

naturaleza

educación y ciencia

**EL PENSAMIENTO FISICO Y EPISTEMOLOGICO
DE JULIO GARAVITO**



- A. Koyré: Del mundo del "más o menos" al universo de la precisión • C. Federici: El paso de lo finito a lo infinito
- Una alternativa para la enseñanza de las ciencias: la comprensión • ¿Qué es la teoría general de sistemas?
- La divulgación científica y la apropiación cultural de las ciencias • Hacer matemáticas



C. I. F.

CENTRO INTERNACIONAL DE FISICA

El Centro Internacional de Física ha definido el siguiente programa para el año 1987. Las fechas que se indican son todavía tentativas.

Taller Latinoamericano de Física del Plasma
Medellín — Febrero

Taller de Biofísica
Bogotá — Febrero

Curso sobre Riesgo Sísmico
Bogotá — Abril

Curso sobre Magnetohidrodinámica
Bogotá — Mayo

Reunión sobre Energía Solar
Bogotá — Mayo

Curso sobre Preservación de Alimentos por el Frío
Bogotá — Junio

Curso sobre Irradiación de Alimentos
Bogotá — Junio

Curso sobre Diseño ayudado por Computador
Bogotá — Julio

Curso sobre Microanálisis
Bogotá — Julio

Curso sobre Rayos Cósmicos
Bolivia — Julio

Taller Latinoamericano de Bajas Temperaturas
Bogotá — Agosto

Taller de Investigación en Física Teórica
Agosto - Septiembre

Curso sobre Equipos de Bajo Costo
Perú — Agosto

Curso sobre Liofilización de Alimentos
Perú — Agosto

Cursos subregionales sobre el uso de Microcomputadores
Ecuador — Septiembre
República Dominicana — Septiembre

Curso sobre Enseñanza de la Física
Pasto — Octubre

Curso sobre Modelos Biológicos
Bogotá — Noviembre

Curso sobre Reactores del Futuro
Bogotá — Noviembre

Reunión de Socioeconomía de la Ciencia
Bogotá — Noviembre

* Mayor información referente a los eventos se puede obtener en la Secretaría del Centro, Apartado Aéreo 49490 Bogotá, Teléfono 269 2789. 49490

naturaleza educación y ciencia

ISSN 0120-4343

Revista semestral de divulgación científica y orientación didáctica. Registro 004685 de 1983. Publicada por la Fundación Educación y Ciencia con la colaboración de la Universidad Nacional de Colombia.

Los conceptos emitidos en el editorial corresponden a la opinión del Comité Editorial y no constituyen posición oficial de la Universidad Nacional de Colombia. Del contenido de los artículos son exclusivamente responsables sus autores.

Director

Paul Bromberg

Comité Editorial

José Granés	Luis A. Briceño
Clara Camargo	Dino Segura
Jesús H. Pérez	Julián Betancourt
Jorge Charum	Paul Bromberg
José L. Villaveces	Antanas Mockus
Eduardo Zalamea	Jaime Ramírez

Representantes en otras ciudades:

Cali: Pedro Prieto; Bucaramanga: Rafael Isaacs, Luis Rodríguez; Medellín: Rodrigo Covalada, Yolanda Beltrán, Regino Martínez, Orlando Mesa; Manizales: Daniel Alberto Arias; Pereira: Diego López; Armenia: Diego Pareja; Florencia: Emiro Madero; Barranquilla: Antonio Martínez; Montería: Armando Potes; Pamplona y Cúcuta: James Velasco; Neiva: Alvaro Avendaño; Sincelejo: Carmen Payares; Sogamoso: Lucía Avila.

Dirección:

Universidad Nacional, Edificio de Matemáticas y Física, Of. 348, Teléfono: 2442874

Dirección Postal:

Apartado Aéreo 101332

Diseño de Carátula:

Carlos Roa

Caricaturas:

Fernando Fernández
Germán Fernández
Jairo Peláez (Jarafe)

Composición, Diagramación y Armada

Artextos Ltda.
Yezid Merchán G.
Tels. 2848009 - 2848125
Bogotá

Editorial

PRESENTACION DEL COMITE EDITORIAL

Constituyó una sorpresa para los responsables de esta revista descubrir cómo la dificultad fundamental para publicarla no residía en los costos de los procesos técnicos, sino principalmente en la connotación de trabajo de aficionados que adquirió una labor cuya ejecución dependió del "tiempo libre" del grupo que lo llevaba a cabo. La reflexión sobre este punto, y los trámites para resolver la dificultad pueden señalarse como los responsables de los dos largos años que median entre los números 3 y 4.

A partir de este número la revista se edita contando con el apoyo institucional de la Universidad Nacional. Esta, como reflejo de la importancia que otorga a los programas de extensión, considera ahora la dirección de la revista como trabajo académico para efectos laborales.

El convenio suscrito con este fin facilitará la edición de dos números anuales. No se modifica el carácter de la revista, ni la composición del comité editorial, ni tampoco la concepción general sobre la divulgación de las ciencias, sobre los cuales el comité editorial mantiene un consenso, aunque del contenido de los artículos son responsables sus autores cuando no se aclare lo contrario.

Así, la revista tiene, como hasta ahora siempre ha sido, sus páginas abiertas a todos aquellos que deseen enviar sus colaboraciones y opiniones, las cuales el comité editorial analizará bajo consideraciones de calidad e interés.

Esperamos, contando ante todo con la receptividad crítica de nuestros lectores, el interés de nuestros colaboradores actuales y futuros y el apoyo de la Universidad Nacional, poder mantener la periodicidad semestral que nos hemos propuesto.

Comité Editorial

NUESTRA PORTADA

En una entrevista imaginaria, el profesor Regino Martínez pone a hablar al ingeniero Julio Garavito Armero (1865-1920) a través de sus escritos. En ellos vemos a un científico idóneo inscrito en corrientes epistemológicas que a la postre fueron vencidas en un período de grandes cambios y perseverando en sus ideas cuando ya el nuevo paradigma —la física moderna— había adquirido un prestigio imbatible.

PRESENTACION DEL RECTOR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL

Con este número la Revista NATURALEZA Educación y Ciencia comienza una nueva época. Característica central de esta etapa es una vinculación más estrecha a la Universidad Nacional.

Esta tarea de difusión, acometida por un grupo de profesores universitarios del área de las Ciencias Naturales hace ya cinco años, ha sido vista con creciente interés por la comunidad. Cuando decidieron conformar una Fundación, la Universidad encontró la vía jurídica más apropiada para apoyarla.

La divulgación de la ciencia, la discusión de su presencia en la cultura y el debate razonado acerca de la influencia que ella tiene en el pensamiento contemporáneo, son los temas centrales que acoge esta Revista. Por tanto, nada más acorde con las metas que tiene la Universidad como institución nacional que darle su más cálido respaldo.

Al difundirse en forma rigurosa y sencilla esta temática a un público amplio, se está dando cumplimiento a uno de los objetivos universitarios de mayor envergadura.

MARCO PALACIOS

Rector

Universidad Nacional de Colombia

Ciudad Universitaria, julio de 1986



Esta publicación ha sido realizada con el patrocinio del Fondo Colombiano de Investigaciones Científicas y Proyectos Especiales "Francisco José de Caldas"

COLCIENCIAS

establecimiento público adscrito al Ministerio de Educación Nacional cuyo objetivo principal es impulsar el desarrollo científico y tecnológico de Colombia.

Dirección: Universidad Nacional, Edificio de Matemáticas y Física, Primer Piso, Bogotá, D. E.
Dirección Postal: Apartado Aéreo 101332 Bogotá
Teléfono 2442874

Índice

1	Presentación del Comité Editorial	
2	Presentación del Rector de la Universidad Nacional de Colombia	
5	A manera de editorial: La divulgación científica y la apropiación cultural de las ciencias	José Granés Paul Bromberg
15	El pensamiento físico y epistemológico de Garavito	Regino Martínez Ch.
27	Cuatro ideas sobre la enseñanza de las ciencias	J.M. Gutiérrez-Vázquez
33	Una alternativa para la enseñanza de las ciencias: la comprensión	Dino Segura
41	Hacer matemáticas	Francisco Hernán
49	El paso de lo finito a lo infinito	Carlo Federici C.
57	¿Qué es la teoría general de sistemas?	Rafael Bautista
65	Del mundo del "más o menos" al universo de la precisión	Alexandre Koyré



**FONDO PARA LA PROTECCION
DEL MEDIO AMBIENTE
"JOSE CELESTINO MUTIS"
—FEN COLOMBIA—**

El FONDO PARA LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE "JOSE CELESTINO MUTIS" FEN COLOMBIA, es una entidad autónoma, sin ánimo de lucro, creada y respaldada por la FINANCIERA ELECTRICA NACIONAL S.A., cuyo objetivo primordial es auspiciar, promocionar y divulgar mediante su edición, proyectos, obras e investigaciones que por su valor científico, artístico, tecnológico o cultural contribuyan a la promoción de la defensa de los recursos naturales y del medio ambiente.

El Comité Directivo, máxima autoridad del FONDO FEN COLOMBIA es elegido por la Junta Directiva de la Financiera Eléctrica Nacional S.A.

En procura de su objetivo el FONDO FEN COLOMBIA realiza fundamentalmente tres actividades: la organización anual de un concurso ecológico, la edición de libros y otras publicaciones de divulgación científica y la financiación de investigaciones.

CONCURSO ECOLOGICO: El FONDO FEN COLOMBIA creó un premio anual para estimular la realización de trabajos e investigaciones que contribuyan a la defensa del medio ambiente y la ecología. El premio lleva el nombre de ENRIQUE PEREZ ARBELAEZ, para honrar la memoria de este destacado investigador, padre de la ecología colombiana y fundador del Jardín Botánico de Bogotá. En 1985 se realizó con mucho éxito el primer concurso. Se recibieron 53 trabajos que abarcaron temas referentes a: biología marina y pesquera, agricultura, botánica, contaminación de aguas, climatología, energía, fauna y flora.

Ante esta variedad de trabajos el Jurado, designado por el Comité Directivo del FONDO FEN COLOMBIA e integrado por los doctores Armando Samper Gnecco, Daniel Mesa Bernal y Hernando Valencia Coelkel, realizó una cuidadosa tarea de evaluación y decidió dividir el premio único de \$1.500.000, entre dos trabajos de alta calidad científica como fueron:

ECOLOGIA DE LOS PARAMOS ANDINOS, de los señores J. Orlando Rangel Ch. y Helmut Sturm, y ECOLOGIA DESCRIPTIVA DE LAS LLANURAS MADREPORARIAS DEL PARQUE NACIONAL SUBMARINO LOS CORALES DEL ROSARIO (MAR CARIBE), COLOMBIA, del señor Alberto Ramírez González.

Además de los trabajos premiados, el Jurado destacó los presentados por los doctores: José A. Galvis; Aldo Brando León y Alvaro Ortiz; Jairo y Mauricio Valderrama Barco; Aurora Pachón Reyna y Joaquín Ortiz; Valencia; José Ignacio Borrero y Henry Von Prael; Luis Eduardo Mora Osejo; Rafael Negret; Carmen Parada Ruffinatti y Juan Pinto; Luis Fernando Sánchez Rubio; Arturo Acero y Jaime Garzón; y Saúl Castro, así como un trabajo sobre la Zonificación Agroecológica de Colombia, que han venido adelantando durante largos años el IGAC y el ICA.

Teniendo en cuenta la conveniencia de alternar el premio, y en razón a que en el año de 1985 el concurso premio los mejores trabajos de "Investigación científica relativa a la conservación de los recursos naturales y del medio ambiente", en el año de 1986, el segundo concurso se convoca para seleccionar el mejor trabajo de "Divulgación, conservación y recuperación de los recursos naturales renovables y del medio ambiente".

EDICION DE LIBROS: En desarrollo de otra de sus importantes actividades, el FONDO FEN COLOMBIA editó el libro COLOMBIA, CORALES Y ARRECIFES CORALINOS que entregamos no sólo a la comunidad científica y académica, sino al país entero, que, con la expectativa de los iniciados, espera obras que lo guíen en el conocimiento y defensa de sus recursos naturales.

Este libro, de los doctores Henry Von Prael y Harry Erhardt, de la Universidad del Valle, como se dice en su presentación: "Establece un puente más entre la necesidad de crear conciencia sobre la defensa y conservación de nuestro medio ambiente y la posibilidad del conocimiento científico y la divulgación que hagan viable esta tarea".

El libro COLOMBIA, CORALES Y ARRECIFES CORALINOS es ya la tercera publicación del Fondo para la Protección del Medio Ambiente "José Celestino Mutis" FEN COLOMBIA. Lo han antecedido COLOMBIA ES, que recoge una visión artística de Marta Granados sobre los valores y la naturaleza del país, acompañada de textos de ilustres intelectuales, y COLOMBIA PARQUES NACIONALES, con resultados de la tarea que realizan los científicos y técnicos del Inderena sobre tales santuarios ecológicos.

En el primer trimestre del presente año de 1986 el FONDO FEN COLOMBIA se encuentra comprometido en las siguientes ediciones:

- a) Segunda Edición del libro COLOMBIA PARQUES NACIONALES
- b) ECOLOGIA DESCRIPTIVA DE LAS LLANURAS MADREPORARIAS DEL PARQUE NACIONAL SUBMARINO LOS CORALES DEL ROSARIO (MAR CARIBE), COLOMBIA, del señor Alberto Ramírez González y colaboradores.
- c) ECOLOGIA PARA PROFANOS, del doctor José A. Galvis.
- d) FORAMINIFEROS BENTONICOS RECIENTES DE ISLA BARU, de los doctores Carmen Parada Ruffinatti y Juan Pinto.
- e) RELATO ECOLOGICO, con textos seleccionados de los trabajos presentados por los niños y jóvenes que participaron en el concurso del mismo nombre organizado por el Inderena en 1985.

También en el presente año el FONDO FEN COLOMBIA aportará recursos para la edición de diversos documentos atinentes a la protección del medio ambiente y presentados por entidades públicas y privadas.

FINANCIACION DE INVESTIGACIONES: En desarrollo de su tercer programa, FEN COLOMBIA convocó en 1985 a los investigadores en el campo de la ecología y el medio ambiente para que presentaran proyectos de investigación con miras a obtener recursos para su pronta realización. De 30 proyectos presentados el Comité Evaluador recomendó prestar ayuda financiera a 10, los que, además de distinguirse por su interés científico y solidez metodológica, poseen temática que se identifica con los objetivos del FONDO FEN COLOMBIA.

De esta manera se va expresando el espíritu que guía la existencia del FONDO FEN COLOMBIA, entidad dedicada a una actividad de amplia cobertura social, como lo es la defensa del medio ambiente y de la ecología.

FONDO PARA LA PROTECCION DEL MEDIO AMBIENTE "JOSE CELESTINO MUTIS"
Calle 71A No. 6-30 Piso 15 Teléfono 249 1667 Bogotá

José Granés
Paul Bromberg

A manera de editorial:

La divulgación científica y la apropiación cultural de las ciencias*

Los agentes de la divulgación científica no pueden considerarse como transmisores neutrales de conocimiento. A través de su actividad transmiten, muchas veces de manera no totalmente consciente, determinadas imágenes de la ciencia que condicionan actitudes hacia la práctica y el papel de las ciencias en el mundo de hoy. Orientan, por lo tanto, procesos de apropiación cultural de las ciencias.

La divulgación científica, tal como la entendemos en esta revista, constituye una forma particular de mediación cultural. Tendería a cultivar, en determinado medio, una mayor receptividad hacia las ciencias y a ofrecer posibilidades para una apropiación más integral y comprehensiva de ciertos aspectos de la misma.

I. — IMPACTO CULTURAL DE LA CIENCIA

Para apreciar el centralísimo lugar que ocupa la ciencia en el mundo de hoy bastaría comparar cifras actuales sobre, por ejemplo, publicaciones especializadas, personas dedicadas a la actividad científica, dinero destinado a la investigación por el estado y los particulares, con los guarismos correspondientes del siglo pasado. Lo que aquí nos interesa es, sin embargo, explorar la incidencia cultural de la ciencia y de la tecnología y las actitudes frente a ellas que de ahí se derivan.

