. — 32. Contacto directo entre civilizaciones galácticas. — 33. Posibles consecuencias del contacto directo. — 34. Vida racional como factor en la escala cósmica. — 35. Inteligencia artificial y civilizaciones galácticas.

Editorial
Reverté

al comité editorial:

cartas



Señores
Comité Editorial
Revista NATURALEZA
Educación y Ciencia
Bogotá

Enhorabuena! El Centro Interdisciplinario de Investigaciones Científicas, con sede en la ciudad de Cali, expresa a los amigos de NATURALEZA — Educación y Ciencia, felicitaciones cálidas por la acertada labor de publicar en Colombia una revista de amplia divulgación que enriquecerá nuestra visión de la Educación en Ciencias Básicas.

Compartimos el objetivo de ustedes en la promoción de investigaciones y análisis sobre la función de las ciencias en la sociedad moderna, su área de influencia en la educación, en nuestro desarrollo tecnológico, y en fin de otras inquietudes que ampliarán nuestra perspectiva en torno a las relaciones Ciencia-Educación-Sociedad en el mundo contemporáneo.

Cordialmente,

CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIONES
CIENTIFICAS

Cali, Octubre 14 de 1981

Señores
COMITE EDITORIAL
Revista NATURALEZA
Bogotá.

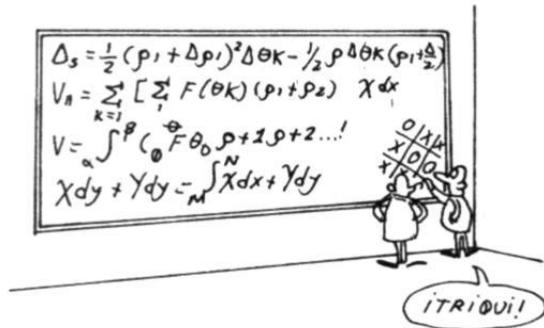
En octubre de 1979 tuve la ilusión de que el gobierno colombiano había al fin establecido un mecanismo ágil para apoyar programas de investigación propios en Física a través del Programa de Mejoramiento de la Enseñan-

za e Investigación en Ciencias Básicas de ICFES-COLCIENCIAS, y que de esta forma se abriría una nueva perspectiva nacional de financiación con recursos propios de la investigación sin depender exclusivamente de la "generosidad" extranjera.

Convencido de la efectividad de esa política, el 18 de octubre de 1979 presenté a consideración del mencionado Programa una solicitud de apoyo financiero para la creación de infraestructura investigativa en instrumental de las transiciones de fases en sólidos. Al año de haber presentado el proyecto a los mencionados organismos se aprobó la financiación de uno de los equipos solicitados consistente en un criostato óptico en el que podría utilizarse nitrógeno o helio líquido. En el proyecto se contemplaba también la adquisición de un amplificador de bajo ruido sensitivo a fase y a frecuencia (LOCK-IN), el cual no fue aprobado por el Programa.

Hasta la fecha han sido infructuosos mis esfuerzos por lograr la remisión del equipo a nuestro laboratorio, el que de acuerdo a convenios del Programa de ICFES-COLCIENCIAS con la UNESCO debe ser tramitado a través de su Oficina en París (Francia) y remitido a COLCIENCIAS en Bogotá. El equipo debe ser construido en los Estados Unidos de acuerdo a un diseño especial que presenté para lograr determinadas especificaciones técnicas.

Al respecto, en una última carta fechada el 25 de agosto de 1981 que recibí del doctor Jorge Vivas Reyna, subdirector de Colciencias, me informa textualmente que "la solicitud oficial se hizo a través de ese organismo (UNESCO) el 4 de marzo del año en curso y las diligencias pertinentes hasta el momento de su llegada al país,

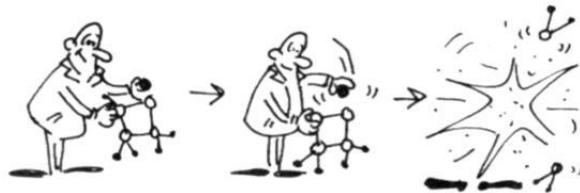


demoran alrededor de un año, por lo tanto, le sugiero (continúa diciéndome el doctor Vivas en su carta) "que solicite nuevamente información a Antonio de Veciana, encargado del proyecto en la UNESCO, París, con el fin de averiguar en qué estado se encuentra el trámite, ya que finalmente es la UNESCO quien realiza las órdenes de compra"

Mucho le agradecería, señor Director, la publicación de esta carta en esa revista para información de sus lectores y de la comunidad científica del país.

Cordialmente,

RUBEN A. VARGAS Z.
 Profesor Titular



jesús hernando pérez
vladimir rojas

notas para la semblanza de un pionero

[la obra de carlo federici en colombia]

El inicio en nuestro país de numerosas actividades culturales importantes ha contado con el apoyo o la influencia notable de personajes extranjeros que por alguna razón, encuentran en nuestra geografía y en nuestras gentes atractivo suficiente para radicarse y entregar sus capacidades y su vida al servicio del desarrollo cultural y científico nacional.

La actividad matemática es uno de estos casos. En Colombia, esta actividad es tan vieja como nuestra propia cultura; pero el despegue hacia niveles más avanzados sólo se ha logrado en los últimos años venciendo obstáculos y gracias a la tesonera labor que a veces pasa desapercibida por quienes encuentran el terreno abonado, de personas que se han atrevido a enseñar temas nuevos y a proponer actividades desconocidas por nosotros.

Hasta la década de 1950, la matemática en nuestras universidades estaba centrada en las Escuelas de Ingeniería, y no llegaba más allá de ser una simple actividad de fundamentación y apoyo para las profesiones técnicas. Numerosos y grandes maestros de álgebra, geometría, cálculo, mecánica, ecuaciones diferenciales, etc., desfila-

ron por nuestras aulas universitarias deslumbrando con su saber y sus particulares personalidades. Meritorio trabajo éste, que hoy en día por fortuna se continúa y que indudablemente ha contribuido a formar profesionales altamente calificados. Pero, con muy raras excepciones, como el conocido caso del maestro Garavito de la Universidad Nacional, nunca se exploraron terrenos no directamente relacionados con la enseñanza de los cursos de las carreras de Ingeniería.

En un ambiente académico dominado por las profesiones técnicas como el que reinaba en nuestras universidades hasta la década del año 50, lanzar la propuesta de crear una carrera donde se estudiase únicamente Matemática, donde se preparasen los futuros docentes universitarios e investigadores en Matemática y además proponer que la actividad matemática no dependiese de la Escuela de Ingeniería, sino de una Escuela o Facultad nueva que coordinara el desarrollo de la ciencia, equivalía a iniciar una verdadera revolución académica en pequeño.

El ambiente matemático en nuestras universidades en los años 50 estaba madurando para un cambio y algu-

Jesús Hernando Pérez
Departamento de Matemáticas
Universidad Nacional
Bogotá

Vladimir Rojas
Instituto de Aplicación Pedagógica
Universidad Nacional
Bogotá

nos había manifestado, por ejemplo en la Universidad Nacional, ideas en este sentido aunque sin mucho vigor. Sólo faltaba una persona valerosa y profundamente convencida de la trascendencia del proyecto, y ésta nos llegó de Italia: el profesor Carlo Federici Casa.

El profesor Federici, junto con algunos directivos, profesores y estudiantes de la Universidad Nacional fundaron en 1955 después de años de discusión y lucha el Departamento de Matemáticas convertido en Facultad en 1957, siendo su primer Decano; a partir de esos años despegó el desarrollo de la matemática moderna en Colombia. Esta, que por sí sola es ya una labor meritoria, fue la primera de una serie ininterrumpida de actividades notables que el profesor Federici ha dirigido o ha contribuido a impulsar, favoreciendo desde su llegada al país el 8 de abril de 1948 hasta nuestros días el desarrollo de la investigación científica, epistemológica y pedagógica.

En la actualidad Carlo Federici, quien es profesor emérito de la Universidad Nacional, preside la Sociedad Colombiana de Epistemología, creada el 13 de julio de 1979 y de la cual es socio fundador. Esta línea de acción, incomprensible para algunos especialistas y en la cual el profesor Federici ha venido trabajando desde sus primeros años en Colombia, se inició alrededor de sus preocupaciones por los Fundamentos de la Matemática, por la pedagogía matemática y por la ubicación de la matemática dentro de la actividad científica general y dentro de las diversas actividades humanas. Sus meditaciones derivaron hacia la fundamentación de la ciencia, abandonando los estudios especializados.

¿Qué otra cosa puede hacer una persona sensible y noble, que ama profundamente la universidad y la actividad académica a la cual ha dedicado toda su vida, y que es además consciente de las continuas y crecientes amenazas que se ciernen contra la ciencia y la investigación, sino procurarse una fundamentación, sólida? Esto lo ha com-

prendido muy bien el profesor Federici y por eso ha dedicado estos últimos años de su actividad intelectual al problema de la fundamentación de la ciencia, y ésta nos parece una nueva acción pionera en nuestro país, en la cual están empeñados los miembros activos de la Sociedad Colombiana de Epistemología y otros grupos de jóvenes investigadores.

Pero mencionemos cosas más sencillas sobre nuestro personaje. Federici nació en Ventimiglia, Italia, el 21 de julio de 1906, y cuando tenía dos años su familia se trasladó a Génova-Sestri, a donde su padre, funcionario del Ministerio de Correos, fue trasladado. En Génova-Sestri, importante centro obrero italiano, pues allí quedan los principales astilleros del país, transcurrieron los siguientes años de su vida hasta el viaje a Colombia.

Múltiples experiencias genovesas contribuyeron a moldear la recia personalidad del italo-colombiano que llegó al país de Macondo justamente en uno de los momentos más duros y tristes de nuestra vida nacional. Cualquiera otra persona habría regresado inmediatamente, más no este curtido aunque joven personaje, que combatió al fascismo y al nazismo, pagando por ello persecución y cárcel. Decidió venir a Colombia porque tuvo noticias de que aquí nos preparábamos para construir una nueva sociedad, donde posiblemente encontraría ambiente favorable para sus intereses en la Lógica Matemática, pero justo el día de su llegada todo se vino al suelo.

En Génova-Sestri conoció las posibilidades de un gobierno verdaderamente democrático. En los años inmediatamente anteriores a la Primera Guerra Mundial y durante ella, hubo en la ciudad un alcalde socialista y con alguna frecuencia Federici participó en diversas actividades asistenciales. Esto, junto a la enorme influencia de su Tierra Madre y a la de su maestro de quinto de primaria, a quien recuerda con cariño, inclinaron al joven Federici hacia el estudio y la enseñanza, dos acti-

vidades que desde sus primeros años han permanecido entrañablemente ligados a su personalidad. Con dedicación terminó sus estudios secundarios, y siendo el mejor estudiante de su distrito, ganó una beca para asistir a la universidad, donde obtuvo primero en 1928 el doctorado en Física y posteriormente en 1930 el doctorado en Matemáticas.

En la Universidad de Génova conoció a varios investigadores, de los cuales aprendió y asimiló algunas cualidades, pero también reflexionó sobre algunos de sus defectos. Alessandro Padoa lo inició en Lógica Matemática y por tanto a la lectura de los "Principia Matemática" de Russell y Whitehead; pero rápidamente se exasperó con el intrincado sistema deductivo de este libro y sobre todo con la poca naturalidad de las demostraciones. Esto motivó su primera investigación independiente como consecuencia de la cual inventó una nueva notación y un nuevo sistema de postulados para el Cálculo Proposicional.

A su llegada a Colombia y con las obras de Peano en sus manos enseñó cursos sobre lógica, los cuales causaron considerable impresión, máxime en un momento en el cual en nuestro país las posibilidades de la matemática eran prácticamente desconocidas. Que la matemática pudiera aplicarse a una actividad propia de la filosofía como la lógica no sonaba bien en nuestro medio. Pero la paciente actividad de Federici a la cual se sumaron posteriormente los esfuerzos de otras personas, ganaron poco a poco el interés de estudiantes jóvenes, quienes con alegría y pasión se lanzaron al espacio infinito de las matemáticas modernas.

Algunos de quienes lo conocimos como matemático y físico lamentamos el viaje de Federici hacia la epistemología y la filosofía de la ciencia, porque no comprendimos la trascendencia de estos temas. Nos limitamos a seguir de lejos sus planteamientos sobre pedagogía de la matemática, actividad en la cual, hay que reconocerlo, hay ac-

tualmente mucha improvisación. En este terreno Federici ha sido víctima de injustificados ataques, en ocasiones provenientes de personas que jamás han realizado ningún tipo de investigación pedagógica.

En los años 1972-1974, cuando fue director del Departamento de Ciencias de la Educación de la Universidad Nacional, intentó impulsar un proyecto de investigación sobre los programas de matemáticas vigentes en la educación secundaria, pero se estrelló contra los moldes duros aunque huecos de las metodologías importadas y transplantadas. Con experiencias como éstas, la necesidad de recurrir a los fundamentos se hizo todavía más clara. Los hábitos vigentes no tienen fundamentación científica y para cambiarlos, necesitamos convencernos y convencer a los demás que nos es posible edificar la investigación sobre cimientos débiles.

Ingrata tarea la que ha emprendido Federici. Pero nunca ha estado solo. Con su compañera Yole Celle, con sus hermanos ideólogos como el neurólogo Fernando Rosas Peña y otros miembros de la Sociedad Colombiana de Epistemología y sus nuevos jóvenes compañeros de ruta continúa trabajando para convencernos de la necesidad de que nuestras universidades coloquen en el lugar que les corresponde a la Filosofía de la Ciencia, la Epistemología y la Pedagogía Científica. □



autonomía del educador

Antanas Mockus
Departamento de Matemáticas
Universidad Nacional
Bogotá
Julio 1981

(a) Precisamente es este carácter interactivo el que se ha manifestado en las radicales limitaciones encontradas por todos los intentos de subsistir al educador por dispositivos técnicos mecánicos o electrónicos (máquinas de enseñar, televisión educativa, paquetes instruccionales computadorizados, etc.).

(b) Es importante no olvidar que sobre las relaciones maestro-alumno, así como sobre el qué se enseña y sobre el cómo se enseña, pesan también las tradiciones pedagógicas (formas del quehacer pedagógico socialmente reconocidas como legítimas) frecuentemente en forma más intensa que las normas explícitas. Por ejemplo, en ciertos casos de conflicto entre norma y tradición, puede imponerse la segunda sobre la primera.

El haber señalado esta fuerza propia de las tradiciones pedagógicas y el haber intentado desentrañar las razones y las formas sociales de mantenimiento de esas tradiciones es el mérito de cierta sociología de la educación (fundamentalmente Bourdieu y Passeron [1]). Desafortunadamente esta línea de investigación, en su unilateralidad convirtió en absolutas las determinaciones que descubrió, relegando la autonomía del educador y de las instituciones educativas al campo de meras ficciones útiles, de simples ilusiones "funcionales".

(*) Miembro del grupo investigador de la Universidad Nacional dirigido por el Dr. Carlo Federici, que trabaja sobre el problema de la formación de una actitud científica en primaria.

Es posible identificar en los últimos veinte años, una tendencia clara y permanente que amenaza, y afecta ya en parte, la autonomía de los educadores. Su expresión más clara consiste en la introducción del criterio de rentabilidad como criterio rector, y de técnicas de organización y control provenientes de la industria.

En el presente trabajo nos referimos genéricamente a los educadores, trabajen estos en Primaria, en Secundaria o en la Universidad. Consideramos al educador como perteneciente a un gremio cuya actividad reviste una serie de características comunes específicas:

1. Los educadores son *trabajadores cualificados*, porque no solamente requieren una *calificación* relativamente importante, es decir una larga preparación previa, sino que además —en vista de la multiplicidad y complejidad de situaciones y problemas que enfrentan en su práctica— están *formados* para afrontar con criterio e iniciativa propios, en forma oportuna, esa gama amplia de situaciones y problemas. Esta formación puede y suele ser adquirida por experiencia.

2. Los educadores son *trabajadores cualificados en el campo de la socialización y de la cultura*. Su práctica no hace por lo tanto parte de la producción agrícola ni industrial, ni tiene como fin primario la elaboración de productos culturales objetivados (por ejemplo libros). Su práctica exige más bien, como fin y como medio, el establecimiento de relaciones sociales entre educadores y educandos, interacción que se da primordialmente en el campo de la cultura. (a)

3. Aunque su labor se halla regulada por leyes, normas, reglamentos y programas, los educadores poseen un campo variable de autonomía respecto al tipo de relaciones que establecen con los educandos, respecto al *qué* enseñan, y sobre todo respecto al *cómo* lo enseñan. (b)

Este campo de libertad en la organización y realización de su propio trabajo, es el que da un contenido real a las ideas de AUTONOMIA y RESPONSABILIDAD referidas al trabajo de los educadores. Autonomía significa autogobierno, obediencia a la propia ley, ley que idealmente es establecida —o por lo menos es susceptible de ser esclarecida— racionalmente (c). Autonomía debe entenderse por oposición tanto a heteronomía que es la obediencia a leyes (y más generalmente a causas) externas, como a *anomia* que es la ausencia de toda ley reguladora. Sólo en la medida que hay autonomía, puede hablarse de responsabilidad: no se puede ser responsable de aquello que no depende en nada de uno. En este sentido la responsabilidad tiene también ante todo un carácter interno y es primordialmente responder ante sí mismo, ante las leyes y exigencias internas. Sólo en la medida en que se acepta este sentido de responsabilidad se puede hablar de moralidad (d). Además, en la medida en que esas leyes y esas exi-

La exigencia de rentabilidad se expresa como exigencia de eficiencia del trabajo pedagógico y da lugar a la llamada "Tecnología Educativa", un intento de reorganización de los procesos de enseñanza y aprendizaje que algunos tecnócratas han llegado a llamar "industrialización de la educación".

(c) El que esta ley sea "propia" significa que es interna, que ha sido "interiorizada" en la vida social de los individuos y que tiene poder propio para determinar, para obligar a realizar ciertas acciones, así como para evitar e impedir otras, independientemente de que medie coacción o presión externa alguna. Es la ley cuya trasgresión tiene como consecuencia primordial el sentimiento de culpa, y que por lo tanto no requiere sanciones externas, ni vigilancia externa, para ser respetada. Es una exigencia susceptible de transformación y/o fortalecimiento por medio de la reflexión racional, especialmente si ésta es colectiva, aunque también esté sujeta y deba enfrentar reiteradamente intentos de relativación y de debilitamiento orientados por motivos pragmáticos y oportunistas. Este complejo nexo entre reflexión racional y normas interiorizadas, a nuestro juicio, no ha sido aún suficientemente esclarecido. Sin embargo constituye posiblemente el problema central de la obra sociológico-filosófica de Jürgen Habermas ([2], [3], [4], [5] y [6]).

(d) El hecho de que en este momento, particularmente en este país, hablar de moralidad pueda provocar risotadas, o en el mejor de los casos, indulgentes sonrisas, es significativo en sí. Por otra parte los que celebran la "descomposición social" no imaginan el doloroso proceso de "recomposición social" que posiblemente nos espera.

(e) "Métodos para medir la eficiencia del maestro", "Normas y Pruebas para la Medición de la Eficiencia de Escuelas y Sistemas de Escuelas"; "Tercer Reporte del Comité sobre Economía, de Tiempo en la Educación" y "Medición de los Productos de la Educación" son reveladores títulos de anuarios publicados por la National Society for the of Education entre 1915 y 1920. [7, p.37].

gencias internas no tienen un carácter individual, y tienden a ser comunes a todo el gremio, puede hablarse de una *ética del educador*. Precisamente esa comunidad moral puede y debe ser un factor importante de cohesión gremial.

Caracterizado así el gremio de los educadores, se puede exponer el problema del que nos vamos a ocupar en los siguientes términos: es posible identificar una *tendencia clara y permanente en los últimos veinte años que amenaza y afecta ya en parte a la autonomía de los educadores*. Esta tendencia se manifiesta de muchas maneras, pero halla su más clara expresión en dos niveles complementarios: a nivel de la política educativa global, consiste en la introducción del criterio de rentabilidad como criterio rector, y a nivel de los procesos educativos mismos consiste en la introducción de técnicas de organización y control del trabajo provenientes de la industria. De este modo las modificaciones de las instituciones educativas en el país, han obedecido en parte, durante los últimos años, a estudios económicos (en un sentido restringido), con el criterio de que toda inversión en educación debe ser "rentable", y de que todo gasto educativo, como cualquier otra inversión, debe concentrarse en los sectores de mayor rentabilidad. Cualquier desarrollo de áreas no rentables, o de baja rentabilidad es presentado como "irracionalidad". Esto constituye obviamente un principio de heteronomía: son las leyes económicas, por ejemplo las leyes del mercado laboral, las que entran a regular y a determinar el qué se enseña y el cómo. Precisamente esta exigencia de rentabilidad se expresa como exigencia de eficiencia del trabajo pedagógico y da lugar a la llamada "Tecnología Educativa", que es un intento de reorganización de los procesos de enseñanza y aprendizaje (reorganización regida por el criterio de eficiencia) en la cual los procedimientos de control externo "incentivación" y "evaluación", pasan a jugar un papel primordial. Algunos tecnócratas han llegado a llamar este proceso "industrialización de la educación", denomina-

ción que es justa en cuanto expresa la asimilación de la educación a la industria en los dos aspectos señalados: adopción del criterio de rentabilidad como criterio rector y asimilación de técnicas de organización y control del trabajo provenientes de la industria.

Ante esta tendencia ¿tiene sentido defender la autonomía del educador? ¿o sólo hablamos de autonomía para salvar las apariencias y adornar nuestras prácticas?

Si optamos por defender la autonomía, debemos partir de un análisis de lo que la amenaza. Es posible que podamos aprender de la historia de otros gremios de trabajadores cualificados, examinando lo común y las diferencias.

Al estudiar la génesis de la "Tecnología Educativa" ésta aparece como un proceso de reorganización del trabajo pedagógico, que tiene sus orígenes en la llamada "administración científica" de la industria. Los primeros intentos de trasladar ésta a la educación tienen lugar entre 1910 y 1920 (e). Sin embargo este traslado se realiza a gran escala únicamente a raíz de la Segunda Guerra Mundial y en un campo muy específico: el entrenamiento militar. Sólo posteriormente, en los años sesenta, los esquemas desarrollados en la investigación sobre entrenamiento militar intentan ser aplicados a la educación en general.

La "administración científica" nace a principios de este siglo con la obra de F.W. Taylor [8]. El propio Taylor subraya explícitamente el problema desde el cual toda su obra puede ser analizada: el *problema del poder sobre el proceso de trabajo*.

Según Taylor, la multiplicidad de métodos de trabajo empleados, y el hecho de que los trabajadores poseen ese "conjunto de conocimientos tradicionales de los cuales una gran parte escapa a la dirección" [8, p. 26] crean una situación en la que el taller es "realmente dirigido por los obreros y no por los patronos" [8, p. 37].

Los historiadores de los procesos de trabajo en los Estados Unidos (véase por ejemplo [9]), caracterizan precisamente la segunda mitad del siglo XIX por un constante y violento enfrentamiento entre el sector patronal y las organizaciones gremiales de trabajadores cualificados. El trabajo de éstos reviste ciertas características específicas: relativa complejidad, autonomía para organizar el propio trabajo, gran peso de la experiencia, conocimientos tradicionales y procesos de formación controlados, por lo menos parcialmente, por el gremio, ética gremial interiorizada (respeto por el trabajo "bien hecho"), y organizaciones gremiales fuertes. Estas características determinan una dualidad de poderes sobre el proceso de trabajo.