Existe una gran diferencia entre Lucrecio a comienzos de nuestra era —quien en su poema *La naturaleza de las cosas* dice:

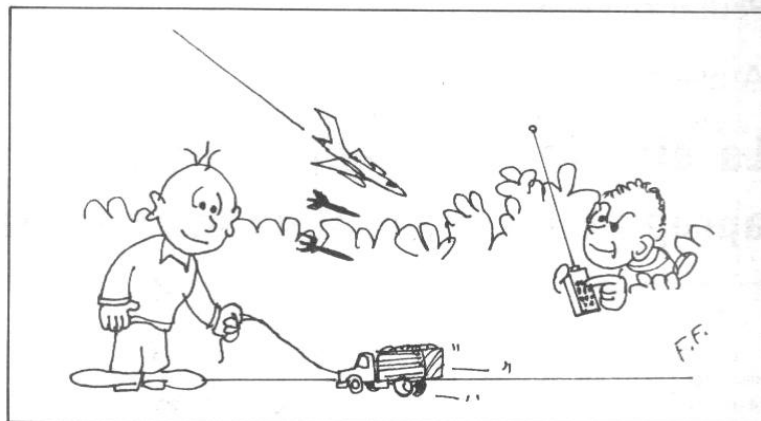
“Un principio sustenta toda la urdimbre:
ninguna cosa se engendra de la nada
por acción divina,
aunque reprime a todos los mortales
el miedo de manera que se inclinan
a creer producidas por los dioses
muchas cosas del cielo y de la Tierra,
por no llegar a comprender sus causas. . . .”

— y los siglos XVIII y XIX durante los cuales efectivamente las ciencias cumplieron un importantísimo papel como puntales de concepciones iluministas que impulsaban el conocimiento racional y que ayudaron a disolver supersticiones y prejuicios¹. No obstante es quizás aún mayor el abismo que separa el siglo pasado del actual en lo que se refiere al avance y la incidencia del conocimiento de la naturaleza. El formidable desarrollo tecnológico del último siglo —de dimensiones tan grandes comparado con el conseguido entre los griegos y el siglo XVIII, que Kant no podía movilizarse más rápidamente de lo que lo hizo Aristóteles— abre en particular la *posibilidad* real de superar los enor-

* Con ligeras modificaciones, éste es el texto de la ponencia presentada por los autores al Primer Seminario Taller sobre Popularización de la Ciencia y la Tecnología en América Latina que se llevó a cabo en Cali, del 17 al 21 de junio de 1985. Se publica aquí “a manera de editorial” por reflejar en esencia la opinión del comité responsable de esta revista respecto a la labor de divulgación científica.

José Granés
Profesor del Dpto. de Física
Universidad Nacional
Bogotá

Paul Bromberg
Profesor del Dpto. de Física
Universidad Nacional
Bogotá



mes problemas de miseria que aquejan aún hoy a una parte significativa de la humanidad. Esta posibilidad generó ilusiones que la ciencia por sí sola no estaba en capacidad de colmar. De hecho, durante el presente siglo la desigualdad de riquezas entre las naciones y en el interior de cada una de ellas se incrementó en lugar de disminuir, con la ayuda de las ciencias; es más, los recursos disponibles en la Tierra no alcanzarían si todos sus habitantes tuvieran el nivel de desarrollo y desperdicio de la sociedad tecnológicamente más avanzada. El desarrollo contemporáneo de la ciencia y la tecnología ha hecho surgir la angustiosa paradoja de un mundo que ha llegado a un grado insospechado de conocimiento y dominio de la naturaleza y que, sin embargo, no ha resuelto los factores ancestrales de la pobreza.

La existencia de esta paradoja no niega sin embargo lo que posiblemente constituye el hecho cultural más notable de nuestra época: el enorme despliegue de la tecnología, la cual tiende a involucrarse en áreas cada vez más diversas de la actividad humana. En la esfera de la producción, la tecnología, fundamentada hoy en día por los resultados, los métodos y las formas de racionalidad de las ciencias naturales, es de manera creciente el factor determinante. También en la vida extralaboral el hombre se ve obligado a entrar en contacto con productos, dispositivos y procedimientos que involucran tecnologías avanzadas cuyos principios en general no comprende pero cuya eficacia y poder constata a diario. Las relaciones interpersonales, los procesos de comunicación y las formas de reproducción cultural tampoco han permanecido ajenas al embate del despliegue tecnológico. Estas actividades no sólo se han visto afectadas por los medios empleados en su realización sino principalmente por los intentos de estructurarlas y regularlas según pautas y principios de la tecnología.

Paralelamente a este despliegue de lo tecnológico y en parte como un efecto del mismo se da una incidencia cultural creciente de las ciencias a través de la enseñanza, de la difusión masiva de resultados y avances de la investigación científica y de la propagación, muchas veces implícita, de concepciones e imágenes de la ciencia.

La diversidad de los ámbitos de influencia de la tecnología y de las ciencias y sus enormes efectos culturales hacen inevitable para cualquier persona una determinada apropiación cultural de las ciencias. Con frecuencia esta apropiación se reduce a la conformación más o menos espontánea y con grados muy variables de conciencia de una imagen de la ciencia que determina la actitud del individuo con relación a la ciencia misma y al conocimiento². Enumeraremos algunas de las manifestaciones más relevantes en el terreno de la cultura de estos dos procesos interrelacionados, a saber, el

¹ Recordemos cómo incluso en nuestro país la Expedición Botánica en el siglo XVIII y comienzos del XIX constituyó no solamente una gran empresa de carácter científico sino también la expresión y el punto de partida de grandes procesos de renovación cultural y política. A través de ella se difundieron nuevas ideas, una nueva racionalidad y una nueva actitud —fundamentalmente crítica— frente a la tradición.

² Yehuda Elkana ha insistido en la importancia de las imágenes de la ciencia y del conocimiento como formas de apropiación cultural del conocimiento científico. Estas imágenes son "perspectivas sobre el conocimiento socialmente determinadas" y que condicionan a su vez aspectos tales como la jerarquización de las fuentes legítimas del conocimiento (como pueden ser la razón, la observación, la experimentación, la revelación, la autoridad, la armonía, la tradición, etc.,), la audiencia o el público al cual va dirigido el conocimiento, la relación del conocimiento con normas, valores o ideologías predominantes. Véase: Y. Elkana: *La ciencia como sistema cultural: una aproximación antropológica*. Boletín de la Sociedad Colombiana de Epistemología, Vol. III, 10-11, En-Dic, 1983.

auge tecnológico y la difusión de una cierta imagen de la ciencia, fuertemente extendida.

- Como efecto del enorme poder de la tecnología, toda actividad humana tiende a concebirse como susceptible de ser organizada desde una perspectiva tecnológica. La "tecnología educativa" constituye un ejemplo en el área de la educación. Se basa en un diseño previo y detallado de todas las actividades del proceso educativo con miras al logro de objetivos generales y específicos fijados de antemano.
- La verdad de la ciencia tiende a ser considerada como una verdad absoluta. Incluso cuando se están manejando generalizaciones empíricas dudosas o hipótesis generales atrevidas, las aserciones de las ciencias no suelen entenderse como "verdades" que discuten con otras "verdades", que se contradicen entre sí y cuyos partidarios se esfuerzan por aportar pruebas para fundamentarlas. Podría decirse que las palabras "está científicamente demostrado" son ahora las palabras mágicas.
- Existe una imagen muy difundida según la cual los miembros de la comunidad científica están motivados exclusivamente por la búsqueda de la "verdad". El formato frío en el que se presentan los resultados de la investigación no muestra al público lo que ocurre entre bambalinas: lealtad a la tradición, imposición de la autoridad, respeto a ídolos establecidos, preocupación por el prestigio personal, mentirillas piadosas y no tan piadosas en las publicaciones, prejuicios ideológicos, presiones económicas, celos profesionales, etc., son consideraciones presentes en la actividad propiamente investigativa, pues ésta es una actividad social más.
- En la civilización del auge tecnológico, las afirmaciones de la ciencia se valoran no solamente por los vínculos racionales que guardan con los sistemas teóricos y con



los métodos de las disciplinas científicas, sino que tienden a ser comprendidas pragmáticamente, al privilegiarse el éxito en la producción de resultados útiles como criterio de verdad.

³ Vale la pena recordar cómo la ilusión del "método científico", es decir, de una serie de procedimientos bien definidos que permitan de manera sistemática y segura llegar a las verdades de la ciencia, ha estado presente desde el nacimiento mismo de la ciencia moderna. Francis Bacon vincula la idea del "método científico" a la democratización de la ciencia. "Es tal nuestro método de descubrimientos científicos que no deja gran cosa a la penetración y al vigor de las inteligencias, antes bien las hace a todas aproximadamente iguales. Para trazar una línea recta o describir un círculo perfecto, la seguridad de la mano y el ejercicio entran por mucho en ello, si nos servimos de la mano sola; pero son de poca o ninguna importancia si empleamos la regla o el compás: así ocurre en nuestro método". F. Bacon, *Novum Organum*, Ed. Porrúa, México, 1975, p. 48.

⁴ Thomas S. Kuhn ha desarrollado esta idea mostrando cómo la presentación ahistórica de la ciencia en muchos libros de texto obedece a una finalidad, la de "socializar" en la forma más rápida y eficaz posible al estudiante en el paradigma vigente presentándolo en el máximo grado de articulación y coherencia. La concepción realista —es decir, la idea de que la realidad es tal como la presenta el paradigma— que de esta manera se transmite implícitamente, cumple también una función en la formación del futuro hombre de ciencia. En efecto, un realismo fuertemente interiorizado constituye un punto de apoyo muy importante en el esfuerzo de investigación en los períodos de ciencia normal. Sin embargo, cuando la socialización es incompleta, es decir cuando la enseñanza de las ciencias no se orienta a formar profesionales en esa área, el resultado que finalmente interioriza el estudiante es por lo general una imagen ahistórica y absolutista de la ciencia. Ver T. S. Kuhn, *La estructura de las revoluciones científicas*, Breviarios FCE, México, 1971.

- Se suele considerar que sólo la ciencia constituye un acercamiento válido a la realidad. Otros acercamientos provenientes de tradiciones culturalmente decantadas pero carentes del respaldo de las ciencias tenderían a ser considerados como ilegítimos. Hoy en día, advirtámoslo, el papel cultural de las ciencias no es el mismo que jugó en la época de la ilustración. En algunas instancias la ciencia tiende a ser utilizada ideológicamente, presentándola no tanto como actividad crítico-racional sino como fuente de verdades absolutas e incuestionables. La ciencia ha devenido el nuevo dogma de nuestro tiempo. Esta actitud científicista, propiciada por algunas imágenes muy difundidas de la ciencia la ha conducido a invadir —arrasando en ocasiones— otros campos de la cultura.

- La apropiación cultural de las ciencias es a menudo fragmentaria y pragmática. Se da a nivel de resultados aislados que se valoran por su utilidad pero que por sí solos no permiten acceder a los principios de las ciencias ni tampoco a sus formas de racionalidad. Paradójicamente este tipo de apropiación de la ciencia favorece la formación de imágenes irracionales de la misma que acentúan su poder de dominio sobre la naturaleza pero ignoran los límites del conocimiento particular de cada ciencia y las formas concretas del mismo.

Las manifestaciones que acabamos de señalar hacen referencia a fenómenos culturales de índole general ampliamente extendidos. Más específicamente en las instancias de la educación formal la repercusión cultural del auge científico-tecnológico tiene otras formas de expresión:

- El mito de la existencia de un "método científico" que, en el sistema formal de educación, ha llegado muchas veces a intentar convertir el acercamiento a la realidad en un recetario "a prueba de raciocinio". Extrañamente resultó que el método científico es lo que permite "descubrir sin pensar"; tan sólo se requiere seguir un procedimiento³.
- Las formas usuales de enseñanza de las ciencias suelen presentar los principios y postulados como verdades más o menos evidentes cuyos orígenes y limitaciones no son objeto de una tematización explícita. De esta manera no sólo se ocultan los procesos reales en la constitución del conocimiento científico sino que implícitamente se transmite una determinada imagen de la ciencia según la cual sus verdades son el fruto inamovible de un proceso continuo de desarrollo progresivo⁴. En el peor de los casos la ciencia deja de ser pensada como un proceso racional cuidadoso y coherente de apropiación de la realidad para convertirse en un conjunto de recetas y conclusiones inmutables.

Conviene preguntar finalmente cuál es la influencia de la intelectualidad y de las instituciones vinculadas a la producción y a la formación científica sobre todos estos procesos de apropiación cultural de las ciencias y sobre las manifestaciones que hemos señalado. Podría decirse que su influencia se da principalmente en el sistema formal de educación a través de la enseñanza, de los libros de texto y de las revistas, libros y otros materiales de divulgación. Por fuera del canal de la educación formal la incidencia de la intelectualidad vinculada al trabajo en ciencias es probablemente mucho menor. Las imágenes de la ciencia ampliamente difundidas obedecen más a procesos de conformación espontáneos en los cuales juegan un papel muy importante la publicidad, las noticias periodísticas sobre ciencias, la penetración de la tecnología moderna en la vida cotidiana y los programas televisivos que incluyen elementos de ciencia-ficción.

II. — ALGUNOS RASGOS ESPECIFICOS QUE AFECTAN LOS PROCESOS DE APROPIACION CULTURAL DE LAS CIENCIAS EN PAISES COMO EL NUESTRO

Algunas de las manifestaciones culturales del impacto científico-tecnológico que hemos enumerado en la sección anterior adquieren connotaciones particulares en países como Colombia debido al atraso en materia de ciencia y tecnología y a las relaciones de dependencia que de ahí se derivan.

En particular, el contraste entre el contexto cultural de base y los elementos provenientes de las ciencias y de la tecnología es mayor en estos países que en países desarrollados. Para ilustrar este aspecto bastaría observar cómo en países industrializados los jóvenes desde temprana edad no sólo tienen una mayor familiaridad en el manejo de dispositivos que involucran tecnologías avanzadas sino que suelen también adquirir destreza en técnicas que los acercan a la lógica de aquellas tecnologías. Por contraste, en nuestro país un estudiante de ciencias, para citar un caso privilegiado, puede llegar a tener su primer contacto con un voltímetro a los veinte años de edad. Es posible entender, tomando tan sólo en cuenta este aspecto particular, cómo la ciencia y la tecnología tienen en aquellos países un arraigo mucho mayor en la cultura de base⁵. Este contraste que estamos señalando se manifiesta a nivel de los contenidos mismos de los elementos provenientes de las ciencias y la tecnología y a nivel de las formas de racionalidad. A este respecto, la inhomogeneidad entre el contexto cultural y los criterios de racionalidad propios de las ciencias puede facilitar formas de incorporación particularmente irracionales⁶. Puede llegarse incluso a la fetichización de la ciencia, a concebirla no como una forma de apropiación cultural de la realidad sino como un poder mágico⁷.

Si bien estas formas culturales de apropiación de las ciencias son en gran medida un efecto del atraso, se constituyen también en un obstáculo para el desarrollo científico y tecnológico del país. Este desarrollo, en efecto, no requiere sólo el apoyo económico e institucional sino que depende también de ciertos cambios en el contexto cultural⁸. Un motor de la investigación es su interacción intensa con la cultura. De ahí la importancia, no siempre suficientemente comprendida, de emprender acciones que amplíen

⁵ Esto no significa que en los países industrializados no se dé también en un alto grado una valorización irracional de la ciencia. Una asimilación racional de las ciencias depende tanto del grado y de las formas de compenetración de la ciencia con la cultura de base como de la historia y de la tradición de esa cultura. En todo caso, creemos que este terreno no ha sido suficientemente estudiado.

⁶ Este contraste ha sido expresado de manera terminante por Gabriel Restrepo: En Colombia "la sociedad civil y la sociedad política tienen en poca estima el valor y la ideología de la ciencia. Una revisión de prensa puede indicar que la divulgación científica y el afán de saber ocupan un puesto secundario, y lo que a veces pasa por tal abunda en ingenuidades cuando no es mera aproximación a las llamadas "ciencias ocultas". No por azar nuestra novelística más universal expresa el dominio de la magia y el imperio de la fatalidad en una comunidad presocrática donde el conocimiento no sirve para nada". Ver: Gabriel Restrepo: *El análisis de la tradición cultural*, en: Revista Naturaleza No. 3.

⁷ Conviene advertir que estas observaciones se aplican a los sectores de la población que de alguna manera incorporan culturalmente elementos de la ciencia y la tecnología. No hay que olvidar que en países como el nuestro aún existe en general una brecha cultural muy grande entre los sectores urbanos y sectores agrarios marginados de casi todo contacto con elementos de la cultura universal y con los productos y resultados de la tecnología moderna y de la ciencia.





8 En relación al desarrollo científico y tecnológico del país es frecuente encontrar posiciones demasiado pragmáticas e inmediatistas tanto en el terreno de la producción como en el de la educación. Una manifestación bastante usual en la educación es la reducción de la formación en ciencias de los ingenieros y otros profesionales en áreas tecnológicas a aquello que resulte de utilidad práctica en la producción. A veces se llega al extremo de dar cursos de ciencias que renunciando a la exposición lógica y coherente de teorías se reducen a recetarios de fórmulas útiles. En estas posiciones se evidencia una total incompreensión de la estrecha interrelación entre las formas de racionalidad puestas en ejercicio en la tecnología moderna y las que son propias de las ciencias naturales. Véase al respecto el artículo de Antanas Mockus: *Ciencia, técnica y tecnología* en la Revista Naturaleza, No. 3. En lo que respecta a la producción se han manifestado en nuestro país posiciones que reconociendo la enorme brecha tecnológica que nos separa de los países industrializados proponen abandonar todo intento innovador en este terreno. Según esta línea de razonamiento, teñida como se ve de pragmatismo e inmediatismo, el país debería contentarse con importar tecnología necesaria para la producción de ciertos bienes de consumo y cultivar más bien su vocación agraria en lo que respecta a la producción y la humanística en cuanto a la cultura. Una controversia sobre el tema se encuentra en: Marcello Cini, Galileo Violini: *Motivaciones para una política científica*, Revista Naturaleza No. 3.

y enriquezcan las conexiones del conocimiento científico con otros ámbitos de la cultura.

El gran aislamiento de la intelectualidad y de las instituciones dedicadas a la producción y formación científicas en estos países es otro de los efectos del atraso que a su vez trae consecuencias funestas en el terreno cultural⁹. La actividad especializada de esta intelectualidad, que en los países desarrollados es valorada y estimulada, llega muchas veces a experimentarse en estos países como carente de sentido en el ámbito cultural de la nación y a reconocerse como relevante únicamente en el contexto de comunidades científicas internacionales.

III. — HACIA UN CONCEPTO DE DIVULGACION CIENTIFICA

Las formas deficientes de apropiación de las ciencias anotadas evidencian una ausencia de mediaciones culturales suficientemente arraigadas entre la ciencia y la cultura de base de los sectores que de alguna manera incorporan elementos de la misma. Así, tanto en lo que respecta a sus resultados como a sus formas de racionalidad, la ciencia aparece como un elemento esencialmente extraño al tejido de significaciones que constituye esa cultura de base. Los fragmentos que necesariamente son apropiados en razón del ineludible contacto con elementos de las ciencias y la tecnología en el mundo de hoy constituyen en realidad "incrustaciones"¹⁰ en ese tejido cultural, en la medida en que no existen las conexiones racionales y culturales que permitirían una real apropiación y asimilación de esos elementos.

La divulgación científica, tal como la entendemos en esta revista constituye una forma particular de mediación cultural. Tendería a cultivar, en determinado medio, una mayor receptividad hacia las ciencias y a ofrecer posibilidades para una apropiación más integral y comprehensiva de ciertos aspectos de la misma. Entendidas de esta manera, las actividades de divulgación científica deben tomar en consideración las características culturales de los sectores hacia los cuales se dirigen. Los maestros de educación primaria en determinada región, los científicos en ramas de las ciencias distintas de la que se divulga, los escritores y humanistas, los estudiantes de ciencias, los técnicos, todos ellos, por ejemplo, poseen, en razón de sus distintas formaciones y prácticas específicas, diferentes receptividades y orientaciones hacia las ciencias que deben ser tomadas en cuenta en las actividades de divulgación conscientemente orientadas.

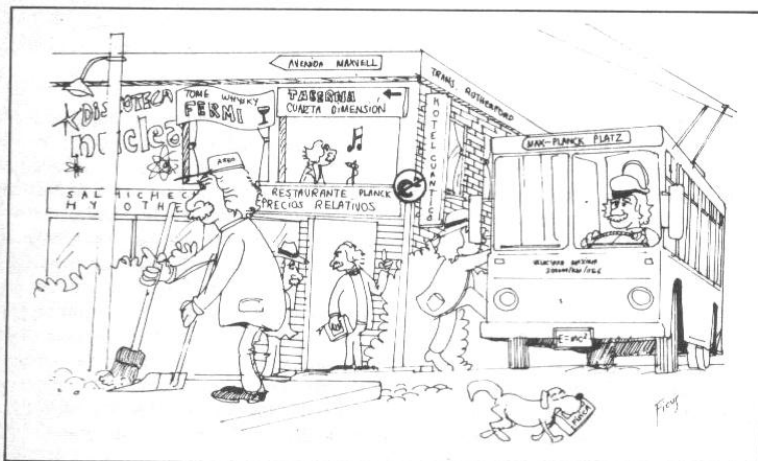
Ingenueamente la divulgación científica suele entenderse como una simple traducción a un "lenguaje popular" de resultados o teorías científicas formulados originalmente en lenguajes especializados. Supuestamente la divulgación, así entendida, constituiría una práctica neutral, carente de orientación específica, que tendría como único

objeto hacer accesible a un gran número de personas los resultados de la ciencia¹¹. En realidad, al igual que la enseñanza formal de las ciencias, toda actividad de divulgación científica constituye una recontextualización de algún aspecto del conocimiento o de la práctica científica. Es decir, se trata de una actividad que selecciona, reorienta, adapta, refunde un conocimiento específico, producido en el contexto particular de ciertas comunidades científicas con el fin de que tal conocimiento, así transformado, pueda ser apropiado dentro de un contexto distinto y con propósitos diferentes por una determinada comunidad cultural. Ni la enseñanza de las ciencias en los niveles inferiores o medios ni la divulgación científica reconstruyen los conocimientos de las ciencias con los significados, las relaciones intrínsecas, las formas de operación y las formulaciones que tales conocimientos poseen en el interior de las comunidades científicas especializadas. Sin embargo, la enseñanza de las ciencias —y en esto se diferencia de la divulgación— busca como uno de sus propósitos forjar un camino que, de recorrerse completamente, permitiría un eventual acceso al conocimiento especializado y a la práctica real de las comunidades científicas. La divulgación tiene propósitos distintos. Propicia un acercamiento de determinados "sujetos culturales" a distintos aspectos de la práctica científica buscando que estos aspectos —históricos, sociológicos, de impacto cultural y político, epistemológicos, conceptuales...— puedan ser objeto de una reflexión y de una apropiación racional dentro de los marcos culturales de los destinatarios.

De lo dicho anteriormente se desprende que, tal como ocurre con los maestros y con las demás personas que agencian los procesos de educación formal, tampoco los agentes de la divulgación científica pueden considerarse como simples transmisores neutrales de conocimientos. Su papel cultural es mucho más activo. Seleccionan lo que debe ser divulgado, determinan la forma que debe tomar la divulgación y a través de estas actividades transmiten, muchas veces de manera no totalmente consciente, determinadas imágenes de la ciencia que pueden condicionar actitudes hacia la práctica y el papel de las ciencias en el mundo de hoy. Orientan, por lo tanto, desde determinadas posiciones, procesos de apropiación cultural de las ciencias.

IV. — LA REVISTA NATURALEZA — EDUCACION Y CIENCIA

Son muchos y muy diversos los propósitos que animan a los divulgadores de la ciencia. Entre ellos enumeramos algunos de los más frecuentes:



⁹ Una manifestación reciente del aislamiento cultural de la comunidad científica en nuestro país fue su escasa participación en el proceso de reforma curricular de la enseñanza primaria impulsado por el gobierno. A excepción de contadas personas que actuaron fundamentalmente a título personal, las sociedades científicas, los departamentos de ciencias de las universidades y los centros de investigación estuvieron prácticamente ausentes tanto en la elaboración misma de los nuevos currículos como del proceso de crítica que se dio posteriormente. Dadas las enormes repercusiones culturales que puede conllevar una reforma como la que se adelanta, resulta preocupante pero también sintomático que el gobierno no haya intentado seriamente apoyarse en la comunidad científica para adelantar la reforma y que la comunidad científica no haya tomado por iniciativa propia cartas en el asunto.

¹⁰ El vocablo "incrustación" enfatiza el carácter abrupto y violento que adquiere la incorporación sobre todo en culturas como las que prevalecen en países como el nuestro. Lo incorporado no sólo con frecuencia no responde a necesidades previamente reconocidas, sino que es incorporado prescindiendo del cultivo previo de cierta receptividad. Los elementos incorporados permanecen relativamente "ajenos" y conservan su carácter aislado, incluso mucho tiempo después de su incorporación.

11 Muy agudamente Ernesto Sábato muestra en su escrito "Divulgación" la falacia que subyace a esta concepción de la divulgación científica como traducción. Transcribimos el texto de Sábato:

"Alguien me pide una explicación de la teoría de Einstein. Con mucho entusiasmo, le hablo de tensores y geodésicas tetradimensionales.

— No he entendido una sola palabra — me dice, estupefacto. Reflexiono unos instantes y luego, con menos entusiasmo, le doy una explicación menos técnica, conservando algunas geodésicas, pero haciendo intervenir aviaadores y disparos de revólver.

— Ya entiendo casi todo — me dice mi amigo, con bastante alegría—. Pero hay algo que todavía no entiendo: esas geodésicas, esas coordenadas...

Deprimido, me sumo en una larga concentración mental y termino por abandonar para siempre las geodésicas y las coordenadas; con verdadera ferocidad, me dedico exclusivamente a aviaadores que fuman mientras viajan con la velocidad de la luz, jefes de estación que disparan un revólver con la mano derecha y verifican tiempos con un cronómetro que tienen en la mano izquierda, trenes y campaneas.

— ¡Ahora sí, ahora entiendo la relatividad! — exclama mi amigo con alegría.

— Sí — le respondo amargamente —, pero ahora *no es más la relatividad*". E. Sábato, *Uno y el universo*, Ed. Seix Barral, Barcelona, 1981, p. 42.

- "Dar a conocer la ciencia al ciudadano ordinario" (John Ziman, *La fuerza del conocimiento*).
- Explicar al gran público (en algunos países, "a los contribuyentes, a los electores") dónde y por qué se invierten recursos para la investigación científica, o buscar mayor apoyo económico a través de la comprensión general.
- Buscar vocaciones entre las gentes jóvenes.
- "En nuestra era la experiencia de la ciencia es algo que nos afecta a todos. Nosotros los científicos tenemos la obligación crucial de describirla lo mejor que podamos". (Jeremy Bernstein, *Experiencing Science*).
- Enfrentar supersticiones dando a conocer explicaciones racionales de los fenómenos.
- Conseguir en un sector de la población no relacionado con la investigación o la enseñanza de las ciencias el goce del conocimiento y de la racionalidad que produce la explicación científica (Muchas personas "... se privan alegremente de vastos placeres intelectuales de la ciencia como si fuesen patrimonio sólo de mentes privilegiadas", J. Bronowski, *El sentido común de la ciencia*).
- Dar a conocer a otros científicos resultados y métodos de especialistas en campos distintos a los suyos (Scientific American).
- Apoyar la educación formal con lecturas complementarias que amplíen los horizontes de los educandos.
- Acercar al ciudadano común a una explicación de ciertas tecnologías modernas (y en algunas ocasiones ofrecérselas en venta).

Bajo estas diferentes motivaciones y con orientaciones forzosamente distintas, los que se proponen realizar labores de divulgación científica se encuentran, todos ellos, embarcados en una empresa cultural. Ahora bien, la incidencia social de toda empresa cultural que pretenda afectar un tejido denso de significados ya consolidados es por fuerza limitada. Por otra parte, en países como Colombia las urgentes presiones por la superación de las necesidades materiales no permiten que se aprecie con suficiente claridad la importancia que en el mediano plano tienen este tipo de empresas. A la luz de estos hechos cualquier intento de realizar el balance de una empresa cultural es problemático. Nos abstendremos de hacerlo en el caso de la revista NATURALEZA, limitándonos a presentar aquí las líneas generales de la orientación que hemos querido imprimirle.

Intentamos, en nuestra revista, prestar atención a la conexión estrecha de la ciencia con aspectos de la cultura, mostrándola como una actividad que contribuye a la configuración de concepciones del mundo y a la vez, de alguna manera, es condicionada por esas concepciones. Nos interesa mostrar la ciencia en su dinámica histórica de desarrollo, tematizar sus relaciones con la tecnología y explorar en general las formas mediante las cuales se ejerce su impacto sobre la sociedad. Intentamos divulgar una imagen de la ciencia contrapuesta a la visión, frecuente en ciertos libros de texto de enseñanza media y en los estratos inferior y medio de la educación formal, que muestra la ciencia como acumulación de verdades que se hacen pasar por obvias y que triunfan gracias a su evidencia indiscutible. Esta visión viene aparejada con estilos de enseñanza de la ciencia que la presentan como conocimiento acabado, limpio de juicios de valor, incuestionado, sin historia. Termina siendo impuesta como dogma, y no como una conquista del esfuerzo prolongado de la razón. En todos los niveles del sector educativo, desde el primario hasta el superior, tiene lugar, al decir de Feynman, una "gran tiranía intelectual en nombre de la ciencia".

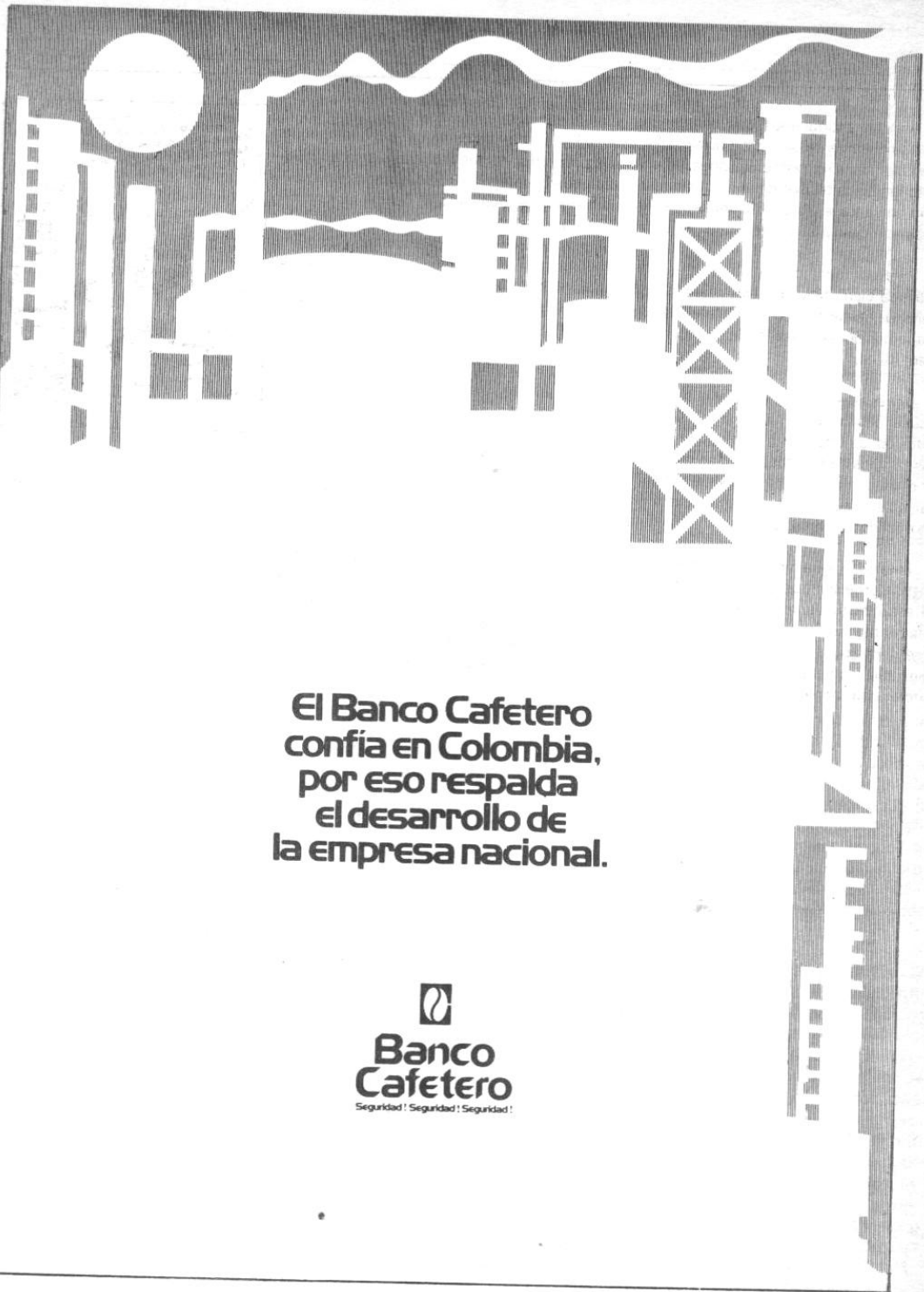
Aunque producimos una revista que puede despertar el interés del público culto —no precisamente del “gran público”—, está dirigida en lo fundamental a profesores de ciencias. No sólo porque a todos los niveles llegan con frecuencia a convertirse sin quererlo en los verdugos de la creatividad a nombre de la ciencia, sino porque, por su posición en la transmisión cultural, serían los más eficientes divulgadores de una imagen de la ciencia que la presente como parte de la cultura.