Desde el punto de vista de la ganancia (es decir de la "valorización del capital"), el capital controla la producción. Obviamente la necesidad de que el valor producido por el proceso de producción sea mayor que el valor consumido en el mismo, y de que este proceso se renueve con la máxima frecuencia, requiere cierto poder sobre los procesos de trabajo (determinación del *qué* se produce, ciertas pautas sobre el *cómo*, muchas presiones sobre el *cuánto*); pero los trabajadores controlan los procesos de trabajo en su detalle, y este control pone límites al del capital.

Sin entrar en las minucias del taylorismo, podemos caracterizarlo como una dictadura del capital sobre el *cómo* del trabajo. En efecto, bajo el taylorismo, el *cómo* se trabaja, es determinado exteriormente ("científicamente") por el personal administrativo, e impuesto al trabajador. La *separación entre concepción y ejecución* es llevada tan lejos como sea posible. El trabajador se ve convertido en un puro ejecutor, es decir, se ve condenado a la heteronomía. Su arsenal de conocimientos tradicionales, su ética gremial, su responsabilidad, se tornan *prescindibles*. El tiempo de formación se puede reducir radicalmente. La experiencia (en particular los años acumulados haciendo un mismo trabajo)

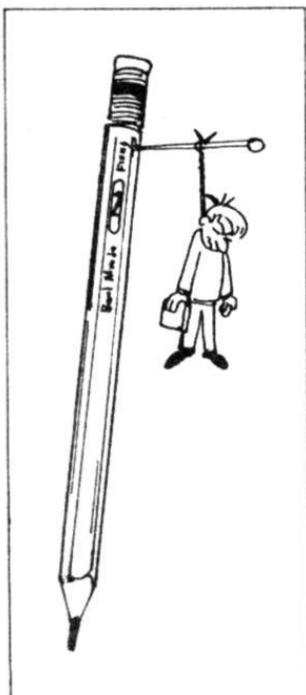
se torna inútil.

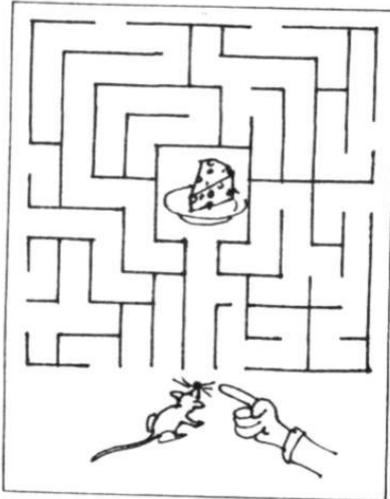
Taylor es consciente de la violencia de esa dictadura, de esa "imposición forsoza" que destruye los vínculos que se dan entre trabajador y trabajo cuando en el trabajo hay autonomía, ejercicio de la concepción, creatividad y responsabilidad (en una palabra, poder sobre el proceso de trabajo). Frente a los problemas de rechazo que de esto puedan surgir, Taylor (que aspira a que algún día exista una ciencia exacta de los motivos que gobiernan a los hombres, ciencia decisiva para el "manejo de los hombres") propone y ensaya sistemas de incentivación económica. El "nuevo sistema" sólo será aceptado por los trabajadores si va acompañado por una substancial alza del salario: Taylor determina entonces experimentalmente "el porcentaje exacto de aumento requerido para hacer trabajar a un obrero con la máxima rapidez", porcentaje que "depende de la naturaleza del trabajo que realice" [8, p. 86]. De este modo, puede concluir Taylor, "es posible dar al obrero lo que más desea —altos salarios— y al patrón lo que más busca: mano de obra barata" [8, p. 12]. No sólo el mayor esfuerzo y desgaste, sino también la pérdida de autonomía, son para Taylor compensables con dinero.

Resumiendo, se puede afirmar que Taylor expresa lineamientos claros para la organización del trabajo en la industria:

- separación radical entre concepción y ejecución,
- control externo sobre el *qué* y el *cómo*,
- motivación externa.

El taylorismo, junto con otras estrategias (como por ejemplo la subdivisión aún mayor del proceso de trabajo, el desplazamiento de trabajadores cualificados por máquinas capaces de realizar tareas complejas y de ser operadas por trabajadores no cualificados), fue un instrumento decisivo para la destrucción de muchos *oficios* y el debilitamiento de muchas organizaciones gre-





(f) Esto está ligeramente oculto en la hibridación colombiana de la Tecnología Educativa, en la que en una primera etapa, se deja aún margen de autonomía al maestro, pero obligándolo a separar en su actividad las fases de concepción y ejecución. Esta "parcelación" ("parcelación" dicen en primaria) tiende a sustituir una preparación conceptual de los temas y a limitar las posibilidades de autocorrección y de modificación del orden y del ritmo ya en el curso de las propias clases, en respuesta a situaciones y demandas concretas. De todas maneras la componente externamente diseñada es cada vez mayor.

miales (que reducían la problemática gremial a reivindicaciones salariales-económicas).

En anterior trabajo hemos mostrado como la Tecnología Educativa puede ser comprendida (y su historia reconstruida) como la aplicación del taylorismo a los procesos de enseñanza y a los procesos de aprendizaje [7] (f). Allí mismo hemos discutido las posibles ventajas de la Tecnología Educativa desde diferentes puntos de vista. Basta con recordar:

a). Las ventajas "económicas": disminución de los costos de producción y reproducción de los educadores, porque estos requerirían menos formación y podrían asumir un mayor número de horas de clase; optimización, es decir imposición generalizada de los métodos más eficientes lo que implica mayor productividad y por tanto mayor rentabilidad.

b). Las ventajas "políticas": control centralizado de contenidos y métodos de educación, reducción de los márgenes de politización.

Sin embargo, por lo menos desde la vista de punto económico, la Tecnología Educativa ha mostrado ser, en los propios Estados Unidos, un fracaso: el discutible aumento de eficiencia (que no siempre se da) no justifica los gastos e inversiones involucrados. Desde el punto de vista político, se puede señalar que todo el aparataje procedimental de control externo es susceptible de ser trapeado ("cumplimiento formal", "sobre el papel"), a menos de que se gaste mucho para mantener un control real, lo que crea dificultades económicas.

En esta artículo queremos hacer énfasis en los efectos de la Tecnología Educativa (y de sus lineamientos centrales: separación entre concepción y ejecución, motivación externa, control externo) sobre la autonomía y responsabilidad tanto del educador como del educando. En efecto, si bien la heteronomía puede ser opresiva para el edu-

cador, como lo es para otros trabajadores, afecta en este caso las relaciones sociales con el educando y por lo tanto afecta el proceso de socialización de éste.

Discutiremos los efectos de la Tecnología Educativa sobre la autonomía de maestros y alumnos, a partir de dos nociones que juegan un papel importante en la misma: "motivación" y "control".

La noción de "motivación" no sólo tiene un lugar sistemático dentro de los esquemas tecnológicos-administrativos, sino que ha sido ya adoptada por un gran número de maestros, que la utilizan en su jerga cotidiana. La reconstrucción del sentido del término en castellano aporta algunas indicaciones importantes:

Motivo designa en castellano la causa, la razón de una acción. El motivo tiene con la acción una relación de causa a efecto, una relación que no es meramente factual ni casual, sino que debe ser racional. Es decir, el nexo entre motivo y acción debe ser racional. Motivar, por ejemplo una resolución, es enumerar las razones por las cuales ha sido racional llegar a esa resolución. La acción humana (incluso aquella puramente discursiva: un pronunciamiento) debe tener un motivo racional, debe ser el resultado de una opción racional, está sujeta a una posible fundamentación racional. No importa que no sea siempre así, lo que se defiende aquí es la especificidad del actuar humano como actuar racional. Desde este enfoque "racionalista" podemos decir que la educación se orienta radicalmente hacia una relación racional con el actuar, en la que incluso el "deber" queda sometido a su comprensión racional.

Por otra parte, muy recientemente, *motivar* aparece como anglicismo con el sentido de "poner en movimiento". De nuevo el motivo establece con la acción una relación de causa a efecto. Lo que ha cambiado es que en este caso no pesa ninguna exigencia sobre la

El maestro que acepta recurrir a cualquier medio con tal de "poner en movimiento al alumno" renuncia a contribuir a que las actividades del alumno posean un carácter racional.

La actividad del alumno deja de estar racionalmente enlazada con la voluntad de aprender y el conocimiento racional de la necesidad de hacerlo, y pasa a estar orientada por fines ajenos, como las calificaciones y las recompensas.

La defensa de la autonomía de los educadores es entonces la defensa de ciertas posibilidades de vida social contra otras. Es un problema fundamental para el gremio. Y no solo para el gremio.

(g) A aquellos que se hallen tan comprometidos en ese proceso como para considerar irrelevante toda nuestra argumentación racional a favor de una moralidad racional, no podemos más que remitirlos a una formulación positivista (y parcial) del problema en el interior de la psicología norteamericana ([10], [11] y [12] entre otros) y a la comprobación empírica de algunos efectos nefastos de la motivación externa: "añadir recompensas extrínsecas a una actividad intrínsecamente motivante reduce su motivación intrínseca" es, por ejemplo, la conclusión de varios estudios ([13], pp. 425-6).

No resistimos la tentación de reseñar aquí la definición de que parten estos trabajos "estamos intrínsecamente motivados cuando nos percibimos como causas de nuestro comportamiento" (13, p. 425). El subrayado es nuestro, y señala la paradoja: la autonomía (ser causas de nuestro comportamiento) puede ser ilusoria, pero esta ilusión se revela necesaria, importante en particular para que no atribuyamos los fracasos escolares a razones externas (atribución que contribuye a hacer más intensos e irremediables los fracasos). ¡No deja de ser admirable el que la autonomía encuentre así, como "ilusión de autonomía", un lugar en la investigación sobre educación!

cualidad del nexo causa-efecto. Lo que importa es producir el efecto. Con tal de lograr éste, se puede incluso renunciar a todo enlace racional. Con tal de alcanzar el efecto cualquier medio es bueno. Entonces la llamada "motivación" puede seguir dándose a través del lenguaje (pero adoptando un *estilo publicitario*, que renuncia a los complejos nexos racionales, en aras de utilizar asociaciones y sugerencias de mayor impacto afectivo), o puede incluso intentar prescindir del lenguaje (no otra cosa significó en cierto momento el esquema del "condicionamiento operante").

El maestro que acepta que debe recurrir a cualquier medio con tal de "poner en movimiento" al alumno renuncia así a contribuir a que las actividades del alumno posean un carácter racional, sobre todo para él mismo. La actividad del alumno deja de estar racionalmente enlazada con la voluntad de aprender y el conocimiento racional de la necesidad de hacerlo, y pasa a estar orientada por fines ajenos (notas, recompensa). El maestro en vez de ocuparse de la fundamentación racional del aprender, pasa a ocuparse de la administración eficaz de estos fines ajenos. En vez de establecer una comunidad de racionalidad compartida que se amplíe día a día, el maestro consagra su racionalidad a operar "racionalmente" sobre otra. Esta operación puede ser no explicitada, ni tematizada (condicionamiento puro), o puede ser expuesta, tematizada (en este caso adopta la forma de un contrato mercantil). En ambos casos la heteronomía caracteriza la actividad del estudiante, y la comunidad de racionalidad no va más allá de la que es propia del intercambio mercantil.

El control externo va en la misma dirección: la exigencia interna ("me exijo") es desplazada por la exigencia externa ("me exigen"). Una ética de la exigencia externa desemboca necesariamente en el formalismo: se trata tarde o temprano de cumplir con la forma. Una moralidad sostenida por el peligro del sentimiento de culpa es des-

plazada así por una moralidad sostenida por el miedo a la sanción.

Podría argumentarse en contra nuestra, el que al existir *de hecho* un déficit de moralidad del primer tipo ("interna") se hace necesario acudir a la moralidad del segundo tipo ("externa"). Sin embargo esto conduce a un círculo vicioso en que cada vez se necesita más control externo, éste está cada vez más sometido a presiones externas, y las acciones se reorientan cada vez más a satisfacer y a engañar ese control externo, lo que necesariamente incrementa la inmoralidad.

Por otra parte si aceptamos en sus líneas generales el esquema de desarrollo moral del niño postulado por algunos investigadores [6, pp. 69-94], podemos mostrar que motivación y control externos corresponden a fases infantiles de moralidad y que por lo tanto su utilización sobre niños mayores, adolescentes y adultos equivale a una *infantilización moral*, en la cual las "etapas" superiores de moralidad, caracterizadas por el reconocimiento de normas universales y de principios respecto a los cuales podemos juzgar racionalmente las mismas normas (por ejemplo cuando son contradictorias), vuelven a ser sustituidas por las formas más elementales de moralidad caracterizadas por el predominio del miedo al castigo y la orientación por el placer. De este modo el desarrollo moral caracterizado por una creciente importancia del conocimiento, del análisis racional y del manejo intra-síquico de los conflictos morales, se ve frenado e incluso invertido. (g)

Los problemas hasta aquí tratados, no se circunscriben al campo educativo, sino que afectan a la sociedad en su conjunto. Habermas, por ejemplo, al examinar las posibilidades de crisis en las sociedades del llamado capitalismo tardío, considera posible una crisis de motivación y pregunta al respecto hasta dónde es posible sustituir "sentido" por "valor".

La defensa de la autonomía de los

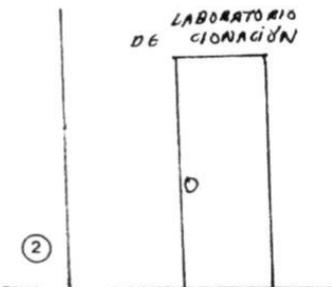
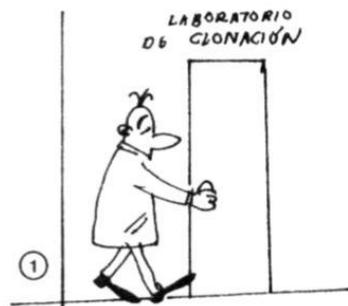
educadores es entonces la defensa de ciertas posibilidades de vida social contra otras. Es un problema fundamental para el gremio. Y no sólo para el gremio.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bourdieu, Pierre y Passeron, Jean-Claude, *La Reproducción*, Laia, Barcelona, 1978.
- [2] Habermas, Jürgen, La técnica y la ciencia como ideología, en *ECY* No. 127, Buchholz, Bogotá, 1970.
- [3] Habermas, Jürgen, Conocimiento e Interés, en *Revista Ideas y Valores* No. 42 a 45, Bogotá, U. Nacional, 1975.
- [4] Habermas, Jürgen, *Connaissance et Intérêt*, Gallimard, París 1976.
- [5] Habermas, Jürgen, *Problemas de legitimación en el capitalismo tardío*, Amorrortu, Buenos Aires 1975.
- [6] Habermas, Jürgen, *Communication and the Evolution of Society*, Bescon, Boston, 1979.
- [7] Mockus, Antanas, *Tecnología Educativa como Taylorización de la Educación*, (por publicar, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional).
- [8] Taylor, Frederick W., *Principios de la Administración Científica*, El Ateneo, Buenos Aires, 1973.
- [9] Brecher, Jeremy, The Work Relations Group, Uncovering the Hidden History of the American Workplace, *The Review of Radical Political Economics*, Vol. 10 (Winter), 1978.
- [10] deCharms, R., *Personal Causation: The Internal Affective Determinants of Behavior*, Academic; New York, 1968.
- [11] deCharms, R., From pawns to origins: Toward self-motivation, in *Psychology and Educational Practice*, pp. 380-407, Foresman, Glenview, Ill., 1971.
- [12] Deci, E.L., *Intrinsic Motivation*, Plenum, New York, 1975.
- [13] Wittrock, M.C., Lumsdaine, Arthur A., Instructional Psychology, en *Annual Review of Psychology*, 1977, 28: 417-59, (5)

crístóbal corredor

clonación: pasado y presente



Cristóbal Corredor
Departamento de Fisiología
Universidad Nacional
Bogotá

La siguiente es una adaptación de la revista
Der Spiegel y de la revista Discover.

¿Quién no ha sostenido con cándidas manos un ramillete de rosas? Si nos trasladáramos unos pasos atrás para situarnos en el huerto fragante en donde unas encallecidas manos cortaron ese colorido ramillete y le preguntáramos al hortelano cómo obtuvo tan perfumadas rosas, él con orgullo nos diría: "Son clones, de los más bellos". Igual respuesta nos daría si le preguntáramos por los frondosos durazneros, o los corpulentos manzanos.

Así fue en el comienzo, y hoy, el hortelano es un silencioso intelectual, que, equipado con un acúmulo de conocimientos de biología (genética, embriología, fisiología, etc), trata de ir más a fondo en el microuniverso de la célula. Hoy se ha logrado combinar células para formar heterocariones, binomios, celulares entre células de ratón y células humanas, que comparten por algunas horas, semanas, una vida. También se han unido células vegetales y humanas con métodos similares. El sueño de perpetuar lo más bello y lo mejor de la vida ha comenzado a volverse realidad.

En la década de los 70, siguiendo las investigaciones iniciadas por el biólogo británico John Gurdon en 1950,

T. King y R. Brigg lograron, con éxito absoluto, injertar un núcleo completo de una célula intestinal de rana en un oocito de la misma especie, al que previamente se le había inactivado su propio núcleo. El resultado fue la formación de una rana adulta idéntica a la que había originado el núcleo transplantado.

A mediados de 1981, los biólogos Karl Illmensee de la Universidad de Ginebra, y Peter Hoppe del Laboratorio Jackson en Baar Harbor, Maine, lograron un éxito notable: repetir el experimento de trasplante e injertación de núcleos, pero ahora en mamíferos, en este caso, ratones. Tomaron como fuente de núcleos un embrión de cuatro días de edad procedente de una ratona gris (homocigota para ese color). De este embrión tomaron solo aquellas células internas que originarían el futuro feto o animal adulto (para la enucleación). Tomaron simultáneamente un óvulo de una ratona negra (homocigota para ese color), recién fecundado por un espermatozoide (pero sin que se hubieran mezclado los núcleos del óvulo con los del espermatozoide), y eliminaron tanto el núcleo del óvulo como el del espermatozoide, y, en lugar de ellos, pusieron el núcleo

proveniente del óvulo de la ratona gris. Esperaron a que este injerto de núcleos presentara una vitalidad adecuada, y lo implantaron en un útero de ratona blanca (homocigota para este color), junto con otros óvulos fecundados de ratona blanca, como testigos.

El resultado fue el esperado: los óvulos portadores de los núcleos provenientes de ratonas grises, dieron origen a ratoncitos grises. Los óvulos intactos de ratones blancos dieron origen a ratoncitos blancos, como testigos de la buena operación de implantación de núcleos. (ver figura 1).

Aproximadamente uno de cada tres experimentos tenía éxito. Pero si utilizaban núcleos provenientes de la capa externa del embrión de la ratona gris, no se obtenía éxito alguno. ¿Por qué? La respuesta es que no todas las células poseen núcleos transplantables; todo depende del grado de diferenciación que hayan alcanzado.

Tampoco han tenido éxito los intentos de obtener copias de animales adultos, implantando núcleos de sus células hepáticas en oocitos de rana: se concluye que cada tipo de célula posee en su núcleo todo el material o dotación genética para reproducir el individuo en su forma completa, pero esta capacidad está reprimida o controlada en cierto tipo de células ya diferenciadas o especializadas. La pregunta más intrigante es: ¿puede este mecanismo de represión o control de actividad de los genes ser manejado a voluntad?

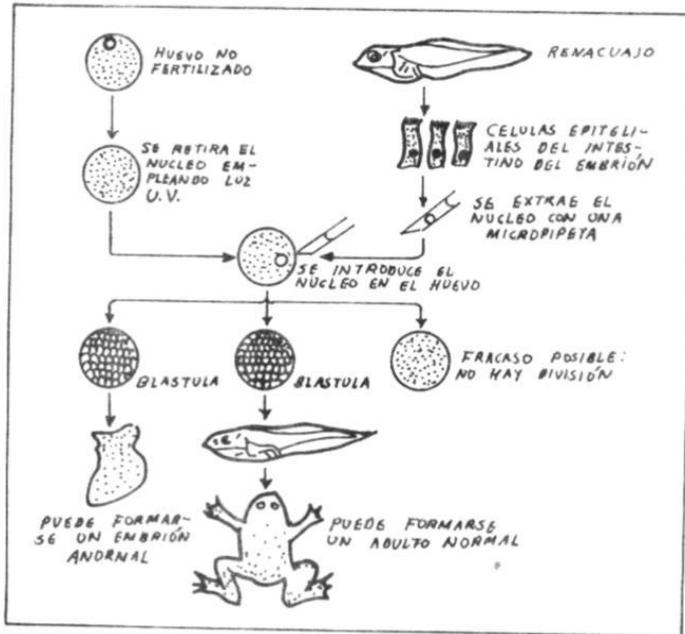
En experimentos con trasplantes de núcleos en ranas se pudo demostrar que, al menos en algunas células especializadas afectadas de cáncer, esto es posible. Marie di Bernardino y su grupo en la Universidad de Pennsylvania tomaron núcleos de tejidos cancerosos y los transplantaron a oocitos de rana enucleados. Estos trasplantes dieron origen a ranas adultas normales.

Este mismo grupo realizó otro experimento con glóbulos rojos de ra-

na. Estos glóbulos están en un estado extremo de diferenciación o especialización, de manera que el material genético del núcleo se encuentra reprimido. Estas células no se dividen en condiciones normales o cuando son transplantadas en oocitos maduros enucleados. Di Bernardino quiso "liberar" la información genética reprimida en estos núcleos, implantándolos en oocitos inmaduros enucleados, y añadiéndole una hormona que hacía que los oocitos maduraran. Así consiguió que algunos de los núcleos transplantados se desarrollaran en embriones casi normales antes de desintegrarse.

Estos experimentos tendientes a reprogramar los genes reprimidos o silenciados en células ya diferenciadas, si bien están en etapa inicial pueden dar luz sobre el enigma de la mayoría de las anomalías celulares conocidas como cáncer. El desarrollo de estos pasos iniciales podrán también dirigir la expresión de genes que permitan la regeneración de tejidos u órganos perdidos. Y un paso importante fue el dado por Illmensee y Hoppe.

El futuro es prometedor, y es el reto a los hortelanos de lo mejor y más bello de la vida. □



la función exponencial

La siguiente presentación de la función exponencial es una adaptación del capítulo correspondiente elaborado por el grupo de Open University de Gran Bretaña. El Comité Editorial consideró interesante el enfoque intuitivo del tema.

La importancia de la función exponencial reside en que proporciona la representación matemática más sencilla de los procesos de crecimiento y de los procesos de descomposición. Un ejemplo de estos procesos lo constituye el crecimiento de la población mundial, la "explosión demográfica". Podemos establecer un modelo matemático de él así: designemos por t el tiempo (número de años transcurridos a partir de un cierto instante inicial dado), por $f(t)$ la población en el tiempo t (es decir, f es una función que asigna a cada tiempo t la población en dicho tiempo), por b y h respectivamente las tasas de nacimiento y defunción por año y por individuo en la población. Supongamos para mayor sencillez que b y h son constantes.