Para cumplir con su objetivo la revista intenta presentar diferentes facetas de la práctica científica, que estimulen el reconocimiento de las especificidades de su racionalidad, destacando su coherencia interna y sus órbitas de validez, así como el reconocimiento de la riqueza de conexiones racionales y culturales de los conocimientos científicos.

No es una revista de historia de las ciencias, ni de filosofía de las ciencias, aunque se ocupa ocasionalmente de estos temas con el propósito justamente de contribuir a la difusión de una cierta imagen de la ciencia. Tampoco describe resultados recientes en los campos de la ciencia. Inclusive, si presenta “noticias” de lo que se ha constituido en el último grito de la “moda científica” (generalmente mal difundido por la gran prensa), lo hace en la medida que ilustra principios fundamentales y muestra la ciencia en movimiento y en ocasiones en reformulación.

Se busca igualmente con una revista de este tipo presentarle al maestro enfoques distintos de los que ofrecen los libros de texto que tradicionalmente repite y que para el estudiante, especialmente el joven, carecen de todo sentido. Cuando se revisan en efecto algunos libros de texto que ven los muchachos durante su bachillerato, surge la pregunta sobre las extrañas inclinaciones que deben tener quienes luego de pasar por algo tan insípido deciden voluntariamente y quizás contra la opinión de su familia, estudiar una carrera de ciencias. □





**El Banco Cafetero
confía en Colombia,
por eso respalda
el desarrollo de
la empresa nacional.**


**Banco
Cafetero**
Seguridad ! Seguridad ! Seguridad !

El pensamiento físico y epistemológico de Garavito

Las teorías físicas que surgieron a comienzos del siglo XX produjeron a la postre cambios radicales en la visión del mundo físico y en la manera de concebir el quehacer científico, dejando atrás teorías que se consideraban inamovibles. ¿Dónde se situó el ingeniero colombiano Julio Garavito Armero (1865 – 1920) dentro de la lucha de corrientes epistemológicas y científicas que pugnaban por imponer sus interpretaciones? He aquí su posición, expresada por él en una imaginaria entrevista a la cual responde con citas textuales de sus escritos. Con esta licencia cronológica y literaria espero contribuir a la difusión del pensamiento de uno de nuestros hombres de ciencia, muy mal conocido en Colombia.

» Garavito fue un genuino representante de las ciencias físicas, matemáticas y astronómicas a comienzo del presente siglo. Después de terminar los estudios de ingeniería, emprendió el estudio de las disciplinas señaladas llegando a ser un ilustre y perfecto autodidacta. Entre Caldas y Garavito media un siglo, como si la historia quisiera ilustrar la indignada sentencia que J.L. Lagrange pronunció al ser guillotinado el químico A. Lavoisier: "un instante fue necesario para hacer caer su cabeza, un siglo no será suficiente para producir una parecida".

También se interesó Garavito por la filosofía de las ciencias y esto lo llevó de lleno a preocuparse fundamentalmente por la problemática que planteaba la epistemología de la época: la esencia de la ciencia; la existencia y la posibilidad de la ciencia, sus objetivos y los métodos para alcanzarlos; la naturaleza de la realidad física de las leyes, principios, hipótesis y teorías físicas; la legitimidad de las geometrías no euclidianas; el *estatus* de la física newtoniana, el paradigma de la astronomía y finalmente, el *estatus* onto-

lógico del espacio y del tiempo. Se preocupó por las nuevas hipótesis y teorías de principio de siglo, la nueva ciencia y sobre todo la teoría de la relatividad.

El cúmulo de temas precedentes fue objeto de las reflexiones más sutiles por parte de Garavito. Esto originó un acervo de escritos y atisbos en el marco clásico, en medio del aislamiento y la indiferencia que caracterizaba nuestro ambiente cultural y científico de esa época. Las ideas y teorías de Garavito fueron difundidas por dos revistas científicas colombianas: *Anales de Ingeniería* (fundada en 1887) y la *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (fundada en 1937). En ellas también se publicaron notas de elogio —con justa razón— para los trabajos de Garavito; con una sola excepción, esas notas fueron orientadas a servir de vehículo antirrelativista y de difusor del positivismo científico en Colombia. Esta actividad militante retrógrada duró hasta finales de la mitad del presente siglo.

Regino Martínez-Chavanz
Profesor del Depto. de Física
Universidad de Antioquia

Sobre muchos de los problemas físicos de la actualidad de 1900 publicó Garavito las experiencias de Fizeau y Michelson-Morley, la teoría de la aberración astronómica, la dinámica del electrón, la existencia del éter luminoso, las geometrías no euclidianas y la teoría de la luna (ver recuadro).

Ahora el Dr. Garavito va a proporcionarnos las respuestas a un imaginario cuestionario que en tiempos remotos le presenté. Las respuestas anticipadas a esta entrevista-ficción post-mortem, las dejó Garavito en sus escritos; hélas aquí:

Regino Martínez Chavanz (R.M.Ch.): Dr. Garavito, me puede responder a la pregunta: ¿Qué es la ciencia?

Julio Garavito Armero (J.G.A.): Esta pregunta se la han hecho los principales pensadores de las diversas épocas sin que aún se tenga una respuesta definitiva de tal cuestión. La dificultad consiste en los diversos puntos de vista psicológicos en que se han colocado los filósofos. La palabra ciencia presenta dos aspectos diferentes: uno como símbolo de verdad incontrovertible; otro, como el conjunto ordenado de conocimientos, hipótesis y explicaciones más o menos verosímiles relativas a cualesquiera de las ramas de estudio. La primera de estas acepciones corres-

ponde a los conocimientos ya definitivamente establecidos; la segunda se aplica a la iniciación misma del estudio, y a las hipótesis o teorías provisionales referentes al ramo.

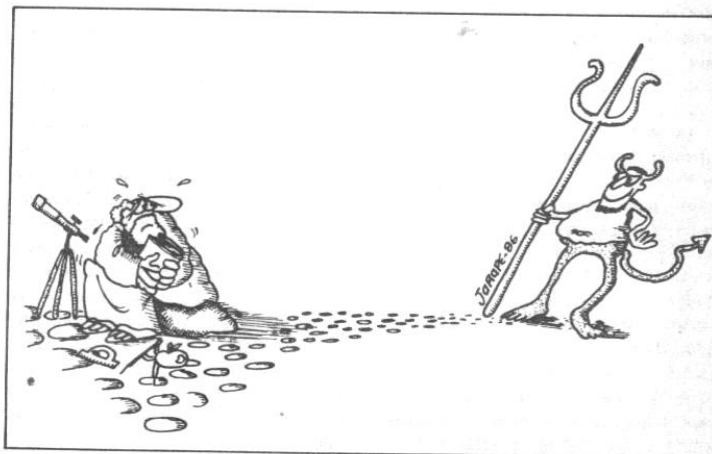
R.M.Ch.: ¿La "verdad" en su definición se relaciona con un realismo?

J.G.A.: El valor que se le confiere a la ciencia implica la aceptación del realismo; no del realismo vulgar o pueril sino del filosófico.

R.M.Ch.: No entiendo lo que Ud. quiere decir por realismo filosófico.

J.G.A.: He aquí un símil de este realismo. En matemáticas, en la teoría de las transformaciones de variables aparecen expresiones covariantes o invariantes, las cuales expresan las propiedades proyectivas o las propiedades métricas de las figuras, según sea la transformación homográfica o de movimiento. Así mismo, en el juego incesante de las percepciones por los diversos sentidos y en condiciones variables aparecen entidades, a la manera de invariantes, que nos revelan bajo forma abstracta las modalidades de la realidad externa. [1920].

R.M.Ch.: Usted menciona dos clases de ciencias... ¿a qué hipótesis aco-



modaticias o teorías provisionales¹ se refiere en una de sus definiciones?

J.G.A.: En todo tiempo la ciencia ha estado plagada de teorías erróneas, pero el número de éstas había venido disminuyendo desde el siglo XV hasta fines del siglo XVIII. Durante el siglo XIX el vehemente deseo de progreso multiplicó el número de los observadores y experimentadores de manera que

el acopio de datos fue inmenso (...). El estado actual de la física, en lo que respecta a la óptica y a la electricidad, está todavía al nivel de las leyes de Kepler y antes del de la gravitación. Los sabios que han intentado desempeñar en Física el papel que realizó Newton en Astronomía han fracasado, a nuestro juicio (...). Desgraciadamente los modernos investigadores al pretender salvar sus hipotéticas teorías, cuyos

PROBLEMAS FÍSICOS DE LA ACTUALIDAD DE 1900

A finales del siglo XIX se acumularon una serie de constructos, hipótesis y hechos experimentales que generaron una auténtica crisis en la Física. La solución del *impasse* dio origen a una ruptura con el pensamiento clásico y al nacimiento de nuevas teorías, entre ellas, la de la Relatividad. Resumamos los elementos de la crisis. Para la propagación de la luz, de la radiación calorífica y de las ondas electromagnéticas se imaginó la existencia de un medio o agente que se llamó éter, con propiedades extrañas a las de este mundo. Se llevó a cabo una serie de experiencias destinadas a poner en evidencia la existencia física del éter. Estas experiencias se basaban en la perturbación cinemática de los cuerpos móviles en el seno del éter. Tres experiencias típicas arrojaron resultados contradictorios: de la aberración astronómica (o sea, el cambio aparente de la posición de las estrellas debido al movimiento relativo de traslación de la Tierra) se concluyó que el éter debía permanecer inmóvil. La experiencia de Fizeau, en donde un rayo luminoso se propaga en un líquido en movimiento, mostró que el éter sería afectado parcialmente por el movimiento de los cuerpos. De la experiencia de Michelson-Morley (interacción de dos rayos luminosos, perpendiculares entre sí con trayectorias de ida y regreso) se concluyó que el éter era arrastrado totalmente por los cuerpos móviles o... que no existía... Estos resultados experimentales de hecho contradictorios ponían en entredicho la cinemática galileo-newtoniana y en tela de juicio los absolutos newtonianos (espacio, tiempo, simultaneidad, fuerza y masa). Los dos últimos absolutos fueron contrastados experimentalmente (Kauffmann): al estudiarse el movimiento de los electrones (rayos catódicos), se constató con ellos que la masa —y por ende la fuerza— varía con el movimiento. Kauffmann encontró que la masa del electrón aumentaba cuando su velocidad era cercana a la de la luz.

Otro tema que preocupó a Garavito fue la aparente violación de la conservación de la energía en el movimiento browniano, el cual consiste en la agitación constante de partículas muy pequeñas que se encuentran en suspensión en un líquido o gas. La explicación la dio Einstein en 1905 al concebir el movimiento browniano como la resultante del bombardeo de las moléculas (reales esta vez) de líquido sobre las partículas en suspensión.

La teoría ondulatoria de la aberración astronómica también fue analizada por el ingeniero Garavito. Hacia 1913 él elaboró una teoría de dicho fenómeno. Finalmente, el problema de la luna —calcular su movimiento con gran exactitud teniendo en cuenta la acción de la Tierra, del Sol y otras perturbaciones— fue atacado por Garavito. Aquí no se trataba de una crisis de la astronomía sino de una impotencia humana frente a la solución analítica, práctica y numérica de complicadas ecuaciones del movimiento lunar.

¹ Las hipótesis acomodaticias modernas, metafóricas y abusivas; y teorías provisionales ruinosas, a que se refiere Garavito son: el principio de Huygens en la propagación ondulatoria de la luz, el concepto de un éter absolutamente inmóvil, la variación de las medidas de longitud, tiempo y masa en los sistemas en movimiento; la cosmovisión cuadrimensional del universo, la teoría relativista y no euclidiana de la gravitación de Einstein. También alude Garavito a la teoría electromagnética de todos los efectos ópticos en medios móviles, que Lorentz llamó electróptica.

A esto hay que agregar su credo epistemológico: el reduccionismo mecanicista, el neopositivismo y el carácter paradigmático, acabado y definitivo de la ciencia de su tiempo.

Muchos de los anteriores conceptos, constructos, hipótesis y teorías pertenecen al feudo de la teoría de la Relatividad, que es un cuerpo teórico-experimental coherente y cerrado, con un estatus de cientificidad reconocido desde 1905. Ahora bien, Garavito, que era reduccionista (su tríptico puro: geometría-mecánica-astronomía era su punto de referencia), no veía la manera de insertar y reducir los anteriores conceptos modernos a su cosmovisión clásica y paradigmática. Para él existía su tríptico y el resto... (lo que él llama Física General).

errores se manifiestan por resultados paradójicos, se ven compelidos a cambiar las ramas fundamentales de la ciencia (...). Es injustificable la pretensión de los físicos modernos [1920] de conferir a sus teorías hipotéticas valor equiparable al de la astronomía. Lo único verificable en física es la comprobación de que sus fenómenos obedecen a las leyes de la mecánica pero es incauto aspirar al conocimiento íntimo y detallado de ellos.

R.M.Ch.: A su juicio ¿cuál es el objeto de la física matemática?

J.G.A.: Para demostrar definitivamente [la] conservación [de la energía] y [la] unidad [de las fuerzas físicas], los fenómenos físicos deben cumplir también con el principio de la menor acción, y el objeto de la física matemática no debería ser otro que el de verificar esta verdad, con lo cual la comprobación será concluyente. Otra ha sido, por desgracia, la tendencia de los investigadores: en lugar de buscar las grandes leyes a que obedece la naturaleza, se han ido a elucubrar detalles minuciosos de los movimientos materiales, que escapan a la percepción (...). En las investigaciones científicas se debe proceder de lo conocido a lo desconocido y no al contrario. De las leyes de Kepler dedujo Newton la de la gravitación: partió de hechos conocidos y halló por causa una fuerza real y conocida. En física matemática, mejor dicho en la óptica, se ha procedido a la inversa: no se ha ido del fenómeno a su causa inmediata, sino que de causas hipotéticas se ha tratado de deducir las leyes que rigen los fenómenos conocidos, ya sea aumentando o modificando las supuestas causas, ya agregando nuevas hipótesis, hasta conseguir un acuerdo más o menos completo.

R.M.Ch.: Existe la impresión general de estar viviéndose, desde hace algunos lustros, una revolución científica. Me parece que en alguna ocasión, usted expresó ideas cercanas a las de A. Michelson. ¿Podría recordarnos su pensamiento?

J.G.A.: Se acumulan, es cierto, incesantemente, multitud de observaciones y de experimentos como fruto de las labores de los observatorios y de los laboratorios; pero la mayor parte de este material no tiene otro objeto que el de perfeccionar los valores numéricos de ciertas constantes. En cambio los nuevos fenómenos quedan sin explicación plausible y los investigadores que tratan de hacer teorías para dar cabida a las riquezas descubiertas, se ven bien pronto aplastados bajo los escombros de sus propias edificaciones.

R.M.Ch.: El mundo no se ha dado cuenta de lo que la crítica ha llamado bancarrota de la ciencia. ¿Usted cree en eso?

J.G.A.: El mundo no se ha dado cuenta de lo que la crítica ha llamado bancarrota de la ciencia porque ha continuado presenciando los numerosos inventos mecánicos que aparecen a diario [1917].

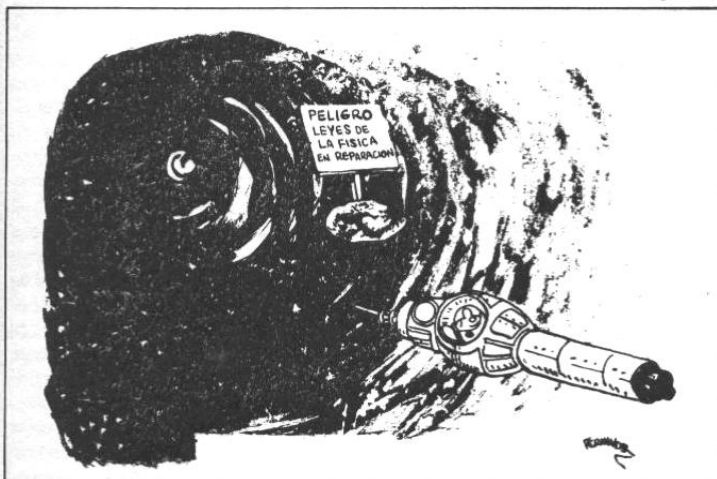
R.M.Ch.: ¿Qué piensa usted de la física moderna, sus hipótesis y teorías?

J.G.A.: La mayoría de las gentes de estudio no saben distinguir entre una teoría de ciencia pura y una hipótesis cualquiera de un ramo que está por desarrollarse. En presencia de dos interpretaciones distintas de un mismo fenómeno, se encuentran perplejos porque no saben apreciar cuál es la verdadera. Esto conduce al escepticismo con detrimento de la ciencia. Para otros muchos, la contradicción entre dos teorías de carácter científico, lejos de mortificar su espíritu, es ocasión propicia para ejercitar la imaginación con originales teorías basadas en hipótesis sorprendentes.

R.M.Ch.: Precise más, doctor.

J.G.A.: En estos últimos tiempos hemos tenido ocasión de presenciar gran número de estas lucubraciones. Moda lamentable que, al continuar, produciría lo que pudiera llamarse confusión de ideas, y haría cada vez más dificultosa la investigación de la

² Efectivamente Garavito veía en la proliferación de hipótesis, teorías, rupturas antineutonianas y geometrías no euclidianas, una "ruina" y "bancarrota de la ciencia" dramática, amenazadora y desoladora. De allí su preocupación por estructurar una corriente, en Colombia, que fuese mecanicista, clásica y antirrelativista.



verdad y la conservación de los conocimientos positivos adquiridos anteriormente. Se hace hoy, por tanto, de gran importancia la unificación de la ciencia, puesto que la verdad es una,

R.M.Ch.: Dr. Garavito, se refirió a una ciencia pura. . .

J.G.A.: La ciencia pura es la interpretación cuantitativa de las leyes naturales, y se distingue de la ciencia en general, la cual se refiere al conjunto de hechos o conocimientos concernientes a los diversos ramos de estudio.

R.M.Ch.: ¿De qué ciencias puras en concreto se trata?

J.G.A.: La geometría y la mecánica celeste quedan definitivamente en el campo de las ciencias puras.

R.M.Ch.: Usted admite la existencia de ciencias puras. ¿Admite también la existencia de ciencias definitivas?

J.G.A.: Al finalizar el siglo XIX la teoría de la gravitación pronunciaba, a mi juicio, su última palabra con los trabajos del profesor Simon Newcomb, aunque esta aseveración sorprenda a muchos. El progreso es indefinido pero no infinito (. . .). Se puede prever el alcance y límite de una ciencia pura

(. . .). La ciencia astronómica ha dicho ya su última palabra [1920].

R.M.Ch.: ¿Qué más puede agregar a su manera de ver la física moderna?

J.G.A.: Los sabios que florecieron entre el siglo XV y la mitad del XIX creyeron, como lo admitían también los antiguos, que el universo obedecía a leyes definidas, algunas de las cuales eran accesibles al entendimiento del hombre. Hoy se piensa de otro modo. Los insucesos (*sic*) que han sufrido los sabios modernos los ha hecho desconfiar, no de su capacidad intelectual en relación con los nuevos problemas, sino de la unidad de la naturaleza. ¡La poca labor ejecutada por un puñado de nuestros sabios modernos ha sido suficiente para causar la ruina que, con materiales acumulados durante treinta siglos, la humanidad había elevado en honor del espíritu humano! Pero una chispa produce en ocasiones un incendio que no deja sino pavesas. ¿Qué nuevas ideas le sucederán? Los cadáveres se convierten en gusanos, la ciencia nueva (*sic*) tomará una forma semejante. Mejor hubiera sido habernos quedado con la Cábala y las brujas. ¡Pero quizás vuelvan a surgir como surgen los animales nocturnos cuando muere la luz del día!



R.M.Ch.: Dr. Garavito, sus palabras me desconciertan. ¿De qué insucesos, ruinas, habla usted?

J.G.A.: El movimiento intelectual moderno sigue dos rutas opuestas en lo que respecta a la física. La una, la de la ciencia clásica, continúa en su derrotero y no confiere a las teorías otro papel que el de resumir en unas pocas ecuaciones diferenciales al conjunto de las leyes que se refieren al orden de fenómenos que estudia la teoría. A este respecto la termodinámica no deja qué desear; es el modelo de lo que deben ser las teorías físicas. En la óptica y en la electricidad se ha necesitado, desgraciadamente, del auxilio de hipótesis destinadas a guiar el pensamiento en el planteo de las ecuaciones que resumen las leyes que rigen los fenómenos concernientes a esos ramos; pero los verdaderos sabios no ven en tales hipótesis otra cosa que simples metáforas, y solo confieren valor a las relaciones cuantitativas expresadas en las ecuaciones.

La corriente opuesta, pretende adivinar (*sic*) el mecanismo íntimo de los fenómenos físicos a fin de hacer en esta ciencia lo que se realizó en la astronomía con la gravitación; pero si se atiende a que los fenómenos relativos a los movimientos celestes están al alcance de nuestros sentidos y de nuestros instrumentos, y son infinitamente más sencillos que los que corresponden a la materia atómica, se comprenderá que el fin perseguido en la física por la tendencia modernista, es de éxito improbable. Una derivación de esta corriente intelectual se ha encargado de maravillar al público con los más extravagantes descubrimientos, hasta el punto de alarmar a ciertas gentes impresionables, quienes deducen de esto la decadencia de la civilización actual. El alarma es infundado, porque nada más benéfico para la ciencia clásica que las exageraciones de la tendencia opuesta (...). Después del deplorable abuso que en estos últimos tiempos se ha hecho de las hipótesis en física, nada de extraño hay en una reacción contraria; pero no debemos exagerar

demasiado porque esto estancaría el avance de la ciencia [1913].

Hay en mi concepto una causa aún mayor que imposibilita hacer de la física una ciencia racional; un apéndice de la mecánica. El universo astronómico es, en efecto, más sencillo desde el punto de vista de la mecánica que el mundo molecular. La gran solidez que tiene la ciencia astronómica consiste precisamente en la objetividad de la causa y el efecto. Le Verrier, por ejemplo, supuso que un nuevo planeta era el causante de las perturbaciones conocidas de Urano, calculó la posición de esa masa oculta y la observación descubrió a Neptuno. La causa se hizo así visible. En física una verificación semejante es de todo punto imposible (*sic*) [1920].

R.M.Ch.: Siempre se ha referido a la astronomía y a su paradigmática ley de la gravitación. ¿Qué opinión tiene de la gravitación hoy en 1920?

J.G.A.: La gravitación es en realidad la fuerza motriz de los cuerpos celestes y ella obedece a la Ley de Newton (...). Si la gravedad y la gravitación no fuesen idénticas, la gravitación se volvería una hipótesis acomodaticia como las de uso moderno. Así, en lugar de ser la atracción newtoniana una fuerza misteriosa, esto es, perfecta en la sencillez de su expresión y reina absoluta de los movimientos celestes, es en cambio una fuerza natural, tan perfecta como puede serlo la acción natural más perfecta (...). Tal fuerza no es hipotética sino real: es la misma que hace caer los cuerpos a la Tierra y con la cual estamos familiarizados. Tratar de explicar la gravitación por el electromagnetismo y sustituir la ley de Weber a la de Newton (...) sería reemplazar un hecho real, conocido, como lo es la gravedad (*sic*), por una hipótesis no comprobada, lo cual es retrogradar en vez de avanzar (...). La teoría sinética (*sic*) ha tratado de explicar la gravitación por medio de choques de corpúsculos de un orden de pequeñez tal que su relación a los átomos químicos sería como la de éstos a los cuer-

pos celestes; corpúsculos a los cuales se les supone dotados de velocidades inauditas en todos los sentidos³.

R.M.Ch.: En la presente época (1920) se han notado fallas en la ley de la gravitación newtoniana, que en cambio se explican por teorías no euclidianas y naturalmente no newtonianas. ¿Cuál es su posición al respecto?

J.G.A.: Las tablas astronómicas basadas en esta ley de la gravitación han alcanzado un altísimo grado de perfección. Quedan sin embargo dos pequeños residuos, referente uno al movimiento del perihelio de Mercurio y el otro a una fluctuación que presenta el movimiento medio de la luna. Para subsanar esta pequeña diferencia [diferencia de 41 segundos por siglo en el caso de Mercurio] bastaría cambiar el exponente 2 de la ley newtoniana por $2 + \epsilon$, siendo ϵ igual a 0.000 000 151. Lo cual prueba que la acción perturbadora, causa de este error, es insignificante respecto de la gravitación misma (...). Esta conclusión era la esperada, pues no es posible llegar a la perfección absoluta en los hechos naturales. La Ley de Newton es una expresión sencilla que implica condiciones absolutas, como la transmisión instantánea de la fuerza, su independencia completa del estado de reposo o de movimiento y presupone además el vacío absoluto del espacio interplanetario. La razón se opone a aceptar tales condiciones; y la conclusión a que se ha llegado al prever los residuos satisface mucho más al espíritu que la perfectibilidad absoluta de los movimientos con la sola ley de gravitación (...). Cabe reproducir aquí lo que respecto de las hipótesis en física dijo el profesor Henri Poincaré: (...) "Preciso será detenerse en alguna parte, y para que la ciencia sea posible habrá que detenerse cuando se haya encontrado la sencillez". Según este lógico criterio, debemos pues detenernos en astronomía en la ley de Newton por ser sencilla. Pero no sólo por la sencillez debemos tomar como definitiva esta base, sino más que todo por ser preferible

tener como fundamento de una teoría un hecho positivo, como es la gravedad, en vez de apoyarse en alambicadas hipótesis no verificables "a posteriori", como lo sería la electromagnética. Estas consideraciones inducen a afirmar que la ciencia astronómica ha dicho ya su última palabra.

R.M.Ch.: Usted da a entender que la geometría euclidiana y la mecánica ocupan un puesto privilegiado. Explíqueme eso.

J.G.A.: La geometría euclídea nada tiene que temer de las observaciones astronómicas (...).

R.M.Ch.: O sea, ¿no hay errores en la geometría euclidiana y en la mecánica newtoniana que las desprestigien?

J.G.A.: Ninguno [1917].

R.M.Ch.: ¿Ningún error o defecto?

J.G.A.: La geometría y la mecánica han sido elaboradas por muchas generaciones y sufrido el tamiz de los siglos dejando entre sus mallas los defectos provenientes de tiempo y de lugar, y las previsiones fundadas sobre ellas han sido siempre coronadas por el éxito, mientras las modernas teorías no han tenido todavía la más ligera verificación experimental, sino todo lo contrario.

R.M.Ch.: Perdone Dr. Garavito, pero yo he oído hablar de problemas no resueltos y paradojas en el seno de la geometría y de la mecánica. ¿No le parece que hay contradicción con lo que usted acaba de afirmar?

J.G.A.: Esos ramos no han presentado sino comprobaciones incesantes; las previsiones que se basan sobre ellos resultan exactas. ¿Qué más se quiere?

R.M.Ch.: Sí existen lagunas y paradojas en la ciencia clásica.

J.G.A.: Los puntos oscuros, lagunas y paradojas, que presenta la ciencia moderna (*sic*) son los siguien-

³ Aquí se refiere Garavito a una teoría de la gravitación de principios del siglo XIX; su autor Lessage, imagina el Universo lleno de partículas microscópicas que viajan a altas velocidades y en todas las direcciones. El efecto conjugado de los choques de estas partículas (presión) sobre los cuerpos celestes, y del apantallamiento de estos últimos crea una acción gravitatoria aparente. Este modelo fue desechado (por contravenir a las leyes de conservación) después de un análisis y crítica efectuados por Maxwell, Lorentz y Poincaré. Garavito rechazó esta teoría corpuscular de la gravitación, como también, un modelo electromagnético (con base en los trabajos de Weber) que trata de unificar las fuerzas gravitatorias y electromagnéticas.

tes: a) Legitimidad de las geometrías planas no euclídeas; b) Teoría ondulatoria de la aberración de la luz fundada en el arrastre parcial del éter. Apparente contradicción entre las experiencias de Fizeau y Michelson; c) Interpretación por Abraham y Kauffmann respecto de los fenómenos que presentan los rayos catódicos en el tubo de Crookes; d) Movimiento browniano.

R.M.Ch.: ¿En qué grado se afecta la ciencia?

J.G.A.: La primera cuestión afecta toda la ciencia; las dos segundas afectan a la óptica y a la astronomía, la b), y a la mecánica la c). La última se relaciona con la termodinámica [1917].

R.M.Ch.: Pero si no me equivoco, para 1917 ya existían soluciones satisfactorias a estos problemas. ¿Conoce usted esas explicaciones?

J.G.A.: Así como se han podido elaborar tres geometrías planas igualmente irreprochables desde el punto de vista lógico, se ha creído posible elaborar otras mecánicas newtonianas, mediante las cuales se explique la contradicción entre las experiencias de Fizeau y Michelson partiendo de la ley de Kauffmann, deducida por él de la interpretación de los fenómenos producidos en los rayos catódicos por los campos eléctricos y magnéticos.

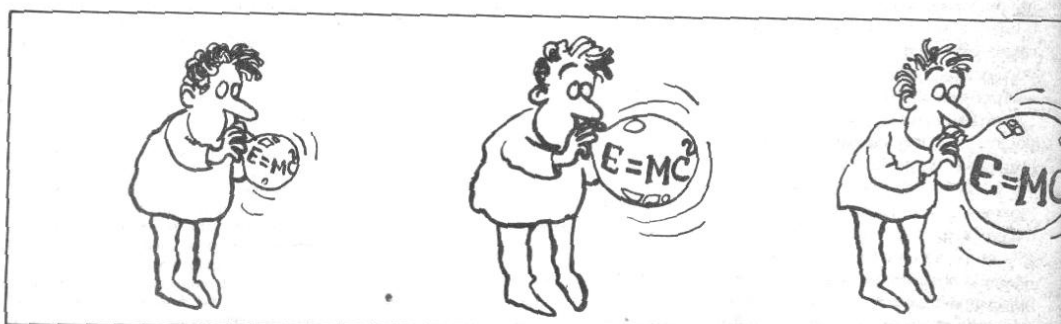
R.M.Ch.: ¿Y no las considera soluciones satisfactorias?

J.G.A.: Los principios fundamentales de esta nueva ciencia difieren totalmente de los de la hasta hoy clásica: la masa de los cuerpos varía con la velocidad hasta hacerse infinita para la velocidad de la luz; la inercia es selfinducción electromagnética; los campos se contraen al desalojarse, etc. Tal mecánica era indudablemente la más ventajosa para su creador, profesor A. Lorentz, pues con su auxilio podía salvar su famosa teoría electrodinámica. Sin embargo, la palabra ventajosa tiene una interpretación más relativa de la asignada en la filosofía científica moderna, pues la nueva ciencia no tuvo la brillante acogida que era de esperarse dado el espíritu innovador de la presente generación.

R.M.Ch.: Oígame, doctor Garavito. ¿Ha oído hablar aquí en Bogotá de A. Einstein? Tengo entendido que él ha contribuido a explicar los enigmas anteriores con su Teoría Especial de la Relatividad.

J.G.A.: Se prepara hoy otra nueva mecánica debida a Einstein, fundada sobre el concepto de Minkowski, según el cual el tiempo es una cuarta dimensión del espacio (*sic*). Esta nueva mecánica tiene actualmente, según informes, muy buena acogida en Inglaterra.

R.M.Ch.: Tengo la fuerte impresión de que usted rechaza las explicaciones no newtonianas o mejor dicho ¿cuáles son sus explicaciones que las reemplazarían?