Como primer paso para determinar cómo $f(t)$ depende de t , consideremos los cambios de población durante un solo año, digamos, del tiempo t_0 al tiempo $t_0 + 1$, así:

Número de personas vivas en el tiempo t_0 :

$$f(t_0)$$

Número de nacimientos entre t_0 y $t_0 + 1$:

$$\cong bf(t_0)$$

Número de fallecimientos entre t_0 y $t_0 + 1$:

$$\cong hf(t_0)$$

Número de personas vivas en el tiempo $t_0 + 1$:

$$\cong f(t_0) + bf(t_0) - hf(t_0)$$

Es decir,

$$f(t_0 + 1) \cong (1 + x)f(t_0) \quad (1)$$

donde hemos tomado $x = (b - h)$ = a la tasa neta de crecimiento anual por individuo de la población.

El signo " \cong " significa "aproximadamente igual" y lo hemos utilizado en lugar de "=", porque el cálculo anterior no es exacto, debido a que hemos supuesto para el cálculo de nacimientos y defunciones que la población $f(t_0)$ es constante durante todo el año. Para un cálculo más exacto tendríamos que tener en cuenta el hecho de que $f(t)$ va creciendo a lo largo de

¹ Agradecemos a Editorial Revérté Colombiana S. A. la autorización que concedió para reproducir aquí la primera parte del Capítulo 5, "La función exponencial", del libro Fundamentos del Cálculo, de Open University.

todo el año, de tal modo que la población es mayor en la segunda mitad del año que en la primera; en consecuencia, como b y h son constantes (tasas de nacimiento y defunción), se producen más nacimientos y defunciones en la segunda mitad del año que en la primera. Podemos tener esto en cuenta, considerando por separado las dos mitades del año, como se muestra en la figura 1.

El cálculo para la primera mitad del año es:

Número de personas vivas en el tiempo t_0 :

$$f(t_0)$$

Número de nacimientos en la primera mitad del año;

$$\cong \frac{1}{2} b f(t_0)$$

Número de fallecimientos en la primera mitad del año:

$$\cong \frac{1}{2} h f(t_0)$$

Número de personas vivas en el tiempo $t_0 + 1/2$:

$$\cong (1 + \frac{1}{2} b - \frac{1}{2} h) f(t_0)$$

Es decir,

$$f(t_0 + 1/2) \cong (1 + \frac{1}{2} x) f(t_0)$$

Con un cálculo análogo, se obtiene para la segunda mitad del año que:

$$f(t_0 + 1) \cong (1 + \frac{1}{2} x) f(t_0 + \frac{1}{2})$$

y sustituyendo $f(t_0 + 1/2)$ por su valor, se obtiene,

$$f(t_0 + 1) \cong (1 + \frac{1}{2} x)^2 f(t_0) \quad (2)$$

Este resultado es más exacto que el dado por la ecuación (1), pero aún es aproximado, pues hemos supuesto para el cálculo de nacimientos y defunciones que la población es la misma en el primer cuarto del año que en el segundo, y así mismo igual en el tercero

que en el último cuarto.

Una mejor aproximación se obtiene si dividimos el año en cuatro partes iguales. Haciendo cálculos análogos a los anteriores obtenemos:

Primer cuarto del año:

$$f(t_0 + 1/4) \cong (1 + \frac{1}{4} x) f(t_0)$$

Segundo cuarto del año:

$$\begin{aligned} f(t_0 + 1/2) &\cong \\ &\cong (1 + \frac{1}{4} x) f(t_0 + 1/4) \end{aligned}$$

Tercer cuarto del año:

$$\begin{aligned} f(t_0 + 3/4) &\cong \\ &\cong (1 + \frac{1}{4} x) f(t_0 + 1/2) \end{aligned}$$

Ultimo cuarto del año:

$$f(t_0 + 1) \cong (1 + \frac{1}{4} x) f(t_0 + 3/4)$$

Combinando las cuatro ecuaciones anteriores se llega a que:

$$f(t_0 + 1) \cong (1 + \frac{1}{4} x)^4 f(t_0)$$

Este resultado a pesar de ser todavía aproximado, es más exacto que el de la ecuación (2) (véase la figura 2).

De esta manera, subdividiendo el año en un número de partes cada vez mayor, obtendremos aproximaciones, cada vez mejores, del valor de $f(t_0 + 1)$. Al subdividir el año en k partes iguales se obtiene que:

$$f(t_0 + 1) \cong (1 + x/k)^k f(t_0)$$

Haciendo el número k de subdivisiones muy grande, podemos esperar que la fórmula anterior nos de una muy buena aproximación. La definición intuitiva de límite nos dice que el valor de $f(t_0 + 1)$ estará dado con la máxima exactitud posible considerando el límite de la sucesión de aproximaciones, que simbólicamente se indica por:

Tabla 1.

k	$(1 + \frac{0,1}{k})^k$	$(1 + \frac{1}{k})^k$
1	1,1	2
2	1,1025	2,25
3	1,103370	2,370370
4	1,103813	2,441406
5	1,104081	2,488320
6	1,104260	2,521626
7	1,104389	2,546500
8	1,104486	2,565785
9	1,104561	2,581175
10	1,104622	2,593742

La función exponencial.

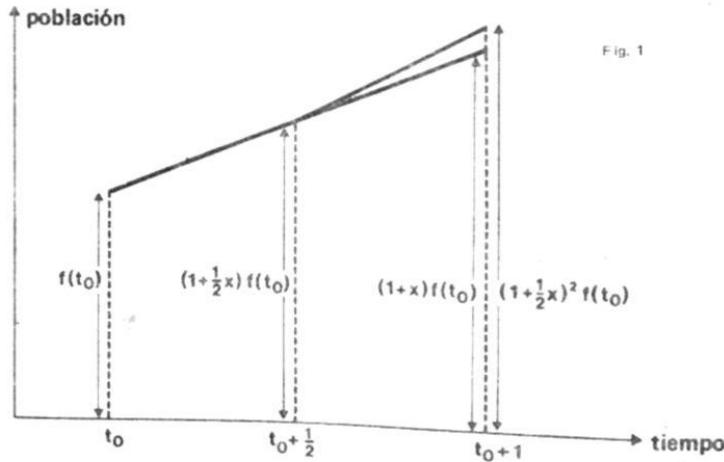


Fig. 1

con k un número natural, cuyos primeros términos son

$$\begin{aligned} &(1+x) \\ &(1 + \frac{1}{2}x)^2 \\ &(1 + \frac{1}{3}x)^3 \\ &(1 + \frac{1}{4}x)^4 \end{aligned}$$

La importancia del límite de esta sucesión va más allá de la solución al problema particular planteado. Tiene muchas aplicaciones en ciencias naturales, ingeniería, ciencias sociales y la matemática misma.

Para dar una idea del comportamiento de la sucesión, damos en la tabla 1 los diez primeros valores para los casos $x = 0.1$ y $x = 1$.

Observemos que para $x = 0.1$, la sucesión converge (se aproxima) rápidamente al valor 1.105, es decir,

$$\lim_{k \text{ grande}} (1 + \frac{0.1}{k})^k \cong 1.105$$

Para $x = 1$, la sucesión converge lentamente, y el límite en este caso es el importante número real e , de frecuente utilización en matemáticas y cuyo valor es:

$$e = \lim_{k \text{ grande}} (1 + \frac{1}{k})^k = 2.71828 \dots$$

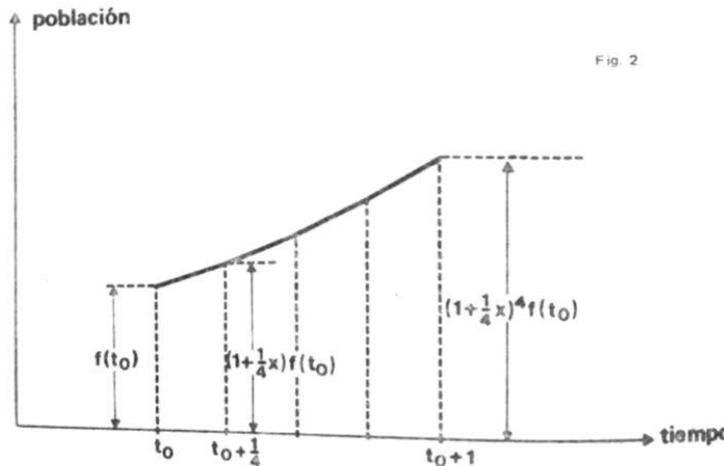


Fig. 2

$$f(t_0 + 1) = \lim_{k \text{ grande}} (1 + x/k)^k f(t_0)$$

Esta expresión es exacta dentro de las restricciones del modelo de crecimiento de población considerado (tasas de nacimiento y defunción constantes), y resuelve el problema planteado inicialmente. Indica que en un año la población queda multiplicada por un factor que es el límite de la sucesión

$$\{(1 + x/k)^k\}$$

A cada valor de x es posible asociar el valor del límite de $(1 + x/k)^k$, obteniéndose así la llamada función exponencial, que se nota:

$$\exp : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$$

$$x \mapsto \exp(x) = \lim_{k \text{ grande}} (1 + x/k)^k$$

(\mathbb{R} es el conjunto de los números reales), y cuya gráfica está en la figura 3.

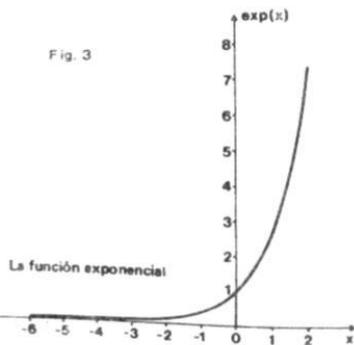


Fig. 3

La función exponencial

los exámenes de admisión en la Universidad Nacional objetivos - estructura - proyecciones

A finales de 1980, treinta y cinco mil aspirantes compitieron en la Universidad Nacional por 3.500 cupos para el primer semestre de 1981. Aunque estas cifras tan agudas no pueden considerarse típicas, la escasez de cupos en las universidades, especialmente en las oficiales, ha sido siempre un problema de gran magnitud. ¿Cuáles deben ser los criterios que guíen la confección de estos exámenes?

Este artículo está basado en la ponencia que presentó el Grupo Asesor de Admisiones de la Universidad Nacional al seminario organizado por el Icfes sobre exámenes de admisión, realizado en Bogotá los días 14 y 15 de mayo de 1981. Las ligeras modificaciones a la ponencia original fueron elaboradas por la profesora Ruth Pappenheim, miembro del grupo asesor.

Además de presentar esta información de interés para profesores y estudiantes, intentamos con este artículo iniciar una polémica nacional sobre el carácter de los exámenes de admisión.

La Universidad Nacional realiza en la actualidad pruebas de admisión cuyo objetivo central puede formularse así: seleccionar aspirantes que posean aptitudes, destrezas y conocimientos básicos necesarios para iniciar una carrera universitaria.

Es apenas obvio esperar que esta selección refleje la realidad de la educación en Colombia, pues aquellos estudiantes que han recibido una educación adecuada en el bachillerato son quienes obtendrán un mayor puntaje en el examen de admisión. Sin embargo, consideramos pertinente aclarar que en la elaboración de las pruebas se tiene el mayor cuidado para no incurrir en evaluaciones subjetivas que podrían favorecer a cierto tipo de aspirantes, como sería el caso de detectar

si el aspirante ha sido formado dentro de un marco cultural o ideológico determinado.

Para estructurar el banco de preguntas la Universidad Nacional cuenta con un Grupo Asesor, conformado por profesores de las facultades de Ciencias Humanas. Los profesores que componen este grupo, tomando como punto de partida su experiencia docente y después de analizar los principales obstáculos atribuibles a la carencia de aptitudes o de conocimientos básicos de los alumnos, han señalado los prerrequisitos generales y específicos que consideran indispensables en un estudiante de primer semestre en las diferentes carreras. Estos prerrequisitos serán expuestos más adelante.



● El éxito de los estudios universitarios no se logra de ninguna manera con una acumulación memorística de datos. Se necesita ante todo capacidad para asimilar información contenida en diversas modalidades de expresión oral y escrita, así como para razonar de diversas maneras y para formular y solucionar problemas teóricos o prácticos a partir de dicha información.

● Uno de los mayores obstáculos en el aprendizaje a nivel universitario radica en la carencia de una capacidad comunicativa adecuada, que se refleja no solamente en la dificultad para asimilar información, sino también en la carencia de rigor y exactitud para reproducirla.

24

Estructura y objetivos específicos de las pruebas

El éxito en los estudios a nivel universitario no se logra de ninguna manera con una acumulación memorística de datos. Por el contrario, el estudiante universitario necesita ante todo capacidad para asimilar información contenida en textos, fórmulas matemáticas, gráficas y demás modalidades de expresión oral y escrita, así como también capacidad para razonar de diversas maneras y para formular y solucionar problemas teóricos o prácticos a partir de dicha información. Por todo esto, desde el año 1978 la Universidad Nacional ha establecido un examen de aptitud académica separado del examen de conocimientos. Inicialmente esta primera prueba correspondía a un 40% del puntaje total y la segunda a un 60%. La experiencia ha mostrado la importancia de la evaluación de aptitudes, por lo cual el primer examen tiene actualmente un valor de 50%.

El examen de aptitud permite seleccionar del total de aspirantes aquellos que obtienen un puntaje igual o superior al mínimo fijado por el comité de admisiones. Estos aspirantes son convocados a la prueba de conocimientos, cuyo contenido varía según la carrera elegida. Mediante un promedio entre los puntajes obtenidos en ambas pruebas se selecciona a aquellos estudiantes que además de poseer aptitudes y formación general adecuadas demuestran mayor conocimiento en áreas afines a su campo de estudios universitarios.

I. La prueba de aptitud académica

El término "aptitud académica" en nuestro caso hace referencia a aquellas destrezas necesarias para poder realizar actividades de estudio a nivel superior. Aunque estas capacidades implican cierta madurez intelectual, la prueba en sí no es un test psicológico; en otras palabras, no se trata de exa-

minar el coeficiente de inteligencia del aspirante, sino su capacidad para afrontar estudios universitarios. afrontar estudios universitarios.

En esta prueba se coloca al aspirante ante diversos tipos de información y de tareas de un carácter semejante a los que va a encontrar al comienzo de sus estudios universitarios. En concepto de los profesores del Grupo Asesor, es evidente que uno de los mayores obstáculos en el aprendizaje radica en la carencia de una capacidad comunicativa adecuada, que se refleja no solamente en la dificultad para asimilar información impartida a través de conferencias o lecturas, sino también en la carencia de rigor y exactitud para reproducir una información y en los prejuicios subyacentes que inducen a agregar, quitar o malinterpretar partes de la misma. Por ello se ha diseñado esta prueba con los siguientes objetivos:

1. Medir la capacidad del aspirante para captar en forma objetiva y correcta información contenida en textos escritos, tablas de datos, gráficos o ecuaciones. En particular, el estudiante debe ser capaz de:
 - Comprender textos de extensión diversa, oraciones y términos. Esto implica no sólo captar las ideas, sino también las relaciones existentes entre ellas y el propósito con el cual se exponen.
 - Interpretar el sentido de los elementos contenidos en un gráfico o una tabla de datos y captar la relación entre los mismos. Esto supone una familiaridad mínima con este tipo de información, a la cual el aspirante tiene fácil acceso a través de sus textos escolares y de medios de comunicación masiva.
 - Interpretar correctamente un lenguaje matemático básico que no supera en mucho el nivel de



Estudiantes sin conocimientos básicos de aritmética, álgebra, geometría, trigonometría y cálculo elemental no están en condiciones de iniciar cursos de nivel universitario. Estudiantes sin un dominio suficiente de su propio idioma carecen del instrumento básico de comunicación en el proceso de aprendizaje. Asimismo, estudiantes que ignoran por completo la historia de su país y el ámbito geográfico social y cultural en que viven carecen del prerrequisito esencial para el estudio de las ciencias sociales, y de un elemento básico en la cultura de todo universitario.

A veces es necesario realizar un esfuerzo considerable para ayudar a estudiantes con una mala formación en ciencias a erradicar hábitos mecanicistas o falsas concepciones sobre la ciencia.

conocimientos de primaria (aritmética y geometría elemental).

- Interpretar correctamente las relaciones entre elementos de simbología abstracta.

En resumen, se trata en primer lugar de evaluar la capacidad para reconocer *qué dice* y *qué no dice* un texto, una proposición, una ecuación o un gráfico.

2. Medir las capacidades para transformar la información. El aspirante debe demostrar su capacidad para reproducir una misma idea en palabras diferentes, traducir una información verbal en forma gráfica o viceversa, organizar elementos dados en forma gráfica, tabular o verbal, de acuerdo con ciertos criterios, etc. Esto permite no sólo corroborar el grado de comprensión del significado de la información, sino también medir la flexibilidad en el manejo de la misma.
3. Medir una capacidad que genéricamente se denomina *razonamiento*. El aspirante debe demostrar su capacidad para

- Descubrir inferencias posibles.
- Aplicar reglas lógicas o simplemente operacionales a conjuntos, juicios, términos o símbolos abstractos.
- Complementar una información de manera coherente, desde el punto de vista lógico o gramatical.
- Descubrir inconsistencias y fuentes de error en razonamientos.
- Reconocer el cumplimiento de condiciones preestablecidas.
- Descubrir relaciones de equivalencia, incompatibilidad o analogía entre elementos dados dentro de un contexto. Las

preguntas sobre analogías, antónimos y sinónimos se realizan ubicando la palabra o expresión a la que hace referencia la pregunta dentro de una oración o un texto completo. Esto con el fin de delimitar el sentido, pues un término fuera de contexto con frecuencia puede interpretarse de diversas maneras, originando ambigüedades o inexactitudes.

4. Verificar la capacidad del aspirante para *evaluar* y *aplicar* la información. En particular la capacidad para valorar la fuerza de un argumento a favor o en contra de una tesis, para evaluar la información respecto a su correlación lógica, su aplicabilidad o adecuación a ciertos fines y para aplicar reglas e instrucciones generales a casos concretos.

En la actualidad la prueba de aptitud académica está dividida en tres secciones: comprensión de lectura, razonamiento verbal y simbólico y razonamiento matemático¹.

II. Prueba de conocimientos

Estudiantes sin conocimientos básicos de aritmética, álgebra, geometría, trigonometría y cálculo elemental no están en condiciones de iniciar cursos de nivel universitario y tenderán a influir un descenso en el nivel académico de los cursos y con ello, una caída en el nivel académico general de las carreras. Estudiantes con mala formación en las ciencias no sólo exigen a las carreras partir de cero en estas áreas, sino que a veces es necesario realizar un esfuerzo considerable para ayudarlos a erradicar hábitos mecanicistas o falsas concepciones sobre la ciencia. Estudiantes sin un dominio suficiente de su propio idioma carecen del instrumento básico de comunicación en el proceso de aprendizaje. Así mismo, estudiantes que ignoran casi por completo la historia de su país y el ámbito geográfico, social y cultural en que viven carecen del prerrequisito esencial para el estudio de las ciencias sociales y, lo que

¹ Algunas facultades han establecido pruebas adicionales de aptitudes para sus carreras.



es más grave, de un elemento básico en la cultura de todo universitario.

Esta prueba tiene el objetivo de evaluar conocimientos necesarios para diferentes grupos de carreras. Las fuentes principales de información para la elaboración de las preguntas son los programas oficiales del Ministerio de Educación Nacional para el bachillerato básico y los textos usuales en este nivel. Los profesores del Grupo Asesor seleccionan de este contenido los que consideren pilares de cada disciplina (conceptos, estructuras, métodos, teorías y leyes fundamentales), establecen cierto esquema orgánico y atribuyen un peso específico a cada una de las partes. Por ejemplo, en Biología se evalúan conocimientos básicos sobre morfología, fisiología, genética y ecología en los diferentes niveles de organización (celular, tisular, organismos, poblaciones y ecosistemas) y teniendo en cuenta los sistemas (esquelético o de sostén, digestivo, nervioso, circulatorio, etc.), tanto en plantas como en animales.

Este trabajo de selección y reorganización de los temas se hace indispensable sobre todo en aquellas asignaturas cuyos programas oficiales están elaborados sin un orden lógico o siquiera pedagógico, sin acentuar las grandes estructuras y los conceptos integradores de cada ciencia, con objetivos expresados a veces en forma vaga o retórica e inclusive con errores conceptuales evidentes.

En la actualidad se realizan cuatro tipos de exámenes de conocimientos:

- El examen para los aspirantes a las carreras de las facultades de Ciencias e Ingeniería incluye preguntas sobre matemática, física, química, español e historia.
- El examen para aspirantes a Derecho, Ciencias Económicas y Ciencias Humanas contiene preguntas sobre matemática, física, español y literatura, historia, geografía y

filosofía.

- El examen para aspirantes a carreras relacionadas con la biología y la medicina consta de preguntas sobre matemática, física, química, biología, historia y español.
- El examen para aspirantes a las carreras de la facultad de Artes incluye preguntas sobre física, matemática, español y literatura, historia, geografía y filosofía.

El porcentaje y carácter de las preguntas sobre cada área varía según el tipo de examen.

Es obvio que la memoria juega un papel importante en el éxito de esta prueba, pero se hacen esfuerzos para erradicar aquellas preguntas que susciten pura memoria mecánica —definiciones verbales, nombres, fechas o datos aislados— ya que la acumulación memorística de conocimientos dispersos no presenta ninguna utilidad en estudios de nivel universitario; se trata más bien de lograr que el aspirante ponga en acción una memoria inteligente que le permita aplicar leyes generales a casos particulares, ubicar hechos o datos dentro de un contexto, establecer relaciones, etc.

Procedimientos

Desde el primer paso hasta el último del proceso de admisiones en la Universidad Nacional se realizan las distintas labores tratando siempre de lograr una calidad óptima en la producción y aplicación de los exámenes. Sobre decir que en cada una de las etapas se toman las máximas medidas de seguridad.

El grupo asesor se vale de información científica y técnica sobre diversos campos (como estadística, psicología, lógica y lingüística), y es el encargado de nutrir y perfeccionar el banco de preguntas. La elaboración de las preguntas no se realiza escogiendo contenidos y formulaciones al azar; obedece a una clasificación de temas y objeti-

Los exámenes de admisión . . .



Habida cuenta del gran número de aspirantes que se inscriben en la Universidad Nacional es natural esperar que el establecimiento de criterios adecuados sobre aptitud y conocimientos tenga repercusiones favorables en la educación media, tanto a través de los textos y la metodología de la enseñanza, como de la reestructuración de los programas oficiales.

vos previamente establecidos.

La selección de las preguntas del banco para cada examen que ha de realizarse está a cargo del Comité de Admisiones, integrado, entre otros, por el director de la División de Admisiones y cinco decanos de la Universidad, y presidido por el vicerrector general.

Una vez realizado y evaluado el examen, se descartan los aspirantes cuyo puntaje es inferior a un mínimo general para toda la universidad. En algunas carreras, como Medicina, Derecho y las Ingenierías, hay más aspirantes admitibles que cupos. Se escoje en estos casos como puntaje mínimo para ingresar el que permita llenar los cupos disponibles, y éstos se amplían ligeramente, si es necesario, para dar cabida a todos los que obtuvieron resultado igual o superior a este mínimo. Pero en otras carreras puede ocurrir que haya más cupos que aspirantes con puntaje superior al mínimo. En estas situaciones, la universidad deja los cupos sin asignar.