J.G.A.: Sabemos que muchos sabios profesores admiten que los errores, manifestados en los resultados paradójicos, conciernen a las teorías modernas de la física y no a los cimientos de la ciencia (. . .). Con todo, no basta aseverar aquello; es necesario descubrir cuál es el error y mostrarlo. Tal ha sido nuestra labor desde hace diez años, para cuyo efecto hemos publicado cuatro folletos, a saber:

- 1) Nota sobre la dinámica de los electrones — 1912.
- 2) Teoría de la aberración de la luz. — 1912.
- 3) Nota sobre óptica matemática — 1913.
- 4) Paradoja de la óptica matemática — 1916.

Los tres últimos folletos están destinados a demostrar: 1) que la hipótesis de un arrastre parcial del éter, esto es, de un deslizamiento del éter introducida por Fresnel para explicar el fenómeno de la aberración en la teoría ondulatoria, proviene de un error en la interpretación de la solución de la ecuación diferencial de propagación; 2) que la verdadera solución de la ecuación diferencial de propagación explica la aberración de acuerdo con las ideas de Bradley; 3) que el principio de la menor acción asigna el mismo índice de refracción a todos los rayos luminosos cualquiera que sea la veloci-

dad relativa de la luz y de la Tierra, siempre que se admita, de acuerdo con las experiencias de Michelson y con muchos otros fenómenos, el arrastre total del éter por la atmósfera de la Tierra y por todos los medios transparentes; y 4) que la experiencia de Fizeau interpretada por la teoría mecánica de la refracción demuestra el arrastre total del vehículo de la luz por el agua, poniéndose de manifiesto que el supuesto deslizamiento proviene del efecto debido al fenómeno de la aberración con lo cual se ponen de acuerdo las experiencias de Fizeau y Michelson.

R.M.Ch.: Admitiendo sus hipótesis, ¿cómo estudia la propagación de la luz y el movimiento relativo?

J.G.A.: Un primer ensayo a ese respecto lo efectuamos considerando a la luz como una energía que se transmite por choques sucesivos (*sic*), a fin de concretar las ideas [1917].

R.M.Ch.: ¿Nos podría aclarar su teoría de la Dinámica de los electrones?

J.G.A.: De aspecto trascendental para la ciencia, por haber dado origen a una interpretación discordante con la mecánica clásica, son los experimentos efectuados por físicos modernos, los profesores señores J. J. Thomson, Kauffmann, Lenard, Simon, Wiechert, Becquerel, etc., referente a las desviaciones que sufren los rayos catódicos,



los rayos beta del radium y los ultramorados (*sic*), al someter dichos rayos a la acción de un campo eléctrico y de un campo magnético simultánea o separadamente. (...) Experimentos muy precisos, efectuados por el profesor Kauffmann, han hecho ver que los valores de carga/masa disminuyen rápidamente cuando la velocidad del electrón crece, hasta aproximarse a la velocidad de la luz. (...) Ahora bien, se supone que la carga es siempre la misma para todos los electrones, es necesario suponer que su masa no es constante, y que ella crece rápidamente con su velocidad, cuando ésta se aproxima a la velocidad de la luz. Esta conclusión ha tenido gran favor entre las gentes que gozan con toda innovación (*sic*); pero no ha sido bien acogida por los amantes de la Mecánica, y esto sin que se les pueda tachar de espíritus rutinarios ni retrógrados.

Se nos ha permitido emitir una explicación del fenómeno al que nos referimos. La materia nos parece continua a causa de la imperfección de nuestros sentidos, pero no lo es. Esto mismo, y por la misma discontinuidad de la materia, debe ocurrir con las fuerzas naturales. Es probable que las acciones eléctricas y magnéticas sean debidas a percusiones sucesivas provenientes del campo eléctrico y magnético, y cuya intensidad y frecuencia determinan el valor de la fuerza. Si esto se admite, la explicación del fenómeno es muy sencilla. Mientras la velocidad sea pequeña, todo ocurre como si la fuerza obrase de manera continua (*sic*); pero para valores muy grandes de la velocidad en el reducido espacio, las cosas pasan de otro modo. Así, pues, basta la hipótesis de la discontinuidad de la fuerza, consecuencia directa de la discontinuidad de la materia, para explicar por qué razón la desviación de los rayos catódicos disminuye rápidamente cuando la velocidad se acerca a la de la luz.

R.M.Ch.: ¿Cómo concibe usted el espacio y el tiempo?

J.G.A.: La coexistencia de nuestras

impresiones y la sucesión de ellas, han dado origen a las ideas del espacio y del tiempo, mediante un largo proceso de circunstancias determinantes, en condiciones variadísimas. La generalidad de los filósofos considera el tiempo como una idea derivada únicamente de la sucesión de los acontecimientos. Pero si meditamos reflexivamente sobre la inercia de la materia y sobre la alta importancia que esta cantidad desempeña en mecánica, podemos entrever la realidad de su existencia desde otros puntos de vista.

R.M.Ch.: Usted ha ciertamente leído el libro de Poincaré *La ciencia y la hipótesis* (1902) en el cual se afirma que no existe ni tiempo ni espacio absoluto y que la geometría euclídea es una convención de lenguaje, ¿Tiene algún comentario?

J.G.A.: Según lo dicho, ¿qué significado puede tener la ley de inercia? Un cuerpo que no está sujeto a fuerza alguna no puede tener más que un movimiento rectilíneo uniforme. ¿Qué significado tiene la frase movimiento rectilíneo? Si no hay espacio absoluto, esto es, si no hay orientación absoluta, ¿cómo podemos hablar de línea recta? (...). Además, no habiendo tiempo absoluto, ¿qué significado se le puede dar a la palabra uniforme? Y, si el principio de inercia no tiene sentido, tampoco pueden tenerlo las ecuaciones de la mecánica que se fundan en el supuesto principio.

R.M.Ch.: Por último Dr. Garavito yo desearía que aclarase al público su posición respecto a la "absolutividad" o a la relatividad del espacio y del tiempo.

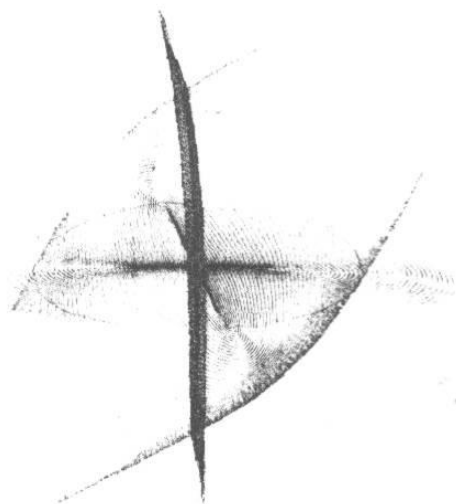
J.G.A.: El concepto espontáneo, la intuición directa, nos lleva a admitir el Tiempo y el Espacio como entidades reales. Más tarde, la lectura de las disertaciones filosóficas sobre esta materia falsea totalmente esta intuición. (...) Nuestras abstracciones sobre espacio y tiempo no son sino pasividades negativas, simples formas de nuestra imaginación, las que carecen de

realidad y solo tienen valor como simples convenciones particulares. El espacio sin cuerpos no tiene sentido, como tampoco lo tiene el tiempo sin acontecimientos. (. . .) La frase "punto material animado de movimiento rectilíneo y uniforme" no tiene sentido sino a condición de que digamos con relación a qué sólido o en qué espacio es en el que se verifica ese movimiento. Ante la idea completa de la relatividad del espacio, tanto vale un espacio como otro cualquiera, esto es, cualquier cuerpo nos podrá servir de referencia para fijar los otros puntos del universo sin que haya motivo alguno que alegar en favor de un espacio respecto del otro. La Cinemática se acomoda bien con el concepto absoluto de la relatividad. Pasemos a la Dinámica. El movimiento de un sistema cualquiera debe obedecer a las mismas leyes, ya se refiera al espacio de un sólido A, ya al de otro sólido B, pues esto le impone el principio de la relatividad del espacio: de otro modo la Mecánica no es posible, o si lo fuese sin esa condición, la relatividad absoluta sería ilusoria. Es aquí donde la experiencia contradice el concepto de la relatividad creada por la filosofía anti-newtoniana. (. . .) La idea referente a la relatividad absoluta del espacio conduce, pues, a conclusiones contrarias a la experiencia. La mecánica no es posible sino cuando el movimiento de los cuerpos se refiere a ciertos espacios, que cumplen entre sí la condición de estar los unos con relación a los otros, animados de movimientos de traslación rectilíneos y uniformes. (. . .) Ciertamente para los que no admiten el espacio absoluto, la frase citada no tendría sentido: si no hay espacio absoluto ese puede girar sin girar con relación a algo. Pero para Newton y para sus partidarios el espacio absoluto existe y la afirmación tiene un sentido preciso (. . .). La Mecánica al concebir el espacio absoluto y el tiempo absoluto ha llegado a conclusiones que la experiencia confirma. ¿Es que los fundadores de la Mecánica crearon el espacio y el tiempo? ¿O es, más bien, que han sabido interpretar correctamente las leyes que rigen el movimiento de los cuerpos?

R.M.Ch.: Le agradezco mucho Dr. Garavito. Perdona la larga entrevista de ultratumba, pero estimamos que su fiel publicación contribuirá para que en Colombia su pensamiento sea conocido, analizado y debatido. Muchas gracias Dr. Garavito. □

BIBLIOGRAFIA

1. J. Garavito A.: Nota sobre la dinámica de los electrones. *Ana. de Ing.* **19** (1912) 361.
2. J. Garavito A.: *Teoría de la aberración*. Imp. del Estado Mayor Bogotá, 1912.
3. J. Garavito A.: *Nota sobre la Optica Matemática*. Talleres del Estado Mayor. Bogotá, 1913.
4. J. Garavito A.: *La paradoja de la Optica Matemática*: Imp. Nal. Bogotá, 1916.
5. J. Garavito A.: ¿Bancarrota de la Ciencia? *Ana. de Ing.* **25** (1917), 203.
6. J. Garavito A.: *Optica astronómica*. Aguila Negra Edit. Bogotá, 1920.
7. J. Alvarez Lleras: Julio Garavito Armero. *Ana. de Ing.* **27** (1920) 362.



MUSEO DE LA CIENCIA Y EL JUEGO

Existe un nuevo museo en la Universidad Nacional: **EL MUSEO DE LA CIENCIA Y EL JUEGO**. Antes una "feria ambulante de la ciencia", a partir de este año cuenta con instalaciones propias en la concha acústica, situada ésta en el campus de la Universidad. Posee montajes de química, oscilaciones, ondas, electricidad, magnetismo y efectos de percepción. . . todo bajo el estricto mandamiento:

PROHIBIDO NO TOCAR

y bajo la estricta supervisión. . . del interés de cada quien.

A través de la interacción con los montajes, muchos de cuyos elementos son objetos de la vida cotidiana ordenados de manera que estimulen el arte de la conjetura, el visitante tiene la posibilidad de desanudar su inventiva en la predicción y observación de efectos, limitados claro está por el montaje, pero principalmente por su propia intui-

ción. Frente a sí, el visitante tiene la ciencia, el arte, el juego. . . conectados por la imaginación creadora. Se busca así fomentar un cambio de actitud de las personas —niños, jóvenes y adultos— hacia la ciencia.

La entrada es libre y el visitante escoge el itinerario que quiera. Puede realizar varios viajes que lo lleven a interactuar a distintos niveles con los montajes. Además, el museo organiza eventos especiales, algunos de los cuales son *El bazar de las burbujas*, *Imágenes*, *Juegos con aire y agua*, *Ciencia y arte*. . .

Las visitas de grupos de universidades y colegios se realizarán bajo cita previa.

Para mayores informes dirigirse a: Julián Betancourt, Departamento de Física, Universidad Nacional, Tel. 2442874, o escribir al AA 91060, Bogotá.

Cuatro ideas sobre la enseñanza de las ciencias*

Muchas personas en posición de tomar decisiones parecen empeñadas en llevar hasta sus últimas consecuencias un modelo educativo ya agotado y en parte responsable del estado de cosas actual. La realidad nos está pidiendo a gritos que modifiquemos no sólo la metodología de la enseñanza de las ciencias sino su contenido. Con personas dispuestas a considerar tal modificación desearía yo compartir las ideas que siguen.

Son muchos los indicadores que nos permiten ver un hecho que a todos preocupa: la enseñanza de la ciencia, en nuestro país y en otros países, se encuentra en recesión, cuando no en crisis. A pesar de ello, muchas personas en posición de tomar decisiones (funcionarios altos y medios, autores de planes, programas y libros, "expertos" en desarrollo curricular) parecen empeñadas en llevar hasta sus últimas consecuencias un modelo educativo ya agotado y en gran parte responsable del estado de cosas actual: el modelo que se centra exclusivamente en la enseñanza de la ciencia como un conjunto de conocimientos, en nombre de un supuesto respeto por la ciencia en su concepción disciplinaria. Como se dijo ya, este modelo parece agotado, por lo cual resulta francamente alarmante la decisión de encargar su perfeccionamiento a equipos humanos en los que, para remate, los hombres de ciencia están ausentes.

La realidad nos está pidiendo a gritos que modifiquemos no sólo la metodología de la enseñanza de la ciencia sino su contenido. Con personas dispuestas a considerar tal modificación desearía yo compartir las ideas que siguen.

La ciencia como conocimiento

De las cuatro ideas sobre la ciencia que van a ser aquí consideradas, estas, por lo general, la única que la escuela toma en cuenta, cualquiera que sea el nivel educativo que imparta. Por desgracia, sigue imperando un manejo indiscriminado, no diferenciado, no selectivo, enciclopédico y sacralizado de los conocimientos científicos. Se le da a la ciencia un tono descriptivo y asentado en conocimientos tradicionales hace mucho tiempo superados. No se distingue lo fundamental de lo accesorio (excepto para, escrupulosamente, enseñar lo accesorio y no enseñar lo fundamental). Se presenta la ciencia con un desarrollo lineal que le es ajeno, como una sucesión en que un conocimiento sigue a otro y un tema sigue a otro tema, y a otro, y a otro, sin ninguna estructura, sin ninguna organización. Por si algo le hiciera falta a panorama tan desolador, los conocimientos se presentan como verdades establecidas, incontrovertibles, dadas de una vez por todas, que el libro de texto supuestamente contiene, el maestro supuestamente sabe y al alumno no le queda más que escuchar y memorizar.

La enseñanza de la ciencia en nues-

* Tomado de la revista *Biología* (Méx.), 12: 37-40

J. M. Gutiérrez Vásquez
Departamento de Investigaciones Educativas
Centro de Investigación y Estudios
Avanzados del Instituto Politécnico
Nacional — México.

El autor participó a partir de 1971 como coordinador en el equipo de trabajo involucrado en el diseño de un currículum para la enseñanza de las ciencias en la escuela elemental mexicana, y de los textos gratuitos correspondientes.



... los conocimientos se presentan como verdades establecidas, incontrovertibles, dadas de una vez por todas, que el libro de texto supuestamente contiene, el maestro supuestamente sabe y el alumno no le queda más que escuchar y memorizar...

tra escuela tendría que tomar en cuenta, por lo que toca a los conocimientos, cuando menos los siguientes cuatro puntos básicos:

- El conocimiento de la realidad es un proceso, no un estado. Con esto queremos decir que el conocimiento nos permite acercarnos cada vez más a la realidad, nos permite comprenderla y conceptualizarla mejor cada vez. Como todo proceso, el conocimiento es algo dinámico, cambiante, que se va haciendo, que se va construyendo.
- Las llamadas verdades científicas son certezas prevalentes en un momento dado. Las aceptamos como bases para fundamentar nuevo conocimiento mientras nuevas evidencias sigan siendo consistentes con su certidumbre. Si se acumula suficiente evidencia en contra, tales certezas son sustituidas por otras, que serán prevalentes mientras nuevas evidencias así nos lo permitan.
- Los conocimientos tienen diferentes jerarquías. Por una parte tenemos hechos, conceptos, ideas generales, teorías y leyes y dentro de cada categoría también es posible jerarquizar: los conceptos de energía, sistema, gene, molécula, son más importantes en un curso general que los conceptos de escama, cólea, quark o lantánido. Por otra parte, haremos tantas jerarquizaciones como temas, intereses u objetos de estudio tengamos: el concepto de difusión no es muy importante para comprender cómo se forma una roca extrusiva, pero resulta básico si queremos entender el proceso respiratorio. En todo caso, lo que se quiere decir es que debe tenderse a considerar hechos, conceptos, ideas generales, teorías y leyes fundamentales, que debe distinguirse entre unos y otros, y que siempre se discriminará lo básico de lo accesorio.
- Los conocimientos que se impartan deberán tener un papel definido

dentro de grandes construcciones conceptuales que se correspondan con los principales componentes de la naturaleza. Ningún conocimiento deberá quedar "suelto", "inerte" o validado por sí mismo; todos deberán ocupar su lugar y jugar su papel en la formación y comprensión de los esquemas conceptuales mencionados, mismos que se corresponden con las grandes estructuras del universo. Por ejemplo, en lugar de hacerse un estudio descriptivo en que se vayan enumerando, uno tras otro, componentes y características de las diversas regiones biogeográficas de nuestro país, resulta de mucha mayor utilidad (y más fácil de comprender y de aprender) estudiar la estructura general de los ecosistemas y el papel que juegan sus componentes, para pasar después a ver cómo opera todo esto en el desierto, en la selva (zona cálido-húmeda), en el bosque (zona templada), etc. De esta manera quedará claro el papel que juega el conocimiento en la comprensión de los fenómenos naturales.