Después de efectuada una prueba, se somete cada una de las preguntas a un análisis estadístico, con el fin de obtener conclusiones respecto a su grado de dificultad y discriminación. Esto último indica hasta qué punto una pregunta ha servido para diferenciar entre aspirantes competentes y aquéllos que no poseen las aptitudes y conocimientos necesarios. El Grupo Asesor utiliza este análisis estadístico como base para la revisión y el perfeccionamiento del banco de preguntas.

Perspectivas

Para precisar en qué medida se han mejorado los métodos de selección de aspirantes y respaldar con cifras, si es el caso, los testimonios favorables de muchos profesores que tienen a su cargo cátedras de los primeros semestres, el grupo asesor ha previsto estudios estadísticos por parte de especialistas. Entre éstos, la prueba de validez fundamental será la correlación entre los puntajes obtenidos en las pruebas

de admisión y el rendimiento académico ulterior de los estudiantes.

Habida cuenta del gran número de aspirantes que se inscriben en la Universidad Nacional, es natural esperar que el establecimiento de criterios adecuados sobre aptitud y conocimientos tenga repercusiones favorables en la educación media, tanto a través de los textos y la metodología de la enseñanza, como de la reestructuración de los programas oficiales. Por ello, el Grupo Asesor ha dedicado esfuerzos a mejorar e incrementar la información a la opinión pública a través de los formatos para la inscripción y un folleto guía para la presentación de los exámenes.

El carácter interdisciplinario del grupo asesor, la unidad y coherencia logradas a través de la discusión y el trabajo y la certeza de estar contribuyendo a la defensa y elevación del nivel académico de la Universidad han sido factores decisivos en el proceso de diseño, rectificación y mejoramiento constante de las pruebas con base en claros criterios académicos. □

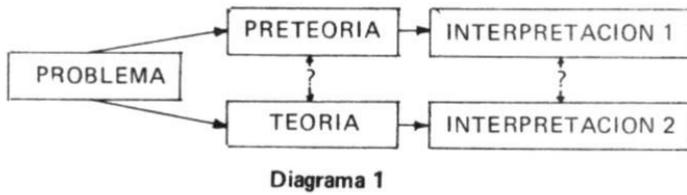


Diagrama 1

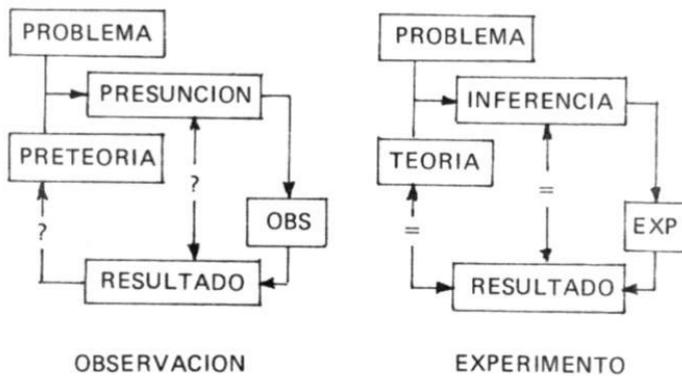
distintas (para cada alumno):

1. La interpretación procedente de la pre-teoría (del alumno).
2. La interpretación procedente de la teoría (del maestro).

En general, para el alumno — y como resultado de la clase — pueden darse las opciones siguientes:

1. Aceptación simultánea de las dos construcciones: la espontánea y la teórica.
2. Premacia de la construcción espontánea, ya sea por no construcción de la teoría o por otras razones.
3. Reemplazo de la teoría espontánea por la teoría válida.

Vale la pena recalcar en este momento, que lo que se pretende no es conciliar la preteoría con la teoría sino reemplazar la preteoría por la teoría, y esto sólo es posible si se conoce de alguna manera la preteoría: ¿Cuáles son los puntos de contacto con la teoría? ¿Cuáles son los esquemas explicativos preteóricos que pueden considerarse válidos? ¿En qué forma es posible, partiendo de tales esquemas, la construcción total?



El diagrama 2 ilustra las diferencias entre una observación y un experimento. Mientras en la observación por interacción entre el problema y la preteoría (raciocinio) surge una presunción, en el experimento, el resultado de actuar teóricamente sobre un problema conduce formalmente a la inferencia. La Contrastación empírica de las expectativas conduce en el primer caso a resultados conflictivos frente a la presunción y por consiguiente, frente a la preteoría. En el se-

gundo caso (esto es, en el experimento), lo característico es la identidad entre los resultados experimentales y la inferencia, y por consiguiente, con la teoría. En este sentido, un experimento fallido deja de ser experimento y se convierte en observación. Ahora bien, el vínculo entre los resultados experimentales y los enunciados teóricos no es directo, entre ellos se encuentra un experimento mental (en el cual se controlan con absoluta precisión todas las variables).

Diagrama 2

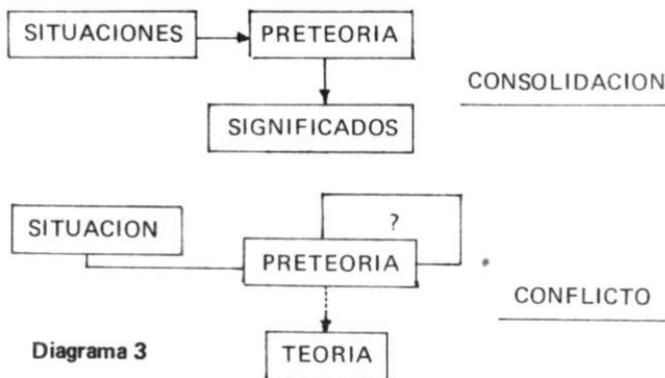


Diagrama 3

Además conviene subrayar dos puntos. Primero, es imposible una construcción teórica sin contar con vínculos con lo cotidiano, con la experiencia; en otras palabras, en todos los casos deberá existir antes de la formulación teórica, una preteoría. Segundo, aún cuando siempre existe preteoría, es posible distinguir de entre las posibles preteorías por lo menos dos tipos: aquéllas muy ligadas a lo cotidiano inmediato (situaciones de primer tipo) y aquéllas relativamente alejadas de la vida cotidiana por ser producto de tratamiento sistemático por el docente y no de observaciones desprevenidas por parte del alumno, (situaciones de segundo tipo).

La necesidad de lograr mediante la clase una interpretación diferente a la puramente espontánea de lo que acontece a nuestro alrededor, nos co-

el aprendizaje de la ciencia a nivel básico: ¿continuidad o discontinuidad?

Los esquemas explicativos del saber común en muchas oportunidades guardan una similitud estrecha con teorías ya abandonadas. Luego, si de lo que se trata es de lograr una cultura científica teniendo conciencia de la existencia del saber común, sería ilustrativo considerar cómo se ha dado tal proceso en el caso del conocimiento colectivo, esto es, en la historia de la ciencia.

Las dificultades que se presentan en el aprendizaje (y correspondientemente en la enseñanza) de la ciencia a nivel básico han sido objeto de estudio desde muchos puntos de vista. Según algunos enfoques la contribución de la historia de la ciencia a la solución de tal problema puede ser definitiva; sin embargo, no existe acuerdo sobre la manera como la historia puede contribuir a tal objetivo.

Teniendo en cuenta esta situación, el propósito de este artículo no es plantear soluciones. Se trata por el contrario, de plantear dificultades y más concretamente, de considerar una dificultad particular y al rededor de ella, discutir algunos datos que podrían conducirnos hacia la identificación de criterios y métodos para su solución en particular y para visualizar la problemática general del proceso de enseñanza-aprendizaje de una manera distinta.

A fin de identificar el asunto que aborda el presente trabajo, partiremos de los siguientes supuestos:

1. El maestro sabe lo que se propone enseñar.
2. El alumno quiere aprender (o saber) lo que el maestro le enseña-

rá, aun cuando desconoce el contenido específico de la clase.

Estos supuestos eluden gran parte del problema general de la didáctica, pero permiten centrar nuestra atención en un punto preciso del proceso.

Que el alumno desconozca la teoría que se va a enseñar en clase no quiere decir que no haya estado en contacto con los fenómenos que la teoría explica. Es más, si se trata de la física, antes de estudiar la teoría el alumno ya posee criterios descriptivos y explicativos de algunos fenómenos relacionados con ésta, pues, por su interacción con la fenomenología de la vida cotidiana, el alumno espontáneamente ha construido una física también espontánea con anterioridad a la clase. Por brevedad nos referimos a tal construcción como pre-teoría. Así pues, en la clase y para el objeto de nuestro análisis, la situación se puede esquematizar de la siguiente manera: el maestro dentro de su concepción didáctica elige y plantea a sus alumnos una colección de fenómenos o situaciones (PROBLEMA). Ante esta circunstancia, pueden aparecer dos interpretaciones diferentes (Diagrama 1) que proceden respectivamente de concepciones teóricas

loca frente a dos problemas:

1. Caracterizar a la preteoría correspondiente.
2. Decidir *el tipo de clase* que permitirá la evolución o revolución conceptual del alumno.

A este respecto es importante anotar que los esquemas explicativos preteóricos (es decir, del saber común o del conocimiento espontáneo) en muchas oportunidades guardan una similitud estrecha con teorías ya abandonadas y cuyo abandono tuvo la mayoría de las veces más características de reemplazo que de conciliación. Luego, si de lo que se trata es de lograr una cultura científica teniendo conciencia de la existencia del saber común, sería ilustrativo considerar cómo se ha dado tal proceso en el caso del conocimiento colectivo (esto es, en la historia de la ciencia).

Las situaciones que se pueden suscitar en el aula ante una presentación correcta de un problema, como se dijo antes, dependen de las características preteóricas y pueden ser de dos tipos, en una clasificación semejante a situaciones características que se han dado en el desarrollo científico: antes de la clase los fenómenos o bien eran interpretados en base a la preteoría (situación de primer tipo), o bien simplemente no se habían considerado por no formar parte de las experiencias cotidianas (situaciones de segundo tipo). Metodológicamente, las dos cuestiones plantean aspectos y consideraciones diferentes para el análisis de la clase. Ejemplo de la primera opción en la historia de la ciencia es la formulación aristotélica de las leyes del movimiento. Otro ejemplo es la interpretación moderna de la teoría de la combustión en contraposición con la teoría del flogisto. Cuando esta situación se presenta es imposible remendar la vieja teoría, se hace imprescindible reemplazarla.

A nivel didáctico se presentan las dos opciones, y las circunstancias en

que lo hacen son igualmente distintas. Como ejemplos se pueden considerar las diferencias y los resultados del aprendizaje (o de la enseñanza) de la mecánica newtoniana y del electromagnetismo clásico:

a. El electromagnetismo es más difícil de aprender por poseer mayor grado de abstracción. En otras palabras, los términos de la teoría electromagnética están más separados de la experiencia cotidiana que los términos de la teoría mecánica clásica. El vínculo o vínculos de la teoría con los observables es mucho más complejo que en la mecánica. Si se definiera el nivel de complejidad teórica de un término en una teoría por el número de relaciones que deben efectuarse dentro de la teoría hasta llegar al término que define reglas de correspondencia con la realidad, es indudable que son más complejos los términos que se utilizan en el electromagnetismo que los términos de la mecánica clásica.

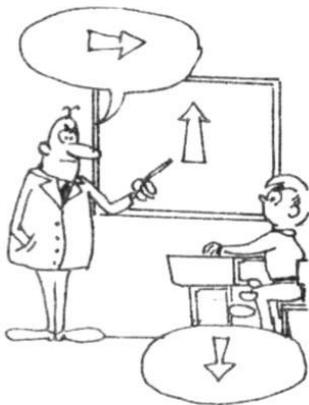
b. Tradicionalmente, menos estudiantes logran una descripción correcta de los fenómenos electromagnéticos, que el número de quienes logran la descripción correcta de los fenómenos mecánicos; en otras palabras, son menos los que aprenden electromagnetismo que los que aprenden mecánica.

c. Recíprocamente, quienes aprenden electromagnetismo, lo aprenden bien en la mayoría de los casos, mientras que los que dicen haber aprendido mecánica en realidad no la entienden. Con esto quiero sintetizar innumerables quejas de este tono:

— Los estudiantes enuncian correctamente la ley de inercia, sin embargo, no son capaces de describir fenómenos cotidianos simples en términos de ella.

— La tercera ley es comprendida y aplicada correctamente para sistemas en reposo, pero no para sistemas en movimiento.

— Los estudiantes pueden explicar por qué se hunden los cuerpos en el agua;



● Parece que la teoría se aprende en clase para efectos de la clase, pero en la vida cotidiana se continúa utilizando el saber común.

● Considerar la existencia de la preteoría plantea una problemática completamente diferente a la tradicional en la práctica del docente.

● Con anterioridad a la clase existe un error, y éste se constituye en una especie de impermeabilizante a la teoría que el maestro se propone enseñar.

sin embargo, fallan al explicar por qué flotan o por qué un globo se eleva.

El caso del electromagnetismo ejemplifica situaciones del segundo tipo. Se trata de una teoría relacionada con fenómenos que no forman parte de la experiencia cotidiana. Parece ser que la teoría puede o coexistir pacíficamente con las intuiciones inmediatas espontáneas o eliminarlas fácilmente ya que no poseen peso en la concepción espontánea que el alumno ha construido para convivir con el mundo que le rodea.

No sucede lo mismo con la mecánica (ejemplo de situaciones del primer tipo). En este caso, (a) la teoría presenta descripciones y explicaciones de acontecimientos que ya eran explicados por la preteoría, no en la interpretación de los fenómenos planteados en el aula sino en la interpretación de fenómenos cotidianos y (c) tal reemplazo no se da en la práctica. Parece ser que la teoría se aprende en clase para efectos de la clase, pero en la vida cotidiana se continúa utilizando la preteoría. Es decir, se da el caso de una aceptación simultánea (condicionada inconscientemente por el alumno) de las dos construcciones. Este resultado puede ser consecuencia del intento del maestro de imponer la interpretación proveniente de la teoría sin tener en cuenta la preteoría, intento que choca con el obstáculo siguiente: en la explicación se utilizarán significados precisos de la teoría, de una teoría que el alumno no ha formalizado aún y consecuentemente, el puente entre el lenguaje común (como expresión del saber común) y la teoría está enteramente en manos del alumno. Tendremos entonces un "saber teórico" interpretado por el saber común, en vez quizás de un saber común, interpretado por la teoría.

Cabe anotar además, que la pseudo-comprensión planteada para la mecánica, se propaga fácilmente a otras teorías en la medida en que fenómenos y situaciones mecánicas se utilizan como *análogos* para la compren-

sión de fenómenos del dominio de otras teorías. Esto puede implicar a su vez, que una buena comprensión de la mecánica, también se propagaría hacia otras teorías arrastrando con ella coherencia, comprensión y exactitud teóricas.

Centraremos ahora la atención en aquellas situaciones en las cuales ya existe con anterioridad a la teoría una preteoría explicativa de los fenómenos que la primera explica; por ejemplo, la mecánica, la teoría del calor, la estructura de la materia y los cambios de estado en la física; y en biología, la diversidad de especies sobre la tierra y ciertos mecanismos hereditarios. En otras palabras, trataremos aquel caso en el cual la preteoría es una barrera que se interpone entre la teoría y el razonamiento del alumno. Si consideramos además que el error antes de la clase se encuentra ya posiblemente consolidado y consolidando toda una concepción del mundo, el considerar la existencia de la preteoría plantea una problemática completamente diferente a la tradicional en la práctica del docente.

Sintetizando, el problema ante el cual nos encontramos es que con anterioridad a la clase existe un error y que éste se constituye en una especie de impermeabilizante a la teoría que el maestro se propone enseñar.

En términos semejantes a como se caracteriza a la inferencia en la ciencia, podríamos caracterizar el objetivo de la clase así: "No se trata de que el alumno logre familiarización con nuevos fenómenos, sino que interprete los fenómenos familiares de una manera diferente". Pero, si deseamos una interpretación diferente de los fenómenos, es imprescindible conocer cómo es la interpretación que resulta de la preteoría y responder a interrogantes como:

¿En qué medida la interpretación basada en la preteoría es explicativa?

- ¿Qué explica?
- ¿Qué no explica?
- ¿Qué similitud existe entre tal interpretación y teorías científicas que existieron en otro tiempo?
- ¿Qué distancia existe entre tal interpretación espontánea y la teoría-objeto de la clase?

Y por otra parte:

- ¿Será posible en una clase o en un curso pasar del error a la teoría?

Finalmente, y para efectos didácticos, la solución a los interrogantes anteriores nos orientará hacia la solución de la pregunta: ¿Cómo se logra el puente didáctico entre la preteoría y la teoría?

El conflicto

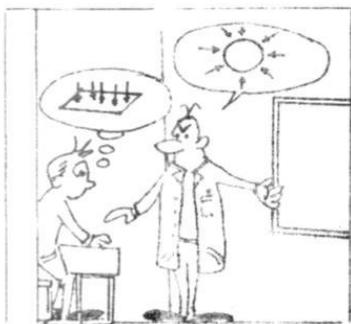
Una alternativa que surge a partir de la discusión anterior es la necesidad de confrontar, en base a situaciones problema perfectamente definidas, el saber espontáneo con los fenómenos que éste pretende explicar. A esta confrontación —por las cualidades que posee— la denominaremos en lo que sigue, CONFLICTO. La situación que se propone es en realidad un conflicto para la preteoría; se trata de un intento de colocar en dificultades la teoría espontánea anterior a la clase, y también, de proponer indirectamente a través de su solución, opciones de interpretación más cercanas a la teoría.

Algunos metodólogos plantean el uso y el valor del conflicto como elemento motivador, fundamentalmente en el sentido de "sorprender" al sentido común. El valor del conflicto es aún mayor cuando se tiene en cuenta su aspecto epistemológico —siempre y cuando esté concebido con las características planteadas aquí—. Además de la motivación, se pretende que como resultado del conflicto, nos aproximemos a la teoría, aunque no lo logre-

mos completamente, pues es posible que exista una etapa —o varias— entre la preteoría y la teoría, es decir, que entre las dos exista una preteoría—evolucionada.

En general el conflicto es provocado por un problema o situación propuesta cuya interpretación se efectúa con base en la preteoría y se da cuando la interpretación se contrasta "observacionalmente". Propongo que a estas actividades (que suscitan el conflicto) se les de el nombre de "observaciones" para distinguirlas de actividades prácticas inspiradas en la teoría. En otras palabras, mientras en un *experimento* genuino se conoce de antemano el vínculo del resultado con la teoría y también sus posibles errores y dificultades, el resultado de una observación —en el sentido en que la tomamos— está orientado contra la preteoría y el vínculo entre el resultado y la preteoría—evolucionada o entre tal resultado y la teoría es un experimento mental. Así pues, las observaciones apuntan contra el elemento racional que las genera (conflicto), esto es, contra la preteoría, mientras que el experimento (en particular el experimento mental) apunta hacia la teoría, o hacia la preteoría evolucionada.

Tal vez de una manera esquemática, pero también en cierta medida por claridad, podríamos imaginarnos la situación que estamos planteando de la siguiente manera: la preteoría (espontánea e inconsciente) es el patrón mediante el cual el individuo procesa las informaciones provenientes de su medio (incluidas las experiencias escolares). En la medida en que estas informaciones son interpretadas satisfactoriamente, sin constituirse en problemas para la preteoría, ésta se afianza. Ahora bien, cuando no es posible la interpretación de la información en base a la preteoría, o tal interpretación no se logra satisfactoriamente; es más, cuando tal intento se convierte en un elemento antagónico para la preteoría, se presenta el conflicto (Ver Diagrama 3) Este conflicto debe ser aprovechado mediante una planeación ade-



● **Es indispensable preparar situaciones que susciten al diálogo, esto es, a la formulación de presunciones y expectativas ante situaciones problema. Muchas veces la sola exteriorización de tales asunciones deja ver la no fundamentación de la posición adoptada.**

cuada de la situación, no solamente para desequilibrar la preteoría, sino para sentar las bases que permitan al estudiante avanzar hacia otro nivel preteórico (y en casos especiales hacia la teoría, en la medida en que se elaboran referentes para la futura construcción de las reglas de correspondencia).

En términos de los mecanismos mentales propuestos por J. Piaget, diríamos que, mientras todas las vivencias cotidianas (no analizadas) tienden a reforzar la concepción teórica espontánea, en un proceso análogo a la asimilación, solamente situaciones planeadas cuidadosamente para provocar conflictos a tal concepción espontánea, pueden orientar al individuo hasta concepciones nuevas en un proceso similar a la acomodación.

Lo anterior implica la necesidad de conocer las características de la preteoría, y para ello se deben tener presentes dos cuestiones de importancia. Primera, es posible que el pensamiento espontáneo del adolescente proceda como en el niño, mediante yuxtaposición, de manera que en gran medida sus juicios no se interrelacionen. Se explicaría así como aparecen explicaciones totalmente diferentes para fenómenos que son (teóricamente) idénticos como el ascenso de un globo y la flotación en el agua. Segundo, la preteoría es inconsciente. Las explicaciones no se verbalizan espontáneamente. Es necesario el interrogatorio desprevenido para lograr quizás algunos elementos de ella.

Es por consiguiente indispensable preparar situaciones que susciten el diálogo y la verbalización consciente, esto es, la formulación de presunciones y expectativas ante situaciones problema. Muchas veces la sola exteriorización de tales asunciones deja ver la no fundamentación de la posición adoptada. Por lo mismo, es también importante la discusión entre "iguales" (con-discipulos) frente a situaciones problema; de ellas surge con mayor frecuencia la conciencia respecto de la debilidad de las argumentaciones.

A manera de síntesis

La meta de este artículo es plantear la necesidad de confrontar observacionalmente las concepciones teóricas espontáneas; esto es, de provocar conflictos a esa preteoría espontánea que surge con solo estar en contacto con el mundo que nos rodea. Con este propósito surgen las siguientes consideraciones.

- a. Una construcción teórica que no tenga en cuenta la existencia paralela de la preteoría, corre el riesgo de lograrse por yuxtaposición y por consiguiente, sin la estructuración que permita generalización y explicación de fenómenos cotidianos (no controlados en el laboratorio).
- b. La preteoría es inconsciente. En tal sentido, debe buscarse su exteriorización en base a la predicción y explicación de situaciones y fenómenos planeados cuidadosamente por el maestro para tal fin.
- c. La confrontación de tales predicciones, expectativas y explicaciones con la observación de fenómenos debe estar orientada hacia situaciones conflictivas que apunten contra la preteoría y hacia la teoría directa o indirectamente.
- d. En la construcción teórica son inevitables los experimentos mentales. Estos experimentos de todas maneras deben estar precedidos de algunos conceptos-puente que permitan dar significado tanto a las variables y a la manera como se controlan, como al resultado del experimento y a sus límites de validez.

No basta pues lograr una consistencia lógica de la situación didáctica, esto es, que la estructura de los contenidos corresponda por su complejidad lógica al nivel del desarrollo cognoscitivo del alumno. Si el sentido que los diferentes términos y relaciones adquieren en clase al ser construí-

● Si el sentido que los diferentes términos y relaciones adquieren en clase al ser construidos no, corresponde a la concepción teórica, la construcción teórica no es posible.

dos no corresponde a la concepción teórica, la construcción teórica no es posible. Para lograr tal correspondencia, es necesario comenzar a nivel teórico construyendo referentes que verdaderamente estén cerca del alumno, y a nivel conceptual, demostrando la fragilidad de las concepciones preteóricas espontáneas. □

Consideraciones acerca de las dificultades que para el aprendizaje generan las interpretaciones espontáneas de los alumnos antes de la clase las menciona G. Bachelard (P. ej. en *La formación del espíritu científico*, Siglo XXI Editores, 1973, pág. 21), en las diferentes experiencias clínicas de J. Piaget (P. ej., *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Ed. Paidós, 1972, o en *The Physical World of the Child*, Physics Today, Junio 1972.

Un tratamiento extenso sobre el experimento, la observación y el experimento mental lo realiza B. S. Dinin en "Las relaciones mutuas entre observación, teoría y experimento en física", publicado en *Hombre, creación y ciencia*, Ed. Suramérica, 1976.

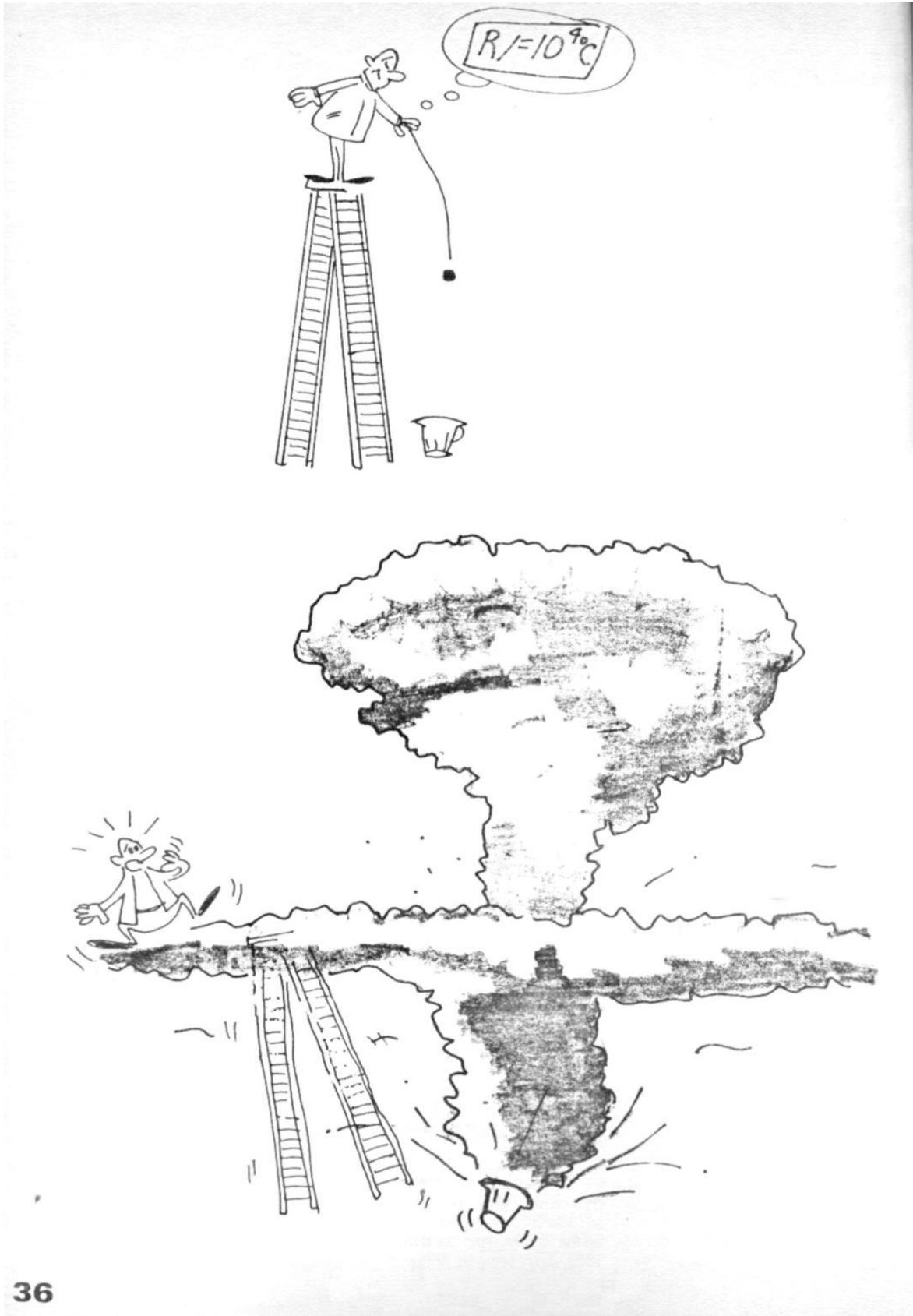
El desarrollo cognoscitivo y los factores de desarrollo desde el punto de vista de J. Piaget son expuestos entre otros en *De la lógica del niño a la lógica del adolescente* (citado anteriormente) y en *Development and learning* (Desarrollo y aprendizaje), artículo publicado por el Journal of Research in Science Teaching, Vol. 2, pp 176, 186; 1964), en el cual el mismo Piaget resume algunos aspectos fundamentales de su teoría (una traducción de este artículo aparecerá en el próximo número de esta revista). □

BIBLIOGRAFIA

El que dos personas VEAN cosas diferentes ante el mismo objeto, dependiendo de sus conocimientos, experiencias o expectativas, es analizado entre otros por N. Hanson Russell en *Patrones de descubrimiento. Observación y explicación*, Alianza Universidad, 177, 1976 y por S. Toulmin en "The philosophy of Science - An Introduction" (Harper & Row Publ., N.Y., 1960), especialmente en el capítulo II sobre el descubrimiento en la ciencia.

Alusiones directas al papel de la historia de la ciencia en el proceso de enseñanza - aprendizaje, en el sentido en que se anota aquí, aparecen en *Can we learn from history?*, de J. Agassi (Problemes generals d'histoire des sciences-epistemologie. *Congres internationale d'histoire des sciences*, Paris 1968, Actes tome II, 1970).





germán arenas

los métodos numéricos en la solución de problemas elementales de física

Esta es una adaptación de un artículo del profesor Germán Arenas publicado en 1975 en la Revista Colombiana de Física, en el cual explora la posibilidad de emplear el cálculo numérico en la solución de problemas de física elemental. Sería magnífico que los lectores interesados enviaran a la revista otros problemas y sus soluciones con métodos alternativos a los tradicionales.

Este artículo presenta un problema típico de los propuestos en física elemental, pero resuelto por métodos numéricos. Los métodos numéricos aparentemente son engorrosos, demorados, requieren concentración—es aconsejable leer este artículo con un lápiz en una mano y la frente en la otra. Pero ese cuidado se requiere precisamente porque estamos siempre pendientes de un resultado, comprobando continuamente las predicciones. Y todos los pasos de una ecuación a otra son casi inmediatos.

El método de plantear una ecuación para resolver un problema y después zambullirse en una vorágine de operaciones matemáticas desvía la atención del estudiante hacia aspectos puramente operativos de tal manera que el problema físico queda relegado a un segundo plano, o se pierde completamente de vista. La predicción, la sospecha del significado de una aproximación adoptada para resolver un problema, y la comprobación de lo que creemos, hacen parte de la aventura científica.

Germán Arenas
Departamento de Física
Universidad Nacional
Bogotá

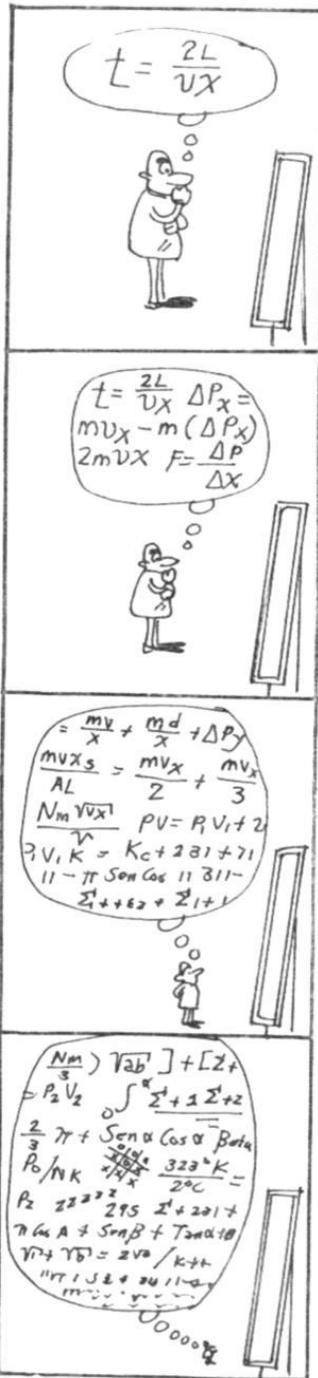


Un problema cualquiera en un curso de física general cualquiera: "Una piedra cae desde una altura de 30 metros a un balde que contiene 3.5 kg de agua. Suponiendo condiciones ideales, ¿cuánto se calienta el agua?" Al final del procedimiento el estudiante colocó en el consabido cajoncito:

$$R = 10^4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Un error cualquiera cometió por el camino, pero lo sorprendente es que no le inquietó obtener como conclusión de un hecho tan común una temperatura cercana a la de la superficie del sol. De plano se ve que al estudiante le interesaba tan sólo encontrar la respuesta a un problema de un libro de texto. En ninguna parte está la naturaleza en su concepción sobre la física.

En un problema posterior "obligué" a los estudiantes a predecir el re-



sultado antes de hacer los numeritos, o sea, en sus palabras, de "aplicar las fórmulas". Se trataba de comprar los efectos de un choque en función del espacio frenado. Todos coincidieron en que las fuerzas son mayores cuando el espacio de frenado es menor, pero al aplicar las fórmulas, por un "error cualquiera de esos", más de uno obtuvo una respuesta numérica que contradecía la predicción. Y entonces noté otro hecho en común: ninguno se preocupó por comparar su predicción con el resultado, para analizar la discrepancia!

Entiendo que esta dificultad en la enseñanza de las ciencias debe resolverse desde la base misma de la concepción pedagógica, y consecuentemente modificar los detalles de la exposición de los temas. Aquí presento tan sólo un detalle: en ocasiones, el tratamiento numérico de un ejercicio permite mantener la atención sobre la naturaleza, y además hace interesante la solución del problema.

He aquí un problema típico: "Se deja caer una piedra en un pozo profundo. El ruido que produce ésta al caer se escucha 3 segundos después. ¿Cuál es la profundidad del pozo? Tome como valor de g 9.8 m/s^2 y de la velocidad del sonido c 340 m/s ".

La solución "analítica" sería como sigue: sea t el tiempo que tarda la piedra en caer y t' lo que demora el sonido en recorrer la profundidad h del pozo. Por lo tanto, $t + t' = 3\text{s}$, luego $t = 3 - t'$. La profundidad h está dada por

$$h = (1/2) g t^2$$

o sea,

$$h = \frac{1}{2} g (3 - t')^2$$

Si multiplicamos y dividimos el miembro de la derecha de esta ecuación por c^2 la ecuación queda

$$h = \frac{1}{2} g (c^2/c^2) (3 - t')^2$$

que también se puede escribir

$$h = \frac{1}{2} g (c^2/c^2) (3c - ct')^2$$

Como la velocidad del sonido c en nuestro caso es constante, en un tiempo t' el sonido recorrerá la distancia $h = ct'$. Reemplazando en la última ecuación obtenemos

$$h = \frac{1}{2} (g/c^2) (3c - h)^2$$

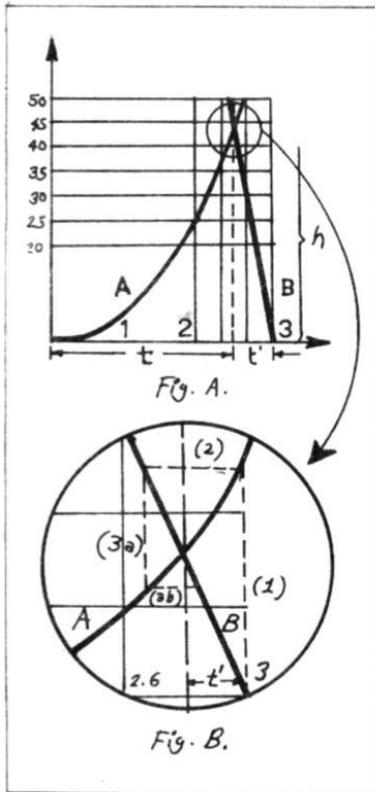
Elevando al cuadrado y agrupando términos descubrimos que ésta es una ecuación de segundo grado en h cuya solución sería

$$h = (c^2/g) \left[\left(\frac{3c}{c} + 1 \right) \pm \sqrt{\left(\frac{3c}{c} + 1 \right)^2 - 9g^2/c^2} \right]$$

El resto será encontrar el signo adecuado y realizar el cálculo.

Después de todo el manipuleo algebraico, el estudiante ya se ha olvidado del pozo y de la piedra. Obligado a llegar a la "fórmula", se le ha perdido la realidad. Tomará cualquier respuesta numérica como válida, aunque sea absurda, pues la obtuvo de la "fórmula". En este caso, por ejemplo, la elección del signo positivo para el radical da para h diez mil metros, resultado a todas luces absurdo; cualquier error o redondeo puede llevar a variaciones muy grandes en el resultado. Por ejemplo, es muy fácil llegar a que t es mayor que 3 segundos.

Casi ningún estudiante regresa a la realidad a comprobar si el resultado obtenido es "lógico", como en los casos que narré al comienzo. Esta pérdida de la realidad es grave, pues termina afianzando la idea de que la física es un conjunto de fórmulas ajenas a la comprobación experimental, así esta comprobación se haga como ejercicio mental. La gran cantidad de "trabajo de carpintería" puede hacer creer al estudiante que la física es igual al álgebra o a la aritmética o sencillamente que es aburrida. ¡Qué más aburrido que efectuar las operaciones indicadas bajo el radical de la última ecuación! Sin embargo, este problema es uno de los casos en que el cálculo numérico permite estar sobre los resultados esperados desde el principio hasta el fin. Veamos.



Con la curva A hallamos la posición de la piedra para cada tiempo —se ha considerado positivo el sentido hacia abajo. La línea recta B representa la posición del pulso sonoro. Sabemos que en $t = 3$ el pulso sonoro llega a la boca del pozo, por eso B pasa por allí. Y la pendiente B debe ser -340 m/s. Entonces, la parábola entre $t = 0$ y $t = 3$ representa la caída de la piedra y la recta entre $t = 0$ y $t = 3$, el movimiento del pulso sonoro. El problema es hallar las coordenadas (h, t) del punto de corte. En el paso (1) (Fig. b) localizamos la posición de una piedra que hipotéticamente cayó durante tres segundos. La longitud de la línea horizontal (2) (en segundos, las unidades del eje horizontal), es el tiempo que tardaría el sonido en recorrer la distancia (1). Aquí en la gráfica es claro que este tiempo es mayor que t' , y la distancia horizontal al eje de las posiciones es menor que t' , como se dijo en el texto en el paso ii). Análisis semejante se hace con las rectas (3a) y (3b), y notamos que cada vez nos acercamos más al punto de corte de A y B.

Mantendremos la notación para h , t y t' , recordando que t y t' cumplen la condición de que $t + t' = 3$. El procedimiento que vamos a emplear es el siguiente: primero acotamos por encima a h , es decir, nos aseguramos que h debe ser menor que cierto valor (ojalá cercano al valor verdadero), a partir del cual encontramos una cota inferior, esto es, h debe ser mayor que esta cota. Con ella buscamos otra cota superior, y si resulta ser menor que la primera, podemos repetir el procedimiento y "encerrar" h entre dos valores extremos, cada vez más cercanos entre sí.

- i) La profundidad del pozo debe ser menor que la distancia que recorrería la piedra en 3 segundos:

$$h < (1/2) (9.8) (3)^2$$

$$h < 44.10\text{m}$$

- ii) Para encontrar una cota inferior razonamos así: si la altura del pozo fuera 44.10 m, el sonido tardaría en llegar a la boca $44.1/340 \cong 0.13$ segundos. Este tiempo es mayor que t' , porque la distancia que recorrería es mayor que h . Como $t = 3 - t'$,

$$3 - 0.13 < t$$

$$t > 2.87\text{s}$$

En consecuencia, la distancia que cae la piedra en 2.87s debe ser menor que h :

$$h > (1/2) (9.8) (2.87)^2\text{m}$$

$$h > 40.36\text{m}$$

Luego, ya sabemos que h debe estar comprendida entre 40.36 y 44.10 metros.

- iii) Ahora buscamos otra cota superior. Si el pozo tuviera 40.36 metros, el sonido tardaría $40.36/340 \cong 0.119$ segundos en recorrerlo.

Este valor es menor que t' , porque $h > 40.36$. Como $t = 3 - t'$,

$$3 - 0.119 > t$$

$$t < 2.881\text{s}$$

La distancia que caería la piedra en 2.881s es mayor que h . Luego,

$$h < (1/2) (9.8) (2.881)^2\text{m}$$

$$h < 40.68\text{m}$$

Con esta cota superior se pueden repetir los pasos ii) y iii) y hacerlo cuantas veces queramos, obteniendo muchas cifras decimales. Pero la convergencia es sumamente rápida: el intervalo de profundidades se ha reducido a

$$40.36 < h < 40.68$$

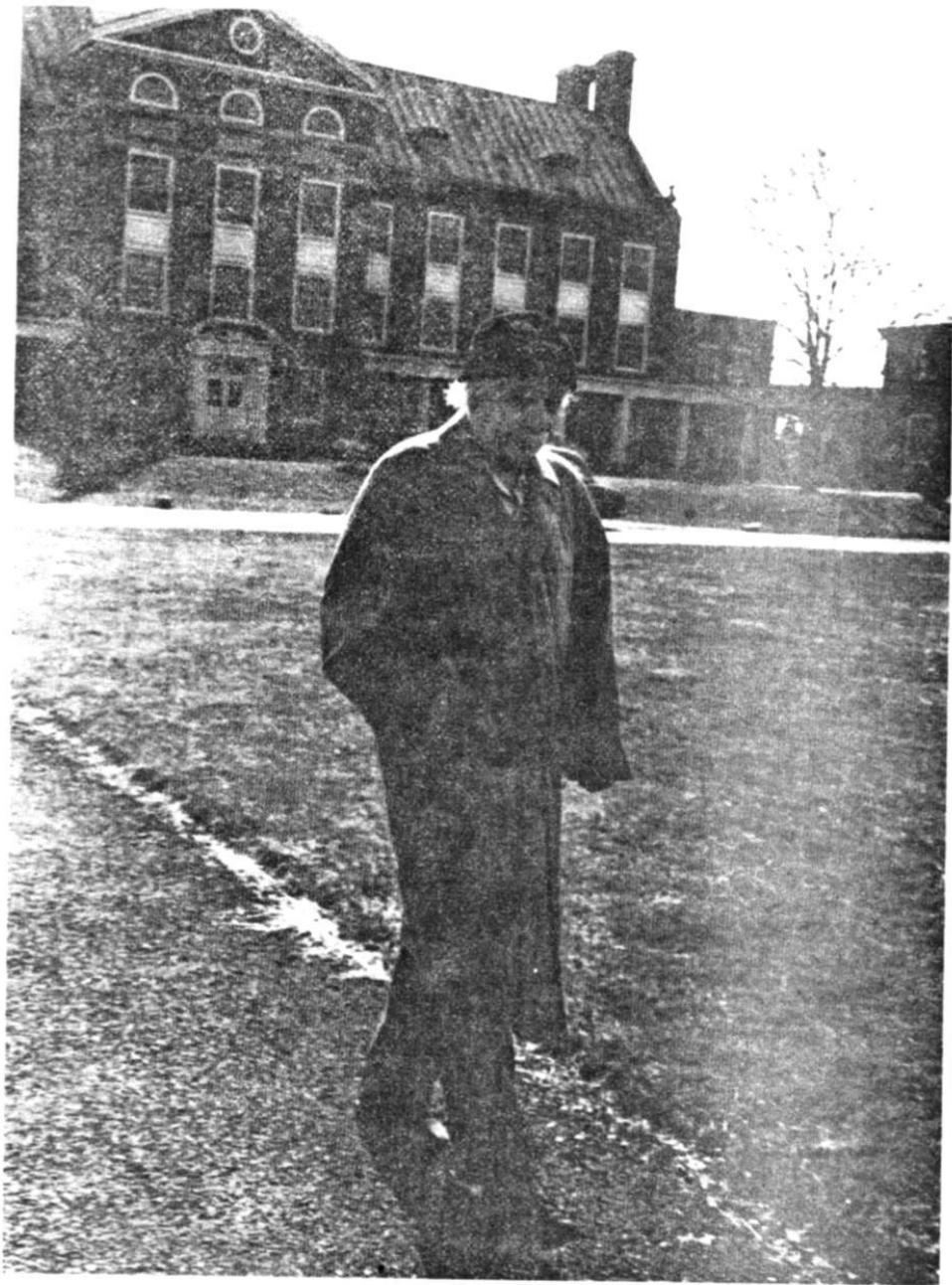
y el de tiempo a

$$2.87 < t < 2.881$$

¡En ningún momento se ha perdido de vista el problema real!

Este proceso de aproximación puede ilustrarse en una gráfica, como muestra la figura.

Para concluir: creo que el empleo de métodos aproximados no oculta la física de los problemas. Además de obligar a estar permanentemente sobre la realidad en la solución de los problemas, puede servir para dar piso, a través de problemas en algún grado prácticos, a conceptos de límite, algoritmo, función, etc., que muchas veces quedan en el "reino puro" de la matemática. La cuestión es: ¿sería conveniente, o no, utilizarlos en la enseñanza media? Y, claro está, ¿cómo se elegirían los problemas de ilustración y de ejercicio? □



albert einstein

notas para una autobiografía



El material que se presenta a continuación es una selección de apartes importantes de las "Notas autobiográficas" de A. Einstein publicadas por primera vez en doble versión alemana e inglesa en "Albert Einstein: Philosopher—Scientist" (Paul Arthur Shilpp, editor. Harper Torchbooks, 1949). Este riquísimo documento, que juzgamos de importancia central para la comprensión del desarrollo intelectual del autor así como sus puntos de vista sobre numerosos problemas relacionados con las ciencias, la educación y la epistemología, es casi desconocido en nuestro medio. Al parecer no existe una versión completa¹ de las "Notas autobiográficas" en español. La traducción, a partir de la versión inglesa, ha sido realizada especialmente para este número por el Comité Editorial de la revista.

A la edad de 67 años me he sentado a escribir lo que puede ser mi propio obituario. . .

Aún siendo un joven bastante precoz, surgió en mi conciencia con toda claridad la insignificancia de las esperanzas y ambiciones que la mayoría de los hombres persiguen sin descanso durante toda su vida. Y pronto comprendí la crueldad de esa persecución, la cual, mediante hipocresía y palabras deslumbrantes, estaba mucho mejor oculta en aquel entonces que ahora. Sin embargo todo el mundo estaba condenado a participar del reto debido a la existencia de su propio estómago. Pero si el estómago quedaba satisfecho con esa participación, el hombre, como ser pensante y sensible, no podía lograrlo. Como vía de escape estaba en primer lugar la religión, implantada en cada niño mediante la maquinaria tradicional de la educación. Así, a pesar de ser hijo de padres completamente irreligiosos (judíos), adquirí

una religiosidad profunda, que acabó abruptamente a la edad de 12 años. A través de la lectura de libros de divulgación científica pronto llegué a la convicción de que muchas de las historias de la biblia no podían ser ciertas. La consecuencia fue una orgía fanática de libre-pensamiento, aunada a la impresión —una impresión demoledora— de que la juventud estaba siendo defraudada intencionalmente por las mentiras del Estado. Como resultado de esta experiencia, nació la desconfianza contra todo tipo de autoridad, una actitud escéptica hacia las convicciones imperantes en cualesquiera de los ambientes sociales específicos, actitud que nunca me ha abandonado, aunque después se tornó menos aguda, al comprender un poco más las relaciones causales.