La ciencia como quehacer

Por lo general, esta concepción no es considerada por la escuela. Por una parte, el maestro se concreta a "dar" el conocimiento sin ninguna elaboración en la que los alumnos participen; por la otra, el alumno se concreta a escuchar y escribir; casi nunca se le provee de la oportunidad de "hacer cosas". La ciencia no es sólo conocimientos, también es elaboración del conocimiento, su comprobación, su validación, la puesta en duda del mismo, su sustitución por conocimiento nuevo que se corresponde mejor con la realidad. Esto es, la ciencia es también investigación, búsqueda, quehacer, método. Lo hemos dicho muchas veces y lo repetimos ahora: ciencia no es solamente lo que ya sabemos sino la manera de buscar y encontrar lo que todavía no sabemos. Y el reflejo educativo de todo esto es fundamental: el conocimiento nos permite comprender los fenómenos naturales, en tanto que el

método, el conjunto de habilidades, capacidades y destrezas que lo componen, nos permite estudiar los fenómenos por nosotros mismos, nos permite aprender de la realidad y no solamente de los libros. Y esto resulta de gran importancia no solamente para hacer ciencia, sino para vivir nuestra vida de todos los días. Si educamos tomando en cuenta esta concepción como básica, nuestros alumnos no solamente adquirirán conocimientos y los organizarán para construir los grandes esquemas conceptuales a que hice referencia, sino que desarrollarán su capacidad para identificar y definir problemas; aprenderán a observar objetiva y analíticamente y a hacer registros fieles y comprensibles de todo ello: desarrollarán su capacidad reflexiva y habilidades que les permitirán plantear proposiciones, suposiciones y predicciones lógicas e inteligentes y establecer relaciones entre hechos o entre ideas aparentemente no relacionados; se harán diestros en la consulta, esto es, en la búsqueda y el hallazgo de la información necesaria en donde ésta se encuentre; acrecentarán su capacidad y sus habilidades para diseñar situaciones experimentales, observacionales o documentales que pongan a prueba sus ideas, sus proposiciones, sus predicciones o las confronten con las de otros; serán cada vez más capaces de distinguir una cosa de otra, un fenómeno de otro, un objeto de estudio de otro, por sus propiedades y características más y más finas cada vez y por tanto más difíciles de percibir; serán también cada vez más capaces de discriminar o distinguir situaciones en las que las evidencias apoyan o sostienen una idea de aquellas en que las pruebas están hablando en contra de esa idea; serán cada vez más hábiles e incisivos en la discusión de resultados e ideas, con interlocutores o sin ellos, así como en la conducción de las discusiones de manera tal que se arribe a interpretaciones generales y a conclusiones; serán capaces de comunicarse en forma cada vez más correcta, esmerada, concisa y elegante y de compartir así sus experiencias con sus compañeros y semejantes.

Se ha dicho a veces que con todo esto pretendemos enseñar el método científico como tal desde la escuela primaria. No es así. No es la educación básica el nivel adecuado para ello, no se ofrece el tiempo ni los medios necesarios para hacerlo, no somos nosotros sus maestros las instancias más adecuadas para enseñarlo, ni a nuestros alumnos les resulta relevante (ni posible) dominarlo. Lo que ocurre es que el conjunto de habilidades, destrezas y capacidades referidas en el párrafo anterior, al irse desarrollando, sí va conformando en la persona una actitud más científica ante la vida, una aproximación más lógica, más objetiva y más inteligente ante los problemas de la naturaleza y de la vida personal y social. Por eso resultan de tan gran valor, independientemente de si vamos a seguir una carrera científica o no, de si vamos o no a seguir carrera alguna, independientemente del rol social de la persona de que se trate.

La ciencia y los grandes problemas sociales

A menudo el ciudadano medio considera a la ciencia como un lujo, como un adorno, como algo muy costoso, complicado y que por lo tanto "viste" mucho, pero que como individuo no le es dado abordar y la comunidad a que pertenece, como subdesarrollada que es, no puede proporcionarse a sí misma, no puede darse ese lujo. Y cómo no va a ser así, si los únicos contactos más o menos sistemáticos que este ciudadano medio ha tenido con la ciencia han ocurrido, por una parte, durante su educación primaria o secundaria, en la que la escuela se las ha arreglado para presentar a la ciencia como algo extraño o ajeno, privada de toda relación con los problemas de la comunidad; por la otra, a través de los medios de información social (televisión, radio, cine, periódicos, revistas), en los que por lo general la ciencia se presenta como actividad compleja que solo unos cuantos, particularmente dotados (y por lo demás pertenecientes a comunidades muy desarrolladas, i.e., a otros países) están abocados a realizar.

La ciencia no es sólo conocimiento, es también investigación, búsqueda, que-hacer, método. . . El conjunto de habilidades, destrezas y capacidades que se pueden desarrollar en el alumno al considerar este aspecto va conformando en él una actitud científica ante la vida, una aproximación más objetiva y más inteligente ante los problemas de la naturaleza y de la vida personal y social.

Ambas instancias resultan enajenantes y mutiladoras en extremo. Por eso es de gran importancia el rescatar para la ciencia su relación con los grandes problemas de la sociedad y, en particular, de nuestra sociedad, lo que hará ver, por lo demás, que no "cualquier" ciencia es relevante para nosotros y que mucha de la ciencia que necesitamos habremos de producirla nosotros mismos y países como el nuestro. Así pues, problemas tales como salud y enfermedad, nutrición y mal nutrición; población, responsabilidad reproductiva y educación sexual; el desarrollo físico, intelectual y afectivo del ser humano; uso y mal uso del agua, del suelo y de otros recursos naturales renovables y no renovables; mejoramiento y deterioro ambiental; energéticos y energía, procedimientos para convertir una forma de energía en otra; la comunicación y el transporte, medios, maneras y métodos; relaciones entre ciencia y tecnología; y muchos otros, no pueden seguir estando ausentes o tratados fragmentariamente en nuestros programas de ciencia en la educación básica. Por el contrario, deberían ser estos justamente algunos de los tópicos centrales alrededor de los que habría que ir armando el resto de los contenidos de la educación en ciencia.

La ciencia y la vida diaria

Sería interesante hacer un estudio comparativo de los hábitos alimentarios, los hábitos higiénicos, la manera de administrar el presupuesto personal y familiar, la actitud que se tenga con respecto a los problemas del deterioro ambiental y la calidad de la vida, y las supersticiones, que forman parte regular de la cultura, en tres grupos de ciudadanos: aquellos que no pudieron terminar su educación primaria (por la razón que sea), aquellos que sí la terminaron, y aquellos que terminaron su educación secundaria. Mi hipótesis es que no se van a encontrar diferencias significativas. Parece increíble que nueve años de escolaridad no hayan sido suficientes para que una persona haya aprendido a comer racionalmen-

te, para que evite de manera sistemática los accidentes y el contagio para él y los suyos, para que distribuya lógicamente sus ingresos, para que no deteriore el ambiente cuando menos con basura y ruido y para que deje de consultar horóscopos. Pero, una vez más, ¿cómo no va a ser así, si la ciencia que la escuela ha pretendido enseñarle le es ajena, no tiene nada que ver con sus necesidades, con sus carencias, con los problemas que la vida de todos los días le plantea a cada momento?

Es cierto que resulta de gran importancia el no hacer a la enseñanza de la ciencia exclusivamente tributaria de los problemas de la vida común. Todos hemos podido ver crecer intelectualmente, avanzar a ojos vistas en su desarrollo cognoscitivo, a niños entregados con vivo interés a medir la humedad del aire, a estudiar los efectos de la luz en las plantas, a observar y registrar el movimiento de los protozoarios, a construir modelos de la formación de fósiles animales y vegetales; y esto ocurre en barriadas clasemedieras, en suburbios de paracaidistas y en escuelas rurales mal provistas y semiabandonadas. Pero no por ello nuestra enseñanza debe ignorar que la gente tiene necesidades más allá de sus puras inquietudes intelectuales.

¿Cómo preparar una comida balanceada y económica para el desayuno, la comida y la cena? ¿Cómo cambia esto para un niño y para un adulto? ¿Cómo se modifica en el caso de una madre embarazada o lactante? ¿Cuáles son las enfermedades y los accidentes más frecuentes en mi comunidad? ¿Cómo lo averiguo y, lo que es más importante, cómo lo evito? ¿Qué vacunas me aplicaron ya, cuáles me hacen falta? ¿Cuáles deben aplicarle a mi hermanito y cuándo? ¿Cómo distribuir mejor mi tiempo? ¿Cómo debo estudiar? ¿Cuáles son los mejores procedimientos para aprender de un libro? ¿Cómo le hago para aprender de lo que me sucede, de la realidad en que vivo? ¿Cómo debo distribuir mis ingresos? ¿Qué compraré en el mercado y en la tienda? ¿Cómo debo "leer" un

Es de gran importancia el rescatar para la ciencia su relación con los grandes problemas de la sociedad, lo que hará ver, por lo demás, que no "cualquier" ciencia es relevante para nosotros y que mucha de la ciencia que necesitamos habremos de producirla nosotros mismos y países como el nuestro.

"anuncio" para no dejarme engañar? ¿Cómo hacer para que el medio en que vivo sea más sano? ¿Qué materiales usar para mi vivienda y por qué? ¿En dónde debe ir la cocina? ¿En dónde debe ir el baño? ¿Cómo compongo la plancha, cómo funciona? ¿Cómo funciona la electricidad en mi casa? ¿Qué diferencia hay entre el agua del tinaco y la que viene de la calle? ¿Cómo se hace una fosa séptica? ¿Cómo puedo

cuidar el medio ambiente? ¿Cómo ahorrar los energéticos que uso? ¿Es bueno hacer ejercicio? ¿Qué tanto? ¿Cuáles ejercicios? ¿En dónde los puedo hacer? ¿Qué son las supersticiones? ¿Cómo distinguir una superstición de lo que no lo es? ¿Qué es eso del desarrollo psico-sexual? ¿Cómo puedo manejar mi sexualidad respetuosamente, responsablemente, sanamente? Yo no quiero embarazarme, ¿cómo le hago?

Es cierto que resulta de gran importancia el no hacer a la enseñanza de la ciencia exclusivamente tributaria de los problemas de la vida común. Pero no por ello nuestra enseñanza debe ignorar que la gente tiene necesidades más allá de sus puras inquietudes intelectuales.



Estoy embarazada, ¿qué hago? Tengo una enfermedad venérea, ¿cómo me la curo? No quiero contagiar a mi compañera, ¿qué hago? Yo no quiero joder a mis escuincles como mis padres me jodieron a mí, ¿qué puedo hacer?

Estas y muchas otras preguntas, cuando el maestro desarrolla una buena relación de confianza y afecto mutuo, son planteadas por los alumnos, individual o colectivamente. Sin embargo, la mayoría de las veces, estas y muchas otras preguntas revolotean dentro de la cabeza de nuestros alum-

nos, quienes no encuentran en nueve años de escuela, la oportunidad de plantearlas.

La ciencia y su enseñanza deben siempre estar al servicio del hombre, en general, pero también en particular; nuestro quehacer de profesores de ciencia deberá ir sistemáticamente en ayuda de hombres y mujeres concretos, de carne y hueso, nuestros alumnos de aquí y de ahora, en su vida de todos los días, en sus problemas, en sus conflictos, en sus carencias, y también en sus afanes y sus ilusiones. □

Una alternativa para la enseñanza de las ciencias: la comprensión

Las consideraciones que siguen han inspirado en particular la ejecución de un proyecto de investigación* que exploró la posibilidad de organizar la clase de ciencias naturales de primero de bachillerato alrededor de lo que denominamos **ACTIVIDADES—TOTALIDAD—ABIERTAS**. Constituyen éstas una alternativa para la enseñanza media totalmente distinta de las propuestas por la tecnología educativa o de las que pueden sugerirse acríticamente a partir de la psicología piagetiana basadas en una secuenciación predeterminada, resultado del análisis de las "redes lógicas" de cada concepto y del estudio del desarrollo cognoscitivo de los pupilos.

LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EN LA ESCUELA DE HOY

Una de las consecuencias de la tecnología educativa es la pretensión de que existen formas de enseñanza o de planeación de situaciones didácticas, que conducen al éxito. Este resultado, que se deriva del discurso explícito de tecnologías centradas en conductas, aparece implícitamente, sin discusión, en concepciones inspiradas en otras psicologías como la piagetiana. Es así como se busca en ésta una garantía para el aprendizaje en la identificación de conceptos accesibles a determinada población de estudiantes que se caracterizan por un nivel de desarrollo cognoscitivo dado. De ello surgen entonces programas de trabajo entre los diseñadores curriculares: los unos tratando de establecer el nivel de desarrollo cognoscitivo de personas en las más variadas circunstancias, los otros buscando determinar la complejidad de los conceptos. Se supone dentro de esta línea, que luego será posible "cruzar los resultados" y obtener como información qué se puede aprender en cada caso (nivel, curso, etc.).

Paralelamente con lo anterior y ligado también con la problemática del diseño curricular, existe la convicción de que es posible establecer la complejidad de los conceptos a partir de consideraciones inspiradas en la ciencia particular de que se trate y concretamente a partir de "redes lógicas". Dentro de esta concepción resulta —por ejemplo— que la fuerza (en Física) sólo se puede introducir en el currículo cuando se hayan logrado los conceptos de aceleración y de masa; o (en Biología) que para comprender el funcionamiento de un organismo superior, previamente debe haberse logrado el conocimiento del funcionamiento de la célula y que ésta sólo podrá comprenderse si se ha estudiado química y en particular la estructura de los aminoácidos, para cuya comprensión se prevé la necesidad de conocer la estructura atómica. . . (esta tendencia se puede sopesar por lo patético de los resultados que se dieron con la introducción de la "matemática moderna" en la escuela primaria). Es tan indiscutible esto, que las secuencias didácticas de los textos de enseñanza media parecen una copia las unas de las otras

- * Proyecto financiado parcialmente por Colciencias y en el cual la Fundación Educación y Ciencia ha colaborado con la asesoría científica. La primera parte de este proyecto se desarrolló durante 1984; la segunda parte está próxima a iniciarse.

Dino Segura
Coordinador Académico de la Escuela
Pedagógica Experimental (EPE)
Profesor del Departamento de Física de la
Universidad Distrital, Bogotá

En la práctica pedagógica corriente, los temas programados se ordenan de tal manera que deben aprenderse en el momento en que se incluyen y de una vez por todas. Se presupone así que en la construcción del conocimiento es posible en un salto único pasar del no saber al saber definitivo.

(porque los índices de los libros se han convertido en el programa y también en la secuencia didáctica).

De la revisión de libros de texto y de programas y parcelaciones (secuencias didácticas), resulta una tercera práctica pedagógica: los temas se van incluyendo sistemática y ordenadamente de tal manera que deben aprenderse en el momento en que se incluyen y de una vez por todas ya que explícitamente jamás se vuelve sobre ellos. Una vez se trata la temática del capítulo primero, el capítulo segundo se construye sobre ella y así sucesivamente, de manera que —por lo menos en principio— si no se sabe lo del capítulo tercero no podrá aprenderse lo del capítulo cuarto. Y si no se aprendió algo en el momento en que se trató en clase, en el desarrollo del programa nunca se vuelve sobre ello. Se presupone entonces que en la construcción del conocimiento es posible en un salto (en un salto único) pasar del no saber, al saber definitivo.