Para mí es completamente claro que la pérdida del paraíso religioso de las épocas de la juventud fue un primer intento para liberarme de las cadenas

¹ En 1950 la Revista de América publicó una versión incompleta, pero con muchos errores (Revista de América, Vol. XX, No. 60, 1950). Encontramos una buena traducción de algunos fragmentos en una magnífica recopilación publicada en español por Alianza Universidad, bajo el título "La teoría de la relatividad" (AU 62, Albert Einstein y otros).

"Todo nuestro pensamiento es de la misma naturaleza que un juego libre con los conceptos, cuya validez reside en la capacidad para aprehender la experiencia de los sentidos que podemos alcanzar con su ayuda".

"Veo en un lado la totalidad de las experiencias sensoriales y en el otro, la totalidad de conceptos y proposiciones que se encuentran en los libros. Las relaciones de los conceptos y proposiciones . . . son de naturaleza lógica. . . Los conceptos y proposiciones sólo adquieren "significado", esto es, "contenido", a través de su conexión con experiencias sensoriales. La relación de éstas con las primeras es puramente intuitiva y no de naturaleza lógica".

". . . resulta maravilloso que el hombre sea capaz de llegar a cierto grado de certidumbre y lucidez en materia de pensamiento puro, posibilidad demostrada por primera vez por los griegos en geometría".

42

de lo "puramente personal", de una existencia dominada por deseos, esperanzas y sentimientos primitivos. Más allá de eso estaba este gran mundo, que existe independientemente de nosotros, seres humanos y que está ante nosotros como un enigma grande y eterno, pero al menos parcialmente accesible a nuestra inspección y pensamiento. La contemplación de este mundo me atraía como una liberación. Pronto me di cuenta que muchos hombres a quienes había aprendido a estimar y admirar habían encontrado su seguridad y libertad internas al ocuparse de él con dedicación. La atracción que ejercía este mundo extrapersonal, dentro del marco de las posibilidades dadas, aparecía en una forma semi-inconsciente como el más alto ideal posible. Hombres guiados por la misma motivación, del presente y del pasado, así como la claridad que habían alcanzado, eran los amigos que no podían perderse. El camino hacia este paraíso no era tan confortable ni atrayente como el sendero hacia el paraíso religioso; sin embargo, demostró ser digno de toda confianza y nunca me he arrepentido de haberlo escogido. (. . .)

¿Qué significa con precisión "pensar"? La emergencia de imágenes en la memoria debido a la recepción de impresiones sensoriales no es todavía "pensar". La formación de series de estas imágenes, de tal manera que una de ellas evoque a otra, tampoco es pensar. Sin embargo, la repetición de cierta imagen en muchas de estas series puede convertirse en un elemento ordenador de las mismas, al relacionar series que en sí mismas son inconexas. Ese elemento se convierte en un instrumento, en un concepto. Pienso que la transición entre la asociación libre de ideas o "sueño" y el pensamiento está caracterizada por el papel más o menos dominante que juega allí el "concepto".

No es necesario que el concepto esté relacionado con un signo cognoscitivo sensorial y reproducible (palabra), pero cuando así ocurre, el pensamiento se hace comunicable.

El lector se preguntará con qué

derecho este autor trabaja las ideas en forma tan descuidada y primitiva y en un campo tan problemático, sin siquiera hacer el esfuerzo de demostrar algo. Mi justificación es la siguiente: todo nuestro pensamiento es de la misma naturaleza que un juego libre con los conceptos, cuya validez reside en la capacidad para aprehender la experiencia de los sentidos que podemos alcanzar con su ayuda. El concepto de "verdad" no puede aplicarse aún a este tipo de estructura; a mi modo de ver, este concepto sólo puede aparecer cuando se tiene un acuerdo profundo (convención) con respecto a los elementos y reglas de juego.

Para mí es indudable que nuestro pensamiento se desarrolla la mayor parte de las veces sin el uso de signos (palabras) y más aún, en un alto grado de manera inconsciente. Porque, de otra forma, ¿cómo explicar que algunas veces nos "asombramos" espontáneamente ante alguna experiencia? Este "asombro" parece ocurrir cuando una experiencia entra en conflicto con el mundo conceptual que hemos establecido. Si este conflicto se experimenta fuerte e intensamente, se produce una reacción decisiva en nuestro universo mental. El desarrollo de este universo mental es en cierto sentido una fuga continua de esa sensación de "asombro".

Yo experimenté un asombro de esta naturaleza cuando era un niño de 4 ó 5 años y mi padre me mostró una brújula. Que la aguja se comportara en esa forma determinada no se ajustaba en absoluto a la naturaleza de los hechos que podían encontrar un lugar en el mundo inconsciente de los conceptos (según el cual el movimiento está conectado con el "toque directo"). Aún puedo recordar —al menos creo poder hacerlo— que esta experiencia creó en mí una impresión honda y perdurable. Algo profundamente escondido debía estar detrás de las cosas. Lo que el hombre ve ante sí en la infancia generalmente no suscita reacciones de esta clase: no se asombra por la caída de los cuerpos, ni por lo concerniente

al viento y la lluvia, ni sobre la luna o el hecho de que no caiga, ni por las diferencias entre materia viva e inerte.

A la edad de 12 años experimenté un segundo asombro de naturaleza totalmente distinta en un librito sobre geometría euclidiana plana que llegó a mis manos al principio del año escolar. En él se hacían aseveraciones, por ejemplo respecto a la intersección de las tres alturas de un triángulo en un punto, las cuales, aunque no eran evidentes, podían sin embargo demostrarse con tal grado de certeza que cualquier duda quedaba fuera de lugar. Esta lucidez y certeza produjeron en mí una impresión indescriptible. Que un axioma tuviese que ser aceptado sin demostración, no me molestaba; de todas maneras era más que suficiente para mí basar las demostraciones en proposiciones cuya validez no me pareciera dudosa. Recuerdo, por ejemplo, que un tío mío me habló del teorema de Pitágoras antes que el sagrado texto de geometría cayera en mis manos. Después de mucho esfuerzo logré "demostrar" ese teorema sobre la base de la semejanza de los triángulos; al hacerlo me pareció "evidente" que la relación entre los lados de los triángulos rectángulos tendría que estar completamente determinada por uno de los ángulos agudos. Sólo aquello que no me pareciera similarmente "evidente" necesitaba alguna prueba. Además, los objetos con los cuales trabajaba la geometría no me parecían diferentes de los objetos de la percepción sensorial, de lo que "se puede ver y palpar". Esta idea primitiva, que probablemente se encuentra también en el fondo de la conocida cuestión kantiana sobre la posibilidad de los "juicios sintéticos a priori", descansa obviamente en el hecho de que la relación de los conceptos geométricos con los objetos de la experiencia directa (barras rígidas, intervalos finitos, etc.) se hallaba inconscientemente presente.

Si, en tal forma, surgía la posibilidad de adquirir cierta noción de los objetos de la experiencia por medio del puro pensar, ese "asombro" descansaba sobre un error. Sin embargo, para

cualquiera que lo experimente por vez primera, resulta maravilloso que el hombre, después de todo, sea capaz de llegar a cierto grado de certidumbre y lucidez en materia de pensamiento puro, posibilidad demostrada por primera vez por los griegos en la geometría.

Ya que me he dejado llevar lo suficiente para interrumpir mi obituario, no dudaré en mencionar en unas pocas frases mi credo epistemológico, aunque ya he dicho algo sobre él. Este credo se desarrolló mucho después y en forma muy lenta. Además, no corresponde con el punto de vista que yo sostenía en mis años juveniles.

Veo en un lado la totalidad de las experiencias sensoriales y en el otro, la totalidad de conceptos y proposiciones que se encuentran en los libros. Las revelaciones de los conceptos y proposiciones entre sí mismos y entre ambos son de naturaleza lógica y el trabajo del pensamiento lógico se limita estrictamente a encontrar la conexión entre los conceptos y proposiciones, de acuerdo a reglas firmemente establecidas y que son objeto de la lógica. Los conceptos y proposiciones sólo adquieren "significado", esto es, "contenido", a través de su conexión con experiencias sensoriales. La relación de éstas con las primeras es puramente intuitiva y no de naturaleza lógica. Solamente el grado de certeza con el cual puede llevarse a cabo esta conexión, es decir, esta combinación intuitiva, diferencia la fantasía vacua de la "verdad" científica. El sistema de conceptos es una creación humana, lo mismo que las reglas de sintaxis que conforman la estructura de los sistemas conceptuales. Aunque estos sistemas son desde un punto de vista lógico enteramente arbitrarios, están sometidos a la exigencia de permitir la coordinación más certera (intuitiva) posible y más completa con la totalidad de las experiencias sensoriales; en segundo lugar, buscan la mayor parquedad posible de sus elementos lógicamente independientes (conceptos básicos y axiomas) es decir, conceptos no definidos y proposiciones sin derivar (postulados).

Una proposición es correcta si, dentro de un sistema lógico, se ha deducido de acuerdo a las reglas de lógica aceptadas. Un sistema tiene un contenido de verdad según la certeza y la amplitud de sus posibilidades de coordinación con la totalidad de la experiencia. Una proposición correcta toma su "veracidad" del contenido de verdad del sistema al cual pertenece.

Hagamos una observación sobre el desarrollo histórico. Hume vió claramente que ciertos conceptos, por ejemplo el de causalidad, no podían deducirse del material de la experiencia por métodos lógicos. Kant, totalmente convencido de que ciertos conceptos son indispensables, los tomó —tal como fueron seleccionados— como las premisas necesarias de toda clase de pensamiento y los diferenció de conceptos de origen empírico. Estoy convencido sin embargo que tal diferenciación es errónea, es decir, que no da cuenta del problema en una forma natural. Todos los conceptos, aún aquellos más cercanos a la experiencia, son convenciones libremente escogidas desde el punto de vista de la lógica. Tal es el caso también del concepto de causalidad con respecto al cual se planteó en una primera instancia toda esta problemática.

Ahora, volvamos a mi obituario. De los 12 a los 16 años me familiaricé con los elementos de la matemática y con los principios del cálculo diferencial e integral. Al hacerlo, tuve la buena fortuna de dar con libros que no eran demasiado insistentes en su rigor lógico, pero que lo compensaban permitiendo que las ideas principales sobresalieran de manera clara y sinóptica. En conjunto, aquello era realmente fascinante; ofrecía momentos culminantes cuya impresión podría compararse fácilmente con la de la geometría elemental; la idea básica de la geometría analítica, las series infinitas, el concepto de diferencial e integral. Tuve también la buena fortuna de conocer los resultados y métodos esenciales de todo el campo de las ciencias naturales en una excelente exposición popular que se limitaba exclusivamente a aspectos cua-

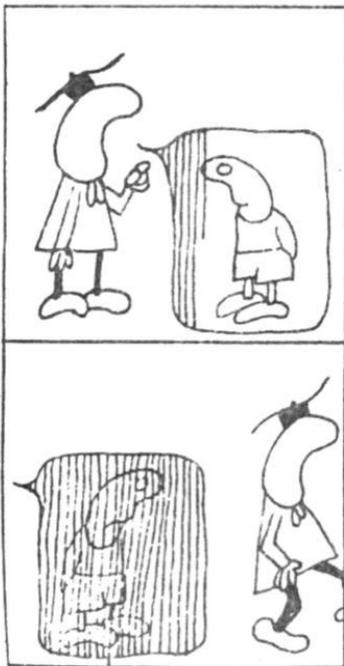
“Es casi un milagro que los métodos modernos de instrucción no hayan estrangulado por completo la santa curiosidad de la indagación, pues esa delicada plantica, además de estímulo, necesita principalmente libertad; sin ella, languidece y muere fatalmente”.

litativos (los “Libros Populares de Ciencia Natural”, de Bernstein, obra en cinco o seis volúmenes) que leí con expectante atención. Ya había estudiado también algo de física teórica cuando, a los 17 años, ingresé al Instituto Politécnico de Zurich como estudiante de matemáticas y Física.

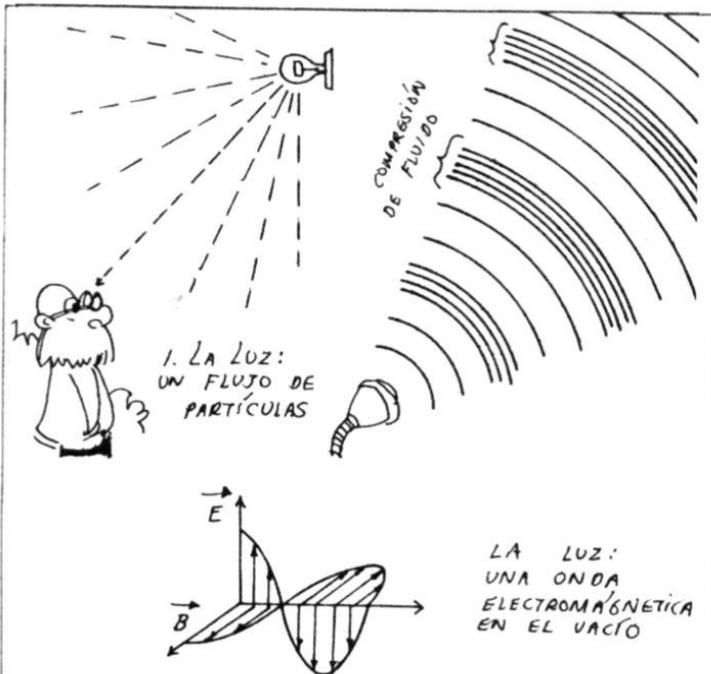
Allí yo tuve excelentes profesores (entre ellos Hurwitz y Minkowski), de manera que hubiera podido recibir una buena formación matemática. Sin embargo, trabajaba la mayor parte del tiempo en el laboratorio de física, fascinado por el contacto directo con la experiencia. El tiempo restante solía pasarlo principalmente en mi casa, dedicado al estudio de las obras de Kirchhoff, Helmholtz, Hertz, etc. El hecho de que menospreciara hasta cierto punto las matemáticas tenía por causa no solamente mi mayor interés en las ciencias naturales, sino también la siguiente extraña experiencia: advertí que las matemáticas se dividían en numerosas especialidades, cada una de las cuales podría absorber fácilmente la totalidad de una vida. Consiguientemente, me ví en la posición del asno de Buridán, incapaz de decidirse por un determinado haz de heno. Esto se debió de modo obvio a que mi intuición no era lo bastante poderosa en el campo de las matemáticas para diferenciar claramente lo fundamental e importante, lo realmente básico, del resto, de la erudición más o menos marginal. Más aún, mi interés en el conocimiento de la naturaleza era indiscutiblemente más fuerte; y en esa época no comprendía claramente que un conocimiento más profundo de los principios fundamentales de la física está vinculado a los más intrincados métodos matemáticos. Esto lo comprendí sólo gradualmente, después de años de labor científica independiente. Desde luego, la física se divide también en campos separados, cada uno de los cuales es capaz de devorar una vida de trabajo sin lograr saciar el hambre de conocimientos más profundos. Allí también resulta abrumadora la masa de datos experimentales insuficientemente relacionados. Sin embargo, en ese campo, pronto me habitué a husmear

lo que podía llevar a lo fundamental y a desechar todo lo demás, esa multitud de cosas que alborotan la mente y la apartan de lo esencial. La molestia consistía en que era indispensable embutirse todas esas cosas para los exámenes, le gustara a uno o no. Esa coerción tuvo sobre mí tal efecto disuasor que después de pasar el último examen, y durante un año, encontré desagradable la consideración de cualquier problema científico. Para ser justo debo agregar, sin embargo, que en Suiza teníamos que sufrir menos que en ninguna parte esa coerción que sofoca cualquier impulso verdaderamente científico. Además, sólo había dos exámenes, fuera de los cuales se podía hacer lo que se quisiera. Tal era el caso de quien, como yo, tenía un amigo que asistía a las clases regularmente y las seguía con atención. Esto me dejaba libre para la escogencia de actividades hasta pocos meses antes del examen, libertad que yo aproveché en grado apreciable y he asimilado gustosamente como un mal menor los sentimientos de culpa que esa manera de actuar me produjo. Es casi un milagro, en realidad, que los métodos modernos de instrucción no hayan estrangulado por completo la santa curiosidad de la indagación, pues esa delicada plantica, además de estímulo, necesita principalmente libertad; sin ella, languidece y muere fatalmente. Pensar que el placer de mirar e indagar puede ser estimulado por medio de la coerción y el sentido del deber, constituye un error muy grave. Por el contrario, pienso que hasta se le podría quitar a una bestia de presa su voracidad si fuese posible a punta de látigo obligarla a devorar continuamente aún sin apetito y especialmente si el alimento ofrecido bajo tal coerción se escogiese apropiadamente...

Trataré ahora el tema de la física, tal como se presentaba en 1896. A pesar de la fecundidad en asuntos particulares, en materia de principios prevalecía la rigidez dogmática; al comienzo (si acaso tal cosa existió) Dios creó las leyes de Newton sobre el movimiento, junto con las masas y fuerzas necesarias. Esto era todo; la comprensión



CUAL ES LA NATURALEZA DE LA LUZ



Los debates sobre la naturaleza de la luz se remontan a los tiempos de Newton, quien polemizó de manera vehemente con Huygens, defensor de una teoría ondulatoria: "Acaso no son erróneas" —pregunta el pensador inglés en su "Óptica" "todas las hipótesis en las que se supone que la luz consiste en una presión o movimiento propagado a través de un medio fluido?". Y más adelante agrega: "Si [la luz] consistiese en una presión o movimiento propagándose instantáneamente o en el tiempo entonces se doblaría hacia las sombras, pues la presión o movimiento no se puede propagar por un fluido en línea recta. . . "Así, la propagación de la luz en línea recta contradice, según Newton, cualquier hipótesis ondulatoria. A partir de entonces se afianza durante todo el siglo XVIII la tesis que considera la luz como un flujo de partículas. Sin embargo, a comienzos del siglo XIX, a raíz de los experimentos cruciales de Young y Fresnel sobre interferencia y difracción, se reabre el debate y termina por imponerse de manera definitiva la hipótesis ondulatoria. Pero esta verdad plantea nuevos problemas. En el marco de la concepción mecanicista imperante, cualquier onda no puede ser sino la perturbación de un medio que se propaga a través de él, debido a sus propiedades elásticas. ¿En qué medio se propaga entonces la luz? Resurge así la idea del *éter* como un medio sutil que todo lo permea y que propaga la luz como el aire propaga el sonido. El mismo Maxwell interpretará sus célebres ecuaciones y las ondas electromagnéticas predichas por su teoría en términos mecanicistas. Sólo a comienzos del presente siglo se operará explícitamente una reinterpretación de la teoría de Maxwell, y la luz se pensará como una propagación de campos eléctricos y magnéticos en el vacío.

de cualquier fenómeno específico resultará del desarrollo de métodos matemáticos apropiados, por medio de la deducción. Lo que en el siglo XIX se logró sobre esta base, especialmente por medio de la aplicación de ecuaciones diferenciales parciales, tenía que suscitar la admiración de todas las personas receptivas. Newton fue probablemente el primero en revelar, en su teoría de la transmisión del sonido, la eficacia de las ecuaciones diferenciales parciales. Ya Euler había creado los fundamentos de la hidrodinámica. Pero la gran realización del siglo pasado fue el desarrollo más preciso de la mecánica de las masas discretas, como base de toda la física. Sin embargo, lo que producía la mayor impresión sobre el estudiante no era tanto la estructura técnica de la mecánica, o la solución de problemas complicados, sino las proezas de la mecánica en campos que aparentemente no tenían que ver con ella: la teoría mecánica de la luz, que concebía a ésta como una oscilación de un éter rígido cuasi-elástico, y, principalmente, la teoría cinética de los gases: la independencia del calor específico del peso atómico en los gases monoatómicos, la deducción de la ecuación de estado de un gas y su relación con el calor específico, la teoría cinética de la disociación de los gases, y sobre todo la relación cuantitativa entre la viscosidad, conducción térmica y difusión de los gases, que también suministró las dimensiones absolutas del átomo. Estos resultados ratificaban simultáneamente el carácter de la mecánica como base de la física y de las hipótesis atómicas, que después anclaron firmemente en la química. Sin embargo, en química sólo las razones de las masas atómicas tenían algún papel, no sus magnitudes absolutas; de manera que la teoría atómica podía considerarse más como un símbolo de visualización que como un conocimiento de la estructura misma de la materia. Aparte de eso resultaba profundamente interesante que la teoría estadística clásica pudiera deducir las leyes fundamentales de la termodinámica, algo que en esencia había sido logrado ya por Boltzmann.

“... la gran realización del siglo pasado fue el desarrollo más preciso de la mecánica de las masas discretas, como base de toda la física. Sin embargo, lo que producía la mayor impresión no era tanto la estructura técnica de la mecánica... sino las proezas de la mecánica en campos que que aparentemente no tenían que ver con ella: la teoría mecánica de la luz... y la teoría cinética de los gases”.



No debe pues sorprendernos que, por decirlo así, todos los físicos del siglo pasado vieran en la mecánica clásica una base firme y definitiva para toda la física y en consecuencia, para todas las ciencias naturales, y de que no cesaran en su intento de basar en la mecánica la teoría del electromagnetismo de Maxwell, la cual empezaba en ese entonces a imponerse lentamente. Aún Maxwell y H. Hertz, quienes retrospectivamente aparecen como los demolidores de la fe en la mecánica clásica como base última de todo pensamiento físico, de manera consciente adhirieron totalmente a la mecánica como fundamento de la física. Fue Ernst Mach quien en su “Historia de la Mecánica” estremeció esta fe dogmática. Este libro ejerció, en este aspecto, una profunda influencia sobre mí en mi época de estudiante. Veo la grandeza de Mach en su incorruptible escepticismo e independencia; su posición epistemológica también ejerció gran influencia sobre mí en mis años de juventud, pero actualmente me parece insostenible, pues no aclara adecuadamente la naturaleza esencialmente especulativa y constructiva del pensamiento y más específicamente del pensamiento científico. Como consecuencia de esto él condenó la teoría precisamente en aquellos puntos donde su carácter constructivo especulativo surge más claramente, como en la teoría cinética atómica.

Antes de entrar a una crítica de la mecánica como fundamentación de la física, debe decirse algo de carácter general sobre los puntos de vista según los cuales pueden criticarse las teorías físicas. El primer punto de vista es obvio: la teoría no debe contradecir los hechos empíricos. Aunque esta exigencia parece a primera vista evidente, su aplicación resulta ser bastante delicada porque frecuentemente —tal vez incluso siempre— es posible aceptar una fundamentación teórica general asegurando la adaptación de la teoría a los hechos mediante la adición de suposiciones artificiales. De todos modos, este primer punto de vista se refiere a la confirmación del fundamento

teórico por los hechos empíricos disponibles.

El segundo punto de vista no tiene que ver con la relación respecto al material observacional, sino con las premisas de la teoría misma, con lo que brevemente pero de manera vaga podría caracterizarse como la “naturalidad” o “simplicidad lógica” de las premisas (de los conceptos fundamentales y de las relaciones entre estos que se toman como una base). Este punto de vista, cuya formulación encuentra grandes dificultades, ha jugado un papel importante en la selección y evaluación de teorías desde tiempos inmemoriales. No se trata simplemente de una enumeración de premisas independientes lógicamente (en caso de que tal cosa fuese posible de manera inequívoca), sino de una comparación recíproca de cualidades que son inconmensurables. Además, entre teorías con una fundamentación igualmente “sencilla”, debe ser considerada superior la que más nítidamente delimita las cualidades de los sistemas en el terreno de lo abstracto (es decir, la que contiene aseveraciones mejor definidas). No hablaré aquí sobre el “campo de aplicación” de las teorías, por cuanto nos estamos limitando a teorías cuyo objeto es la totalidad de las apariencias físicas. El segundo punto de vista puede caracterizarse brevemente como relativo a la “perfección interna” de la teoría, mientras que el primer punto de vista se refiere a la “confirmación externa”. Considero así mismo que pertenece a la “perfección interna” lo siguiente: concedemos mayor valor a una teoría si, desde el punto de vista lógico, no es el resultado de una escogencia arbitraria entre teorías que poseen todas ellas igual valor y construcción análoga.

No voy a intentar justificar el precario grado de precisión de las aseveraciones contenidas en los dos últimos párrafos alegando falta de espacio. Confieso sin más que no sería capaz, de manera inmediata y tal vez de ninguna manera, de reemplazar esas insinuaciones por definiciones más precisas. Creo,

▶ sin embargo, que una formulación más nítida sería posible. Al fin y al cabo, ocurre que entre los "oráculos" hay usualmente acuerdo al juzgar la "perfección interna" de las teorías y aún más al decidir lo concerniente al "grado" de confirmación externa". □

EDITORIAL MCGRAW-HILL

Tiene el gusto de presentar a profesores y estudiantes sus excelentes novedades en el área de Física:

- Strother — *Física aplicada a las ciencias de la salud*
Edición revisada, 100% unidades SI
- Tippens — *Física, Fundamentos y Aplicaciones*
- Gautreau — *Física Moderna* — Schaum
- Segura — *Fundamentos de Física* — Vol. I — Schaum
- Segura — *Fundamentos de Física* — Vol. II — Schaum
- Bueche — *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería* — 2/ed. Vol. I
- Bueche — *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería* — Vol. I — Cuaderno de trabajo
- Bueche — *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería* — 2/ed. Vol. II
- Bueche — *Física para estudiantes de Ciencias e Ingeniería* — Vol. II — Cuaderno de trabajo

DE PROXIMA APARICION

- Eisberg — *Física para Ingenieros* — Vol. I
- Eisberg — *Física para Ingenieros* — Vol. II

Calle 61 No. 16-51 — Apartado Aéreo 11255 — Bogotá — Teléfonos 2126881 y 2559264



alicia de mesa

la astucia de Dios o el enigma de las partículas elementales

La proliferación de partículas no ha cesado hasta nuestros días. Hoy las llamadas partículas elementales se cuentan por centenares. Y los interrogantes se multiplican: ¿En qué sentido siguen siendo elementales partículas inestables, que se pueden crear, destruir y transformar en otras? ¿No sugiere su misma abundancia la idea de que quizás estén compuestas de otras partículas, esas sí fundamentales?

Para Einstein "la tarea más elevada del físico es la búsqueda de las leyes fundamentales y más generales que le permitan reconstruir, por pura deducción, la imagen del mundo".

Podría ocurrir, sin embargo, que este mundo, en vez de funcionar como un complejo mecanismo sujeto a leyes precisas, se moviera como un caleidoscopio capaz de formar patrones coloreados, hermosos y sugestivos pero, para decepción del físico, efímeros y casuales. No Einstein tenía la firme convicción de que todos los procesos naturales están sometidos a una legalidad estricta que el científico puede y debe descubrir; a sus colegas de la universidad de Princeton resumió su certeza en una frase que se hizo célebre: "Dios es astuto pero no tramposo".

El profesor austriaco Herbert Pietschmann expresó algo similar en un artículo reciente: "Mientras estamos en el laboratorio o en la mesa de trabajo, concentrados sobre los problemas cotidianos, los físicos no debemos olvidar que la tarea de la ciencia natural es mucho más elevada: es la construcción de una imagen no contradictoria de la realidad total ¡hasta donde ella se deje concebir sin contradicción!".

Sin embargo, ¿qué ha motivado esta reserva, este insidioso germen de duda que se deja deslizar, casi de modo casual, al final de la frase?

Tal vez se puede entrever una explicación en esta confesión sin rodeos del profesor Weisskopf, un eminente teórico de las partículas elementales: "Muchos de los conceptos que hoy usamos para describir los fenómenos de la física de partículas reposan en meras suposiciones y sufren, además, de contradicciones internas".

Algunos han comparado la situación actual en el campo de la teoría de partículas a una sala de conciertos antes de comenzar la función: "En el escenario se ven algunos músicos, no todos; entretanto afinan sus instrumentos; de vez en cuando se oyen algunos pasajes cortos y brillantes; aquí y allá suenan improvisaciones y también algunas notas falsas; hay una sensación que anticipa el comienzo de la gran sinfonía" (Physics Today, 1968).

Martin Gardner, comentando este pasaje (The Ambidextrous Universe, 1979), agrega: "Si pudiéramos oír unos pocos acordes de la gran sinfonía nueva, nos golpearían como una música loca. . . Pero después de que la

Para Demócrito "lo único existente son los átomos y el vacío".

En el esquema newtoniano, además de partículas y espacio vacío hay fuerzas.

teoría "loca" haya sido refinada hasta no parecer loca sino *simple* y casi *inevitable*, cuando el aparente desorden de las partículas haya cedido su lugar a un orden hermoso, el mismo éxito de la teoría abrirá las puertas que conducen a un nivel más profundo de desorden".

La larga búsqueda de las partículas últimas e indivisibles

Hace más de 2.400 años el filósofo Demócrito formuló así el postulado básico de la teoría atomista de la materia: "Lo único existente son los átomos y el vacío". Los átomos son fragmentos últimos, inalterables, invisibles e impenetrables. Según Demócrito todos los seres, incluso las almas y los Dioses, están constituidos por conglomerados más o menos transitorios de átomos. Las diferencias cualitativas perceptibles por los sentidos se explican por diferencias en forma, tamaño, posición, orden y estado de movimiento de los átomos constituyentes. Ellos están hechos de idéntica materia y solo pueden influirse mutuamente a través de choques, por contacto directo; no existen fuerzas a distancia, ni nada parecido al "amor" y al "odio" (atracción y repulsión) postulados por su antecesor Empédocles. Sólo partículas y vacío.

Isaac Newton, creador del primer gran sistema de la Mecánica, retorna en los albores del siglo XVIII a la hipótesis atómica de Demócrito: "Después de todas estas consideraciones me parece probable que Dios al comienzo de todas las cosas haya creado la materia en partículas masivas, sólidas, duras, impenetrables y móviles, de forma y tamaño adecuados al fin para el cual fueron creadas; y que, además, estas partículas primitivas, por ser sólidas, sean incomparablemente más duras que cualesquiera cuerpos porosos formados por ellas; tan duras, que nunca puedan perecer o romperse, pues ningún poder ordinario estaría en capacidad de dividir lo que Dios mismo creó al comienzo como un todo". Para Newton, como para Demócrito, "el

cambio de las cosas corporales se debe exclusivamente a las separaciones, reunificaciones y movimientos de estas partículas permanentes".

Pero en el esquema newtoniano hay, además de *partículas* y *espacio vacío*, *fuerzas*. En particular: "Hay en la naturaleza acciones que obligan a las partículas o a los cuerpos a mantenerse cohesionados con fuerte atracción; es tarea de la Filosofía Natural el descubrirlas" (Óptica, 1704).

El programa atomista de Newton parecía a punto de realizarse al finalizar el primer tercio de nuestro siglo. Tres partículas —electrón, protón y neutrón— bastaban para explicar de un modo simple y elegante las diferencias cualitativas de todos los elementos químicos; ahora se sabía que los átomos son estructuras complejas, alterables y divisibles; que incluso se pueden transformar en otros de modo espontáneo. Ya no se les podía considerar "átomos" en el sentido de unidades últimas e indivisibles de la materia, a lo sumo, en el sentido de unidades últimas de los elementos químicos. Los constituyentes de los átomos ocuparon su lugar como unidades auténticamente simples y fueron denominados "partículas elementales".

Las cuatro interacciones fundamentales

Merced a que las partículas poseen masa, deben ejercer y sufrir la acción de *fuerzas gravitacionales*; las que poseen carga o magnetismo intrínseco interactúan además mediante *fuerzas electromagnéticas*. Pero estas fuerzas no bastaban para explicar cómo en el reducido espacio de un núcleo atómico (en la décima parte de una billonésima de centímetro) pueden coexistir durante largo tiempo varios protones que, por tener cargas de igual signo, se repelen con fuerzas eléctricas enormes. Fue forzoso admitir que ciertas partículas (entre ellas los protones) pueden interactuar a distancias muy cortas con fuerzas de otro tipo y mucho mayores que las electromagnéticas. A estas fuer-

Hasta nuestros días el número de interacciones fundamentales se ha estabilizado en cuatro; fuerte, electromagnética, débil y gravitacional. En cuanto al número de partículas, la situación no es tan estable.

Primero aparecieron las "copias negativas" de las partículas conocidas (antipartículas).

zas se les dió el nombre de *interacciones fuertes* \hat{z}

Pero el inventario de las interacciones posibles entre partículas elementales no estaba aún completo. Desde 1896 se sabía que los núcleos atómicos pueden transmutarse espontáneamente emitiendo tres tipos de "rayos": alfa, beta y gama. Mediciones muy precisas dejaron fuera de toda duda el hecho de que los rayos beta no son sino haces de electrones con alta energía. Enrico Fermi, apoyándose en una sugerencia hecha por W. Pauli en 1930, asumió la existencia de una nueva partícula elemental, a la cual bautizó "neutrino" ("neutronicito" en italiano); a fin de explicar las características de los rayos beta supuso que esta partícula (que no deja huellas visibles en los detectores por carecer de carga eléctrica) es emitida simultáneamente con los electrones por el núcleo.

Sin embargo, los físicos estaban y están seguros de que en el núcleo atómico no hay electrones. ¿De dónde salen entonces? Fermi respondió audazmente: tanto los electrones como los neutrinos son creados en el proceso de transformación de un neutrón del núcleo en un protón. Y no vaciló en responsabilizar de este proceso a un nuevo tipo de fuerza o interacción fundamental: la *interacción débil*.

A partir de ahí y hasta nuestros días el número de interacciones fundamentales, a las cuales se pueden reducir las fuerzas de la naturaleza, se ha estabilizado en cuatro: fuerte, electromagnética, débil y gravitacional. (Recientemente se ha sugerido una quinta —la super débil— para explicar algunos procesos aún inexplicados. Pero, por otro lado, los científicos no abandonan la esperanza de unificar todas estas en una sola descripción fundamental; ya se ha avanzado bastante en la unificación de las interacciones electromagnéticas y débiles y se han dado pasos hacia la unificación de éstas con las fuertes).

En cuanto al número de partículas, la situación no fue tan estable.

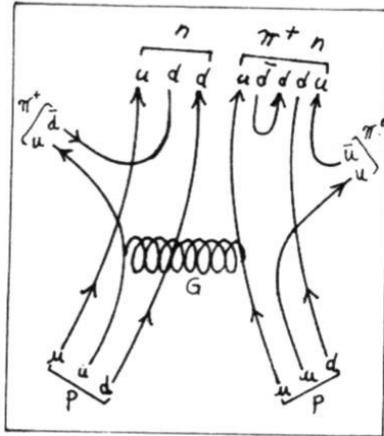
La avalancha de partículas elementales

En 1932 Carl David Anderson descubrió un electrón con una peculiaridad: en vez de carga negativa ($-e$) tenía carga positiva ($+e$). Anderson la bautizó con el nombre de "positrón"; aún no sabía que acababa de confirmar la asombrosa predicción hecha por el físico inglés Paul Dirac un año antes: si existen electrones *tienen* que existir antielectrones; si existen protones *deben* existir igualmente antiprotones. Desde entonces las observaciones de antipartículas han abundado (en 1956 se identificó por primera vez el antineutrón en un laboratorio de Berkeley). Hoy ningún físico duda de que por cada clase existente de partícula elemental existe otra idéntica en todo a la anterior, excepto en el signo de algunas de sus propiedades básicas (como la carga eléctrica). Y en principio nada impide que existan antiátomos constituidos por antielectrones girando alrededor de antinúcleos hechos de antiprotones y antineutrones. ¿Por qué no antimoléculas, anticélulas, antimundos?

Con el descubrimiento de las antipartículas se hizo evidente que las partículas no son inmortales. No sólo pueden ser "creadas", como había anticipado Fermi. También pueden aniquilarse al encontrarse muy cerca de sus antipartículas. Obviamente no se convierten en pura nada (esto lo prohibiría el sagrado principio de conservación de energía); pero tampoco se descomponen en otras más elementales que ellas, ni se unen para formar unidades estables más complejas: en el proceso de su aniquilación desaparecen lisa y llanamente de la escena en una explosión que puede dar lugar a radiación electromagnética (rayos gamma) o al nacimiento de otras partículas igualmente elementales.

Pero en los años treinta no solo se duplicó el número de partículas cono-

La necesidad de explicar otras interacciones exigió la existencia de otras partículas, y buscando unas, los físicos hallaron además otras.



Esta figura explica el proceso en que al interactuar dos protones (p) mediante el intercambio de un gluón (G) se producen dos piones positivos (π^+), dos neutrones (n) y un pión neutro (π^0). Obsérvese que hay creación de tres pares de quark-antiquark:



cidas con sus "copias negativas". En un esfuerzo por explicar cómo operan las interacciones fuertes, el físico teórico Hideki Yukawa tuvo que admitir en 1935 la existencia de una nueva partícula. Muchos experimentadores salieron en su búsqueda y efectivamente hallaron una en 1938 con masa muy parecida a la pronosticada por Yukawa, y le pusieron el nombre de muón. Lamentablemente, pronto se dieron cuenta de que esta partícula era incapaz de interactuar fuertemente con la materia; resultó ser una especie de electrón 200 veces más pesado y además inestable (solo vive en promedio una millonésima de segundo antes de convertirse espontáneamente en un electrón, un neutrino y un antineutrino). El verdadero mesón pi de Yukawa no fue encontrado hasta 1947.

En este mismo año de 1947 se descubrieron en la radiación cósmica partículas con una nueva propiedad llamada "extrañeza". El apelativo de "partículas extrañas" no se debió al hecho de que no fuesen esperadas ni comprendidas en absoluto. Como dice Igor Saavedra en un excelente folleto de divulgación (Física de Partículas - OEA-, Ed. revisada y actualizada 1978), "si este nombre tuviera alguna relación con nuestro grado de entendimiento de ellas, comparativamente hablando, lo más adecuado sería llamarlas "normales"!".

En 1961 se precipitó un verdadero diluvio de descubrimientos de partículas de vida muy corta (algo así como la cienmillonésima parte de una millonésima de una billonésima de segundo). Y de inmediato surgió la duda: ¿Es lícito llamar partículas a seres que duran tan poco, aún en la escala de tiempos subatómicos? ¿O son simplemente estados transitorios de otras partículas básicas? Entre tanto, y merced al modo particular de detectarlas, se las llamó genéricamente "resonancias".

La proliferación de partículas (incluso más durables que las "resonancias") no ha cesado hasta nuestros días. Hoy las llamadas partículas elementa-

les se cuentan por centenares. Y los interrogantes se multiplican:

—¿En qué sentido siguen siendo elementales partículas inestables que se pueden crear, destruir y transformar en otras?

—¿No sugiere su misma abundancia la idea de que quizás estén compuestas de otras partículas, esas sí fundamentales?

El óctuple sendero hacia los quarks

Buscando poner orden en este caos, los científicos examinaron cuidadosamente todos los procesos que se manifestaban en aceleradores cada vez más potentes. Y se dieron cuenta de que algunos procesos, permitidos por todas las leyes de conservación ya conocidas, nunca se producían. Pero esto chocaba contra su convicción de que en la naturaleza todo lo que no está prohibido por alguna ley debe ocurrir con alguna probabilidad. Si algo no ocurre nunca, es porque no puede ocurrir, porque alguna ley lo prohíbe. Así se hizo necesario introducir nuevas leyes de conservación de magnitudes desconocidas hasta entonces: extrañeza, encanto, belleza, número leptónico, número bariónico...

Avanzando por este camino se llegó a la primera gran bifurcación: ciertas partículas (como el electrón, el muón, sus correspondientes neutrinos y todas sus antipartículas) no son capaces de ejercer ni sufrir interacciones fuertes y no muestran ningún indicio de ser estructuras complejas. Hoy se las considera estrictamente elementales (como puntos materiales) y se las denomina genéricamente "leptones" (o "partículas livianas").

Las restantes partículas, por ser capaces de interactuar fuertemente, se denominaron "hadrones". Muchos datos experimentales sugieren que estas partículas, con diámetros del orden de una décima de billonésima de centímetro, tienen una estructura interna y están compuestas de partes, es decir, no

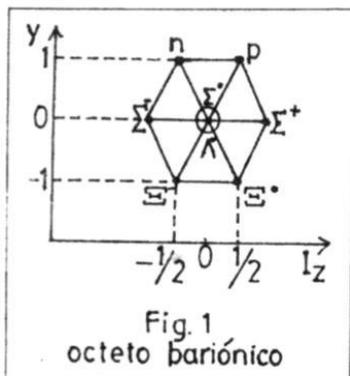


Fig. 1
octeto bariónico

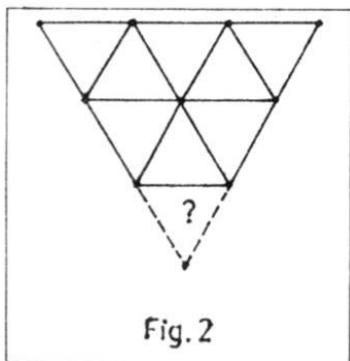


Fig. 2

son estrictamente elementales.

Los físicos teóricos empezaron a seguir todas las pistas que pudieran conducir al hallazgo de estas "partes" constituyentes de los hadrones. Quizás un orden, como el que Mendeleev descubrió a finales del siglo pasado entre los elementos químicos conocidos hasta entonces, podría dar la clave para comprender la estructura de los hadrones. El paso siguiente era, pues, tratar de agruparlos en esquemas similares a la tabla periódica de Mendeleev.

Con ayuda de la teoría matemática de los grupos se fueron organizando sucesivamente "familias" de hadrones (técnicamente llamadas "multipletes"). Primero fue la familia de los nucleones (neutrón y protón); luego la familia de las sigma (Σ^+ , Σ^0 y Σ^-), etc. Más tarde se observó que algunas familias con ciertas propiedades comunes (espín, paridad) podían agruparse en "tribus" (técnicamente "supermultipletes") y que los miembros de estas tribus, al ser dispuestos en un esquema según el valor de dos propiedades físicas: I_z y Y ("tercera componente del isospín" e "hipercarga"), daban lugar a figuras geométricas de una regularidad asombrosa. Por ejemplo, si se marcan horizontalmente los valores de I_z y verticalmente los correspondientes valores de Y para la tribu de bariones a la cual pertenecen los nucleones (n y p), resulta el hexágono de la Fig. 1 que contiene en sus vértices y en el centro ocho partículas. (Las correspondientes antipartículas, que tienen valores opuestos de Y e I_z , constituyen el llamado "octeto antibariónico").

Con la "tribu" de mesones a la cual pertenecen los piones se obtuvo un hexágono de idéntica forma, salvo una pequeña diferencia: en el centro solo se podía acomodar una partícula de las conocidas hasta entonces (1961). Gell-mann y Ne'eman, independientemente, postularon la existencia de la partícula que hacía falta para completar el octeto. Y, efectivamente, el "óctuple sendero", como en la doctrina

budista que inspiró este nombre, condujo al descubrimiento de una "noble verdad": el mesón eta fue hallado un año más tarde.

Con una tribu de resonancias conocidas ocurrió algo aún más espectacular: en el polígono resultante la partícula central no era equidistante de los vértices: pero bastaba agregarle el triángulo básico que aparece seis veces en los octetos para recuperar la simetría. (Fig. 2)

Se puede adivinar fácilmente la historia que siguió: la partícula faltante fue predicha por Gell-Mann en 1962, y en 1964 un grupo de 33 físicos experimentales del laboratorio de Brookhaven anunció el hallazgo de un proceso de creación y subsiguiente aniquilación de Ω^- , idespues de analizar 300 kilómetros de trayectorias de partículas registradas en más de 100.000 fotografías!

Continuando este juego matemático se puede predecir la existencia de otro hexágono mayor que puede contener 27 partículas. Pero quedaba por explicar un hecho sorprendente: todos los polígonos construidos hasta ahora tienen la peculiaridad de que sus perímetros son múltiplos del perímetro del triángulo básico —el doble, el triple, el cuádruple. ¿Por qué no existe una tribu independiente formando el triángulo básico?—

Los científicos —aunque no entendían muy bien el por qué de sus éxitos con estos procedimientos— estaban demasiado estuasiados como para declararse satisfechos con lo obtenido. Gell-Mann y Zweig dieron el paso que restaba: postularon la existencia de la "tribu básica", constituida por tres partículas nuevas ubicadas en los vértices del triángulo básico o fundamental. Como se ilustra en la figura 3, basta inscribir los polígonos en circunferencias concéntricas para ubicar el triángulo fundamental y determinar las propiedades de las partículas constituyentes. ¡Como Kepler a finales del siglo XVI, inscribiendo sólidos regulares en las "esferas celestes" a fin de calcu-

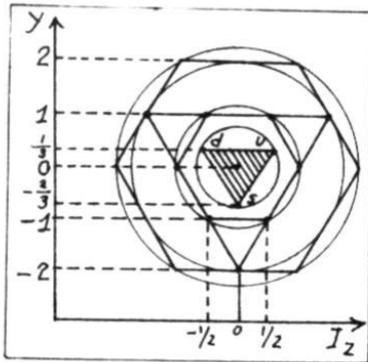


Fig. 3

Cuadro 1

$q_u = (2/3)e$
$q_d = -(1/3)e$
$q_s = -(1/3)e$

Cuadro 2

p (protón) = uud partícula estable
n (neutrón) = udd vive en promedio solo 15 minutos cuando está aislado.
π^+ (pión positivo) = $u\bar{d}$ vive en promedio 2.6 cienmillonésimas de segundo.
π^0 (pión neutro) = $u\bar{u}$ vive en promedio menos de una diezmilésima de una billonésima de segundo.

lar las distancias de los planetas al sol!

Postular la existencia de partículas nuevas no era un procedimiento nuevo; pero en estas había algo que escandalizó al mundo científico: sus cargas resultaron ser fracciones de la carga elemental.

El cálculo es simple: La carga Q de una partícula está relacionada con Y e I_z por la ecuación:

$$Q = e(I_z + Y/2)$$

Esto bastó para que algunos rechazaran decididamente la hipótesis y casi todos la recibieran con cautela. Gell-Mann, tal vez para subrayar el carácter hipotético de sus partículas o para sugerir afinidades entre la creación científica y la artística, los bautizó con la palabra "quarks" que aparece en la obra "Finnegan's Wake" del escritor James Joyce.

Sabores y colores de los quarks

Con la hipótesis de los quarks parecía posible un retorno a la simplicidad: tres clases de quarks — d ("down", abajo), u ("up", arriba) y s ("strange", extraño) con sus correspondientes antiquarks \bar{d} , \bar{u} y \bar{s} — bastaban para explicar todas las especies conocidas de hadrones. Los más pesados (bariones) deben estar constituidos por tres quarks; los mesones (o partículas de masa intermedia) deben estar constituidos por un quark y un antiquark.

En 1964 Glashow y Bjorken postularon la existencia de un cuarto tipo de quark, el quark c con "encanto" ("charm") simplemente porque hacía falta para restaurar cierto "orden" o "simetría" en las relaciones entre quarks y leptones! Las razones teóricas en favor del quark encantado se hicieron cada vez más fuertes pero solo en 1974 se confirmó experimentalmente la existencia de partículas de vida muy corta, explicables como parejas de quark encantado con su correspondiente antiquark. Recientemente

nuevas evidencias experimentales (el descubrimiento del mesón ψ en 1978) han exigido otro quark denominado b ("bottom") y se supone que, si existe el "bottom" (fondo), debe existir también el "top" (cima).

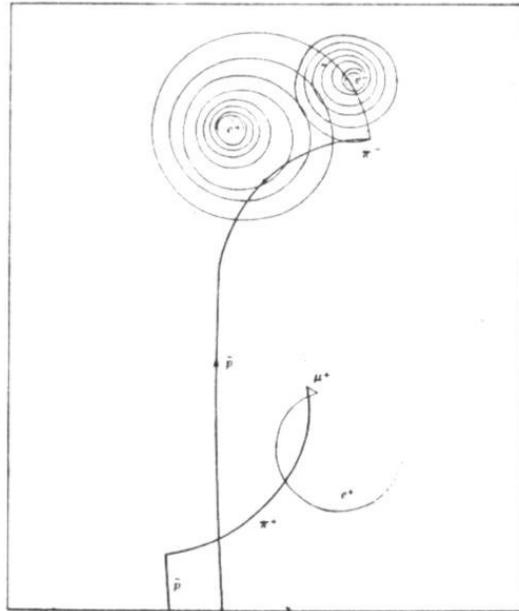
Por otra parte, una teoría —al parecer la única candidata sería para explicar las interacciones fuertes— ha contribuido a la proliferación de quarks triplicando su número: Cada uno de los seis tipos (o "sabores") de quarks ya mencionados debe tener uno de los tres "colores" fundamentales: amarillo, azul o rojo. Si tenemos en cuenta los seis antiquarks con los tres anticolores (o colores complementarios), obtenemos un total de 36 quarks.

"Colores" y "sabores" son nombres jocosos de propiedades tan abstractas que solo se pueden entender dentro de un esquema teórico complicado. Los tres "colores" son tres tipos de "cargas fuertes" análogas a la carga eléctrica; cada carga puede existir con dos signos opuestos y cargas contrarias se neutralizan mutuamente como dos colores complementarios al mezclarse producen el blanco; también la mezcla de los tres colores fundamentales da como resultado el blanco, que equivale a la ausencia de color. Según el modelo de los quarks todos los hadrones (constituidos por tres quarks o por una pareja quark-antiquark) son incoloros; exactamente como los átomos, constituidos por partículas con cargas eléctricas opuestas, son eléctricamente neutros.

La prisión inexpugnable de los quarks

En breve cumplirán los quarks veinte años de existencia teórica. Todas las evidencias experimentales se refieren a quarks ligados dentro de un hadrón; nunca a quarks libres o separados por una distancia mayor que el diámetro de un protón. Algunos piensan que es cuestión de tiempo, paciencia y grandes inversiones hasta obtener las altas energías necesarias para liberar los quarks. Otros han aceptado como





CÓMO SE EXPERIMENTA CON PARTICULAS ELEMENTALES

Las partículas subatómicas no se pueden observar directamente, pero es posible registrar sus trayectorias, por ejemplo, en una cámara de burbujas. Esta contiene un líquido que se mantiene a una temperatura mayor que la de su punto de ebullición normal, pero también a una presión elevada que impide la ebullición. Al entrar el chorro de partículas, se hace disminuir rápidamente la presión, y el líquido hierve a lo largo de la trayectoria de la partícula, donde la energía se ha incrementado debido a las interacciones de las partículas veloces con los átomos de líquido. Las cualidades de carga y de masa se pueden deducir a partir de estas huellas, y de principios de conservación.

Si el líquido es hidrógeno, se sabe que los "blancos" contra los cuales choca el chorro de partículas son protones. En el dibujo se señalan dos antiprotones entrando desde abajo a una cámara de burbujas de hidrógeno líquido. Ambos se recombinan con protones. Se han señalado también algunos productos de esta reacción nuclear. Obsérvense las espirales de los electrones y positrones: son partículas cargadas de poca masa moviéndose en un campo magnético.

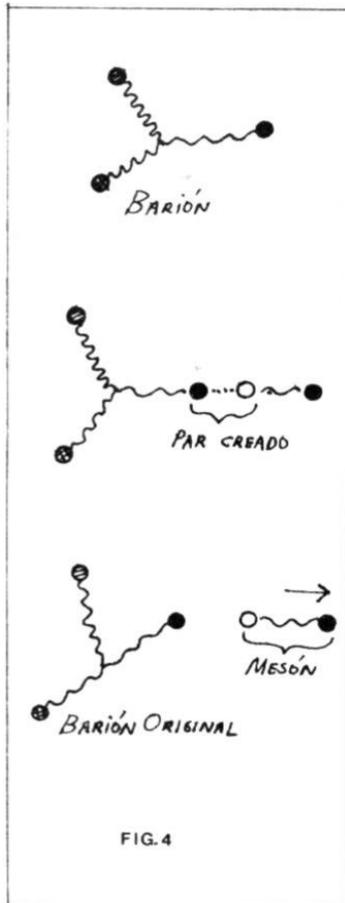


FIG. 4

definitivo el confinamiento de los constituyentes básicos dentro de los hadrones y han incorporado este hecho dentro de la teoría de los "colores" o "cromodinámica cuántica": una extraña ley de la naturaleza prohíbe la existencia independiente y libre de partículas coloreadas. Como todos los quarks poseen color, nunca podrían manifestarse libremente; solo pueden existir en combinaciones incoloras.

Para "explicar" por qué no es posible separar y aislar los quarks, a pesar de que los experimentos indican que ellos están casi "suelos" o libres dentro de las fronteras de los hadrones, se han diseñado ingeniosos y variados modelos. Por ejemplo, se ha supuesto que la fuerza entre quarks no disminuye a medida que crece la distancia entre ellos sino que aumenta o al menos permanece constante. Cuando se dispone de energía suficiente para romper una unión de quarks, la astucia de la naturaleza hace que automáticamente se materialice en el punto de ruptura una nueva pareja quark-antiquark; el quark creado reemplaza al que se escapa en compañía del nuevo antiquark; lo único que se observa en definitiva, es la creación de un mesón. (Fig. 4)

Pero, no obstante los éxitos de la teoría, los científicos se preguntan:

- ¿Tiene sentido introducir una partícula que no puede existir como objeto independiente?
- Si una partícula no puede, por principio, ser aislada y observada, ¿cómo sabremos si en realidad existe o es solamente una ficción?
- ¿No correrán los quarks la misma suerte de los polos magnéticos cuya inseparabilidad era un misterio hasta cuando se descubrió que no existen "cargas magnéticas"?
- ¿En qué sentido son reales los quarks? ¿como los extremos de

una cuerda? ¿como los polos de un imán?

- ¿Tendrá sentido extrapolar nuestras nociones corrientes de "divisibilidad", "elementalidad" y "complejidad" al dominio de dimensiones menores o iguales que el diámetro de un protón?

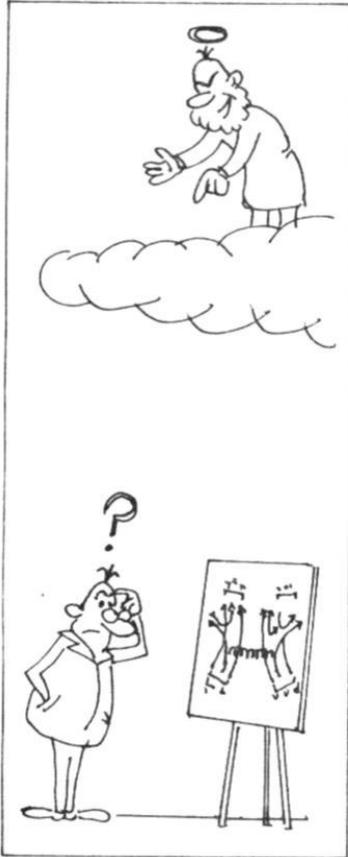
Algunos físicos han rechazado la hipótesis de los quarks y han propuesto modelos alternativos como el de "Bootstrap" (o cordón de zapatos), también llamado modelo de "democracia perfecta" que, en esencia, consiste en suponer que no existen partículas más elementales que otras: todos los hadrones estarían constituidos en cierta medida por todos los demás (como si $A = B + C$, $B = A + C$, $C = A + B$). Cada miembro de la familia sostiene a todos los demás y es sostenido a su vez por ellos. ¡Es como sostenerse a sí mismo en el aire tirando del cordón de sus zapatos! Lo asombroso del asunto es que este paradójico modelo permite predecir las mismas partículas nuevas que el modelo de los quarks y logra explicar de modo "natural" muchos procesos elementales. Sin embargo, la teoría fundada sobre la hipótesis de los quarks ha alcanzado un alto grado de desarrollo y tiende a ganar aceptación universal.

¿Retorno a Demócrito?

"La inmensa elegancia de la imagen moderna del universo reside en que también las fuerzas aparecen en forma de partículas", escribió en 1979 el profesor Pietschmann.

En realidad esta superación del esquema newtoniano —fuerzas actuando sobre partículas a través del espacio vacío— había empezado ya con el modelo corpuscular a la luz; los fotones de Einstein aparecieron primero como partículas hipotéticas de luz; más tarde se mostró que toda interacción electromagnética entre partículas puede interpretarse como un intercambio de fotones entre ellas.

- Para algunos teóricos, hoy en día las fuerzas aparecen también en forma de partículas, es decir, sólo hay partículas y vacío.



- Hoy sigue latente una nueva avalancha de partículas.

Por analogía, las fuerzas gravitacionales se explicaron mediante absorción y emisión de "gravitones" que viajan a la velocidad de la luz.

Para las interacciones fuertes hubo necesidad de introducir ocho tipos de fotones fuertes llamados "gluones" de "glue", pegante; es decir, "pegatones"). A diferencia de los fotones electromagnéticos, los gluones sí poseen carga (fuerte o de "color"), pero están prisioneros como los quarks dentro de los hadrones.

Los fotones de las interacciones débiles ("bosones intermediarios") plantearon un problema difícil porque, a diferencia de todos los anteriores, estos sí deben tener una masa en reposo diferente de cero (y relativamente grande). Según la teoría (ya que aún no han sido detectados) dos de ellos deben tener carga eléctrica y el tercero debe ser neutro. (Los recientes descubrimientos de corrientes débiles neutras han confirmado brillantemente esta predicción de S. Weinberg y A. Salam). Para resolver el problema de la masa de estos fotones débiles fue necesario introducir partículas adicionales: las llamadas partículas reales y fantasmas de Higgs.

Con esto se logró algo formidable: ya no hay partículas y, exteriores a ellas, fuerzas que rigen sus movimientos. Sólo hay partículas y vacío. Aunque, en un sentido más profundo, la teoría introduce una cierta equivalencia entre partículas y fuerzas: existen fuerzas porque existen partículas y existen partículas (poseen masa) porque interactúan. Fuerzas y partículas se generan mutuamente, se "autosostienen" como en el modelo del Bootstrap.

Sin embargo, el precio de esta visión unificada ha sido la introducción de 13 nuevas partículas mensajeras de interacciones (fotones, gravitones, gluones y bosones intermediarios). Para hacer el inventario de las partículas generalmente aceptadas hoy como estrictamente elementales hay que agregar los seis leptones (electrones, muones y

tauones con sus correspondientes neutrinos) y los 36 quarks (sin contar las "copias negativas" o antipartículas de todas las anteriores y las hipotéticas criaturas de Higgs).

Sigue, pues, latente la amenaza de una nueva avalancha de partículas. "En el transcurso del tiempo se descubren cada vez más clases de leptones y quarks. ¿Estamos llegando al final o enfrentaremos de nuevo una serie de estados cuánticos indicativos de que los quarks y los leptones están compuestos de superquarks y subleptones?", se preguntaba hace unos años el profesor Weisskopf.

Es posible que con ayuda de aceleradores más potentes de partículas y con el desarrollo de nuevas teorías matemáticas los físicos logren en los próximos años resolver los inmensos problemas que hoy afrontan para construir una imagen unitaria del micro-mundo. Pero, como ha ocurrido siempre, esta nueva síntesis teórica, al permitir una mayor penetración en los enigmas de la naturaleza, abrirá "puertas que conducen a un nivel más profundo de desorden". □

problemas y experimentos

. . . pues en más de una ocasión
sale lo que no se espera . . .

Una naranja.

Y una cuerda que le da la vuelta a la naranja por una circunferencia mayor.

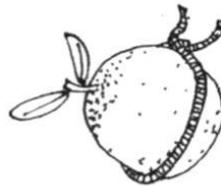
Añadimos un trozo adicional a la cuerda para que le de una vuelta a la naranja, un metro por encima de su superficie.

La Tierra,

Y una cuerda que le da la vuelta a la Tierra por el Ecuador.

Añadimos un trozo adicional a la cuerda para que le de una vuelta a la Tierra, un metro por encima del Ecuador.

¿Cuál de los dos añadidos es mayor?



Ponga una regla delgada de madera sobre una mesa de tal forma que sobresalga la mitad de ella, y cubra la parte de la regla que queda sobre la mesa con una hoja de papel tamaño carta. Proceda a dar un golpe rápido y seco (algo así como un "golpe de karate") sobre la parte de la regla que sobresale. ¿Se rasga la hoja? ¿Se parte la regla? ¿Se parte usted la mano? Recuerde, eso sí, que la revista no se hace responsable por las consecuencias derivadas de intentar encontrar la solución a los problemas propuestos.

Debate sobre la enseñanza de las ciencias

Dentro de las labores encomendadas al Consejo Académico Asesor en Ciencias Exactas y Naturales del ICFES, se han desarrollado en 1981 diversas actividades tendientes a estudiar las características de la enseñanza de las ciencias a nivel postsecundario, así como el estado general del área en el país.

Para poder fundamentar este análisis se requirió un conocimiento previo de la situación de dicha enseñanza en los primeros niveles educativos, lo cual condujo al Consejo a solicitar del Ministerio de Educación Nacional (MEN) información acerca de las acciones llevadas a cabo en dicho campo. Se llegó entonces al tema de la reforma propuesta por el MEN en los programas de Matemáticas y Ciencias Naturales (que actualmente se encuentra ya elaborada de 1o. a 6o. grado inclusive). De esta manera surgió la iniciativa de promover un debate nacional donde fueran analizados los nuevos programas y que abarcara la problemática de la enseñanza de las ciencias en estrecha relación con el desarrollo científico-tecnológico y la situación socio económica y cultural del país.

El ICFES, el Ministerio de Educación y Colciencias convinieron en la importancia de esta sugerencia y acordaron su apoyo para propiciarla, de modo que los mencionados temas fueran analizados y debatidos por aquellas personas cuyo trabajo se relaciona estrechamente con la ciencia, bien sea en calidad de docentes o de investigadores.

Por primera vez se plantea a nivel nacional una confrontación de ideas de esta índole, lo cual no puede tener sino consecuencias favorables en la posibilidad de alcanzar conclusiones orientadoras sobre asuntos de tanta trascendencia para la formación científica de los niños y jóvenes colombianos. Por tal motivo, las entidades organizadoras esperan la mayor acogida a esta iniciativa y hacen un llamado a las personas vinculadas a las matemáticas y a las ciencias naturales para que estudien los temas a tratar y den su valioso aporte en la discusión.

El tema a debatir será la reforma propuesta por el Ministerio de Educación en los currículos de matemáticas y ciencias naturales, que se encuentra ya elaborada para los grados de 1o. a 6o. y se proyectará hasta 9o. grado (es decir, hasta 4o. de bachillerato inclusive).

El simposio nacional

Como momento hacia el cual convergerán las ideas centrales del debate nacional, se está organizando el Simposio citado en el punto anterior. Este evento tendrá como propósitos principales :



- Analizar la situación de la enseñanza de las ciencias en el país, correlacionándola con el desarrollo científico-tecnológico, la cultura y las condiciones socio-económicas.
- Llegar a conclusiones iniciales sobre los lineamientos que deberían tenerse en cuenta al proponer una reforma de la enseñanza de las ciencias a nivel primario y secundario.
- Establecer la opinión de los docentes, de la comunidad científica, sobre la reforma planteada por el Ministerio y, en consecuencia, definir unas primeras recomendaciones al respecto.
- Definir la conformación de un equipo asesor del Ministerio, compuesto por docentes e investigadores, para que colabore con éste en las tareas a desarrollar posteriormente.

Para mayores informes, dirigirse a:

Dra. ELOISA TRELLEZ SOLIS

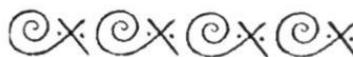
Calle 17 No. 3-40, 6o. Piso

ó A. A. 6319

ICFES, Bogotá

Teléfonos 284 66 68 – 243 88 83 – 284 05 11 Ext. 283 y 284

FECHA: AGOSTO – NOVIEMBRE 1981



IX Congreso Nacional de Física.

Del 17 al 21 de agosto se celebró en Paipa, Boyacá, el IX Congreso Nacional de Física, organizado por la Sociedad Colombiana de Física y la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja). El Congreso reunió algo más de doscientos delegados, entre investigadores, profesores y estudiantes de Física de las diferentes regiones del país.

Se presentaron gran variedad de trabajos, agrupados en las áreas de Docencia, Energía Solar, Física del Estado Sólido, Física Atómica y Nuclear, Biofísica, Geofísica y Partículas y Campos.

En el área de Docencia se presentaron entre otros los siguientes trabajos:

- Hacia una nueva construcción de la Física
- Comentarios sobre la experiencia de Young
- Una nueva visión de la Física y la Biofísica dentro de la carrera de Medicina.
- Estado actual de la enseñanza de la Física en los colegios de secundaria en el Departamento de Boyacá.

Además de los trabajos presentados por los participantes, tuvieron lugar varias sesiones con informes de los diferentes grupos de investigación, así como conferencias de interés general. Una de las decisiones más importantes tomada en la sesión final del congreso fue la de impulsar coloquios sobre la enseñanza de la física, en la organización de los cuales está trabajando actualmente la Sociedad Colombiana de Física.

Editorial Reverté

FISICA MODERNA

Tipler (P. A.)

Profesor de la Oakland University, Rochester, Michigan.

Un volumen de 570 páginas a dos colores, de 24 × 19 cm, con 274 figuras, 25 tablas, 54 ejemplos, 79 cuestiones, 294 ejercicios y 107 problemas (1980)

Esta obra se ha dividido en dos partes: Parte 1, «Introducción a la Relatividad y a la Física Cuántica», y Parte 2, «Aplicaciones».

Los capítulos de la Parte 2 son completamente independientes entre sí y pueden desarrollarse en cualquier orden. Un curso de un solo semestre comprenderá probablemente la mayor parte de los temas de la Parte 1 y varios capítulos (o, al menos, parte de ellos) de la Parte 2.

Mencionaremos algunas de las características pedagógicas de esta obra:

1. Al final de las diversas secciones se dan cuestiones para discutir y repaso.
2. Mediante leyendas marginales se destacan los conceptos y ecuaciones más importantes.
3. Se han marcado con líneas de color las ecuaciones principales y los resultados de mayor importancia.
4. Los temas opcionales se han situado claramente aparte, marcándolos con rayas verticales de color y encabezándolos con la palabra «Opcional» en el margen. Se ha eliminado gran parte de los temas comprendidos dentro de este encabezamiento en la edición anterior. Existen ahora tres tipos de material optativo: deducciones matemáticas; secciones con mayor dificultad y ampliaciones de algunos temas que, aún no siendo necesariamente difíciles, puedan incluir más detalles de lo que algunos profesores consideran como suficientes. Los capítulos están pensados de modo que los temas optativos vayan, normalmente, al final de una sección.
5. Se ha añadido una lista corta de objetivos a conseguir de la enseñanza, al principio de cada capítulo, para ayudar a los alumnos a concentrarse sobre la información más importante que se les presenta y para darles una idea de la profundidad del conocimiento y comprensión que se les exige. Estos objetivos también servirán de ayuda en posteriores repasos. Adicionalmente, pues somos entusiastas de las cuestiones que exigen una discusión para los exámenes, esperamos que estos objetivos resulten de utilidad para sugerir estas cuestiones.

EXTRACTO DEL INDICE

Parte 1. Introducción a la relatividad y a la Física cuántica. — Capítulo 1. Relatividad. — 2. Teoría cinética de la materia. — 3. Cuantización de la electricidad, de la luz y de la energía. — 4. El átomo nuclear. — 5. Ondas de electrones. — 6. Ecuación de Schrödinger. — 7. Física atómica. — 8. Estructura molecular y espectros. — 9. Propiedades de los sólidos. — 10. Estadísticas cuánticas y helio líquido.

— 11. Física nuclear. — 12. Partículas elementales. — Apéndice A. Propiedades de los núcleos. — B. Integrales de probabilidad. — C. Separación de la ecuación de Schrödinger en coordenadas esféricas. — D. Constantes físicas generales, combinaciones de constantes útiles, factores de conversión y datos numéricos. — E. Tabla periódica de los elementos. — Soluciones a los ejercicios y problemas.

YA ESTA DISPONIBLE



FISICA: Campos y Ondas. Original de los Doctores Marcelo Alonso y Onofre Rojo. La publicación de esta segunda parte de un trabajo iniciado por los autores hace más de 7 años nos permite ofrecer a los estudiantes pre-universitarios y universitarios un texto completo para el curso de física que cubre las siguientes áreas de esta disciplina: Mecánica y Termodinámica en la primera parte y Electricidad, Magnetismo, Ondas, Óptica y una introducción a la Física Moderna en la segunda parte titulada "Campos y Ondas".

El texto contiene material suficiente para un curso introductorio de Física, puede servir para Escuelas Técnicas y para Carreras Universitarias en las que sea conveniente tener un buen conocimiento de los fundamentos de la Física, pero para las que esta ciencia no es necesariamente un instrumento de trabajo.

CARACTERISTICAS

- Basado en el método científico expone criterios que permiten razonar sobre el mundo físico que nos rodea.
- Motiva al estudiante con preguntas, experimentos e introducciones históricas.
- Entrena con problemas, ejercicios y ejemplos aplicando conceptos y fundamentando criterios científicos.
- Contiene varios temas de actualidad expuestos en forma accesible.
- Desde su inicio el texto relaciona los fenómenos descritos con la estructura atómico-molecular de la materia.

DESEO REVISAR LA OBRA

ALONSO/ROJO: Campos y Ondas

NOMBRE: _____

INSTITUCION: _____

DEPARTAMENTO _____

DIRECCION: _____ TELEFONO _____

TEXTO EN USO: _____ No. ALUMNOS: _____

FECHA DE INICIACION DEL PROXIMO CURSO: _____



Fondo Educativo Interamericano, S. A.

APARTADO 29696 BOGOTA.