Finalmente, en la práctica pedagógica corriente y especialmente en la que se ofrece de acuerdo con programas y textos, no importa en dónde se encuentra el alumno (por ejemplo en cuanto a conocimientos anteriores), ni cuáles son sus expectativas o intereses. Como el programa debe iniciarse a partir de lo "simple", entonces se inicia en Física el tratamiento de la mecánica a partir de la partícula y de problemas "en ausencia de fricción", y en Biología, a partir de la célula y el intercambio a través de membranas, y en Química a partir de los elementos y los niveles de energía. Y esto, que es lo simple, resulta ser terriblemente complejo para el estudiante, con el agravante de que no existe la más mínima posibilidad de vincular lo que se enseña con la cotidianidad del estudiante, con sus vivencias y sus preguntas, con su experiencia. . .

FUNDAMENTOS PARA UNA ALTERNATIVA EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Las consideraciones que siguen han inspirado la práctica pedagógica en la

Escuela Pedagógica Experimental —y son a la vez un resultado de la reflexión sobre la práctica misma— y en particular la ejecución de un proyecto de investigación que se propone explorar la posibilidad de organizar la clase de ciencias naturales de sexto año de enseñanza básica (primero de bachillerato) alrededor de Actividades-Totalidad-Abiertas (ATA), cuya concepción toma en cuenta las objeciones enunciadas anteriormente y plantea de hecho, una alternativa distinta para la enseñanza media.

1. Si bien es cierto que reconocemos que las formas de elaboración de la información son diferentes en instantes diferentes de la vida de un individuo y que son susceptibles de explicación mediante teorías del desarrollo y en particular a partir de la psicología piagetiana, a nuestra manera de ver, en situaciones escolares, el dato acerca del nivel de desarrollo cognoscitivo no puede ser un punto de partida sino más bien puede convertirse en un resultado.

2. Las "redes lógicas" no tienen nada que ver con la complejidad de los conceptos. A su vez, didácticamente un concepto gana paulatinamente en complejidad, a partir de instancias de indiferenciación espontáneas. En la utilización del concepto mismo. Así pues, conceptos como fuerza o momentum pueden anteceder en su manejo práctico —y en realidad anteceden— a conceptos como masa o tiempo.

3. De lo anterior se infiere que el tratamiento de los conceptos debe darse en forma repetitiva, esto es, debe volverse sobre lo mismo logrando cada vez niveles de mayor complejidad. A su vez, los conceptos no pueden tratarse aisladamente, sino dentro de un todo que le dé sentido a la actividad.

4. Los temas que se incluyan en el desarrollo de la clase deben ser de interés para los estudiantes, deben corresponder a sus inquietudes y expectativas. En este sentido, la clase no puede responder a preparaciones rígidas y



previstas hasta en los últimos detalles, sino que debe permitir la exploración y especulación incidental a la largo de ella misma.

LAS ACTIVIDADES — TOTALIDAD — ABIERTAS (ATA)

En la selección de las actividades ATA buscamos ante todo corresponder a los intereses de los alumnos. Una vez planteada la actividad, permitimos las exploraciones que se deriven de ella a partir de las inquietudes e interrogantes que se susciten en la clase misma. Las denominamos TOTALIDAD puesto que se trata de proyectos que giran en torno a problemas prácticos que se relacionan con muchos temas pero que adquieren unidad a partir del problema mismo. Finalmente son ABIERTAS puesto que permiten —tanto las actividades como la dinámica de clase que se propone— la exploración libre de otras temáticas a partir de ellas. Veamos a continuación tres ejemplos: las herramientas, el motor eléctrico y la presión.

Las herramientas

Como por charlas anteriores los chicos estaban interesados en la construcción del motor eléctrico, pero queríamos darle a la actividad un sentido práctico enfatizando en la importancia de la producción de movimiento, iniciamos el curso con el tema "las herramientas". La idea era tratar esto rápidamente y llegar a la producción de movimiento a partir de los animales, las caídas y flujo del agua, del viento y estudiar luego las aplicaciones prácticas de tales movimientos, cómo se transforman éstos y los logros de los hombres relacionados con la utilización de tales "fuentes de movimiento". El tiempo previsto era de unas tres semanas.

Contrariando en parte nuestras dudas, el tema fue acogido con gran entusiasmo por los chicos quienes iniciaron una investigación casi autónoma, en los libros de sus casas y en la biblioteca escolar. El paso de la primera

edad de piedra a la nueva, con sus elementos revolucionarios: la agricultura y la domesticación de animales, con las nuevas necesidades que surgieron de ello y con la aparición de la "historia", la escritura y el dominio del fuego fueron temas cautivantes. Hasta allí desarrollamos prácticamente un programa lineal. Las divergencias respecto de lo previsto se presentaron cuando llegamos a la edad de los metales y nos preguntamos por qué fue primero la edad del cobre que la edad del hierro y cuál era el papel que desempeñaba en la explicación de ello el dominio del fuego. La inquietud que ocasionó el cambio de secuencia fue la presencia de confusión entre CALOR y TEMPERATURA. Es claro que la diferencia entre estos dos conceptos no es algo simple. Sin embargo, queríamos explorar la evolución de tal diferenciación.

Con esta meta en mente vimos cómo las elevaciones de temperatura NO están asociadas siempre con un suministro de calor. Para ello los chicos frotaron maderos entre sí y en ello desplegaron un vigor increíble. Pero aparece entonces la pregunta recíproca: ¿Será que siempre que se suministra calor, aumenta la temperatura? En la exploración a esta pregunta imaginamos esta situación. Supongamos que colocamos en la estufa una olla con agua: ¿Cómo será el aumento de la temperatura del agua?

Aquí las expectativas eran diversas; sin embargo, tenían puntos en común. Se pueden reducir a dos las posiciones: (1) Al pasar el tiempo, con un suministro constante de calor, siempre aumentará la temperatura. (2) Tal aumento de temperatura debe detenerse en alguna parte: "por lógica, puesto que no puede continuar aumentando indefinidamente". ¿Dónde se detenía? Quién sabe, posiblemente en 200 grados, o en 150, o quizás en 100. . . El primer grupo era mayoritario. "Si la temperatura no aumenta, ¿qué se hace el calor?"

Así las cosas, y armados de papel y lápiz para tomar los datos, realizamos la "experiencia". . . La temperatura

La clase no puede responder a preparaciones previstas hasta los últimos detalles; debe permitir la exploración y especulación incidental.

... El dato acerca del nivel de desarrollo cognoscitivo en situaciones escolares no puede ser un punto de partida sino más bien puede convertirse en un resultado...

dejó de aumentar a 94°C! Y lo mismo sucedió con vasijas pequeñas y con mayores o menores cantidades de agua.

— ¿Qué sucederá si en vez de agua calentamos alcohol?

— Si en el caso del agua se detiene, también debe detenerse cuando es alcohol pero, ¿dónde?

Cuando realizamos la experiencia la sorpresa no fue muy grande, era simplemente un dato más: el alcohol hirvió a 75°C y allí se "estacionó" la temperatura. ¡Cuando hierve no aumenta ya más!

A estas alturas nos habíamos olvidado del hombre primitivo y la experiencia no sólo era cautivante para los chicos sino que el maestro mismo la asumía con gran interés. Oye, ¿y qué sucederá si revolvemos agua y alcohol? ¿Hasta dónde aumentará la temperatura en este caso?

— Pues, hervirá por ahí en la mitad, por ahí a los 85°C.

— Depende de si hay mucha agua o mucho alcohol...

— Hagámoslo con iguales cantidades mezcladas...

— No, debe hervir más cerca del agua...

— O tal vez, cerca del alcohol.

— Bien, tomemos los datos.

Y los tomamos. Y a los 75°C hubo ebullición... y luego dejó de hervir... y a los 94°C volvió a hervir... Y, bueno, allí estaba todo hecho al respecto, los chicos afirmaron que cuando hirvió la primera vez "olía a alcohol" y que después "ya no olía a alcohol". Y que primero hervía el alcohol y luego el agua. Luego, ¿en qué consiste la destilación fraccionada? Bueno, entonces vamos a averiguar cómo se utiliza la destilación fraccionada en la separación

de los derivados del petróleo... Y vamos a averiguar también: ¿Qué es un alambique? En el desarrollo de este tema hubo otras actividades para tratar de desvincular el calor de la temperatura, pero lo dicho hasta aquí muestra el sentido que le damos a las actividades-totalidad-abiertas. Al final, el tema nos tomó unas siete semanas.

El motor eléctrico

La construcción de un motor eléctrico constituye verdaderamente un proyecto apasionante para chicos y chicas. A la par se trata de un problema tan rico en experiencias y en vínculos con otras temáticas que en torno a él se puede desarrollar todo el programa para un curso. La dificultad mayor que se presenta es la habilidad del maestro para ordenar las exploraciones que se proponen de tal manera que los temas no queden inconclusos y que las inquietudes de los principiantes de científicos se tomen en cuenta. La descripción que sigue es necesariamente incompleta e incidental.

De antemano ya sabíamos todos que una de las actividades del curso era la construcción de un motor eléctrico. Así pues, cuando presentamos a los chicos el motor armado y funcionando y planteamos que construiríamos uno cada uno, no hubo mayor sorpresa, pero sí una gran alegría. La actividad inicial consistía en desarmar el motor y denominar cada una de sus partes de acuerdo con su nombre técnico: rotor, escobillas, bobina de campo, conmutador, etc. A continuación, —y eso era claro para todos— se trataba de comprender el funcionamiento del motor, puesto que no se trataba de armar algo que no sabíamos cómo funcionaba, sino de comprenderlo y ser capaces de explicarlo a otros. Fue así como mientras cada quien construía las bobinas (de campo y de rotor) estudiamos:

- Los electroimanes y su similitud con los imanes permanentes. Al estudiarlos (relación con el número de vueltas, con el tipo de núcleo, cantidad de pilas que se conectan, etc.) vimos algunas de

Didácticamente, un concepto gana paulatinamente en complejidad, a partir de instancias de indiferenciación espontáneas en la utilización del concepto mismo.

sus aplicaciones (transporte de chatarra, instrumento de control).

- Las bobinas y su relación con imanes permanentes: fabricamos un galvanómetro (rudimentario) que cada quien utilizaba para saber si las pilas que teníamos servían o no servían.

- La construcción de imanes permanentes. Para los chicos fue un accidente la utilización de una puntilla de acero o de una aguja como núcleo, y la observación de que tales objetos no perdían su imantación cuando se interrumpía el flujo de corriente, lo cual induce a variadas investigaciones.

- Con los imanes permanentes construimos fabricamos brújulas: pinchamos un pedacito de papel con la aguja imantada y la colocamos en un plato de plástico con agua. Observamos cómo allí todas las agujas apuntaban hacia la misma parte y podíamos así definir el NORTE y el SUR en la escuela. Adicionalmente pintamos con esmalte la punta que apuntaba al NORTE y se observaba que a pesar de la pintura funcionó igual.

- Estudiamos entonces con estos imanes permanentes las interacciones entre ellos: atracciones y repulsiones. Este punto era fundamental puesto que de su comprensión depende la explicación del movimiento en el motor.

- Vimos cómo una bobina "sin núcleo" también interactúa con estos imanes naturales.

- De aquí se desprendió una actividad que nos llevó al estudio del cielo y que duró unas dos semanas. Construimos la brújula se habló sobre su uso, la orientación y sobre otras posibilidades de orientación: el cielo. Fue entonces ocasión de referirnos a los diferentes cuerpos celestes y a las características del sistema solar, y a las configuraciones del zodiaco estelar.

Quando regresamos del cielo ya poseíamos las dos bobinas y podíamos iniciar el montaje del motor eléctrico. Es aún cautivante recordar el interés

y las dificultades que se presentaban para apretar y aflojar tuercas y tornillos utilizando llaves fijas, pinzas, alicates, etc. por personas que quizá era la primera vez que las utilizaban.

- En el montaje tiene una dificultad especial la construcción del conmutador. Ahora bien, su dificultad no sólo es instrumental sino conceptual puesto que del conmutador depende el cambio de polaridad y consecuentemente el funcionamiento del motor.

- Mientras los chicos arman un motor cuyo campo fijo es producido por un electroimán, observamos también un motor que poseemos en la Escuela cuyo campo es producido por un imán natural. Esta circunstancia es importante puesto que con éste es muy visual la conversión del motor al generador. Y eso fue lo que hicimos.

- A estas alturas ya casi todos poseían su motor; lo llevaron orgullosos a su casa y explicaban a sus familiares cómo funcionaba.

- Cuando en el laboratorio produjimos electricidad mediante el generador, ello fue una conquista colectiva: ¡Se prendió el bombillo!

- El motor y el generador plantean entonces dos elementos claves en la transformación de energía. A pesar de que nosotros hablamos de la producción de movimiento y de las diferentes fuentes para la producción de movimiento, en cierto momento los chicos hablaban de fuentes y transformaciones de energía. Jamás se definió el término, pero también comenzamos nosotros a utilizarlo.

- Las actividades siguientes se relacionaron con la discusión acerca del origen de la electricidad: hicimos entonces "cadenas" que comenzaban con el sol y terminaban pasando por los ríos en las hidroeléctricas, o que terminaban luego de pasar por el petróleo en las termoeléctricas, o que terminaban luego de pasar por los cambios de

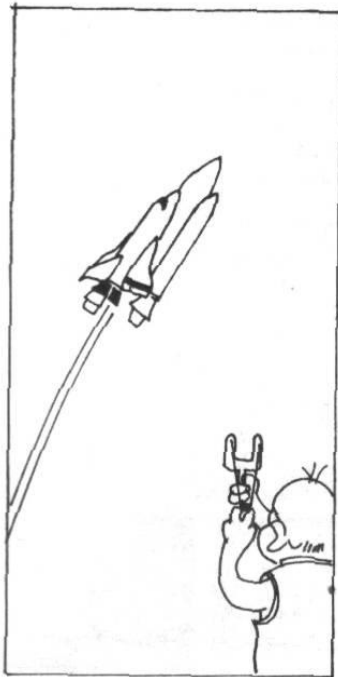


El tratamiento de los conceptos debe darse en forma repetitiva; debe volverse sobre lo mismo logrando cada vez niveles de mayor complejidad.

temperatura en los molinos de viento. ... (vale la pena mencionar que hicimos visitas a Termozipa y a Chivor que ayudaron a aclarar procesos).

- También produjimos electricidad a partir de una reacción química y nos metimos en algunos aspectos de la conducción eléctrica en líquidos, la *galvanoplastia* y la *electrólisis* (a propósito de la cual los chicos mantuvieron al profesor de inglés en un estado de angustia por el contacto que según ellos él había tenido con ácido sulfúrico...).

- Se presentaron actividades "sue-tas". Un día cualquiera se identificaron materiales conductores y no conductores de electricidad, mediante un aparato que consistía simplemente en una pila, un bombillo y dos alambres que cuando tocaban un conductor lo identificaban por la iluminación en el bombillo. Con este aparato, en parejas, recorrieron la escuela haciendo una clasificación tan completa que incluyó la piel y la saliva de compañeros y profesores.



Así pues, en una actividad pletórica de ideas e interrogantes, en la cual hechos simples como la preparación de los extremos del alambre de embobinar para lograr los contactos, daban ocasión para incursionar en otros temas, cubrimos significativamente para los chicos y dado el nivel con alto rigor, muchos contenidos importantes, pero lo que es más importante, mantuvimos una actitud positiva ante el saber y ante sus propias capacidades para afrontar y superar dificultades.

La presión

Esta no fue una actividad prevista de antemano, sino suscitada por circunstancias casuales. El desarrollo del tema se relata a continuación como un todo.

Nuestra aula tenía ciertas características especiales, que condujeron a una situación también especial: un día, al comienzo de la clase y cuando dábamos por terminada la unidad de flotación, por alguna razón que no recuerdo, F.G. se enfureció y quiso cerrar la puerta de un "portazo". Para sorpresa suya la puerta sólo llegó a tocar el marco y no se cerró. Estábamos en el umbral de una exploración bien interesante. Le dije: "vamos, F., lánzala más fuerte". Esto logró dos objetivos; por una parte desapareció su mal genio y por otra, dimos comienzo a una actividad que duraría varias sesiones.

Efectivamente F. intentó cerrarla por el mismo procedimiento sin lograr plenamente sus propósitos. La situación había sorprendido también a otros alumnos y todos estábamos a la expectativa; incluso, ante los fracasos de F. ellos trataron también de cerrarla, pero con el mismo resultado. Era un asunto insólito que de momento quedó sin explicación.

A fin de plantear otros fenómenos similares, que permitieran orientar la línea de su pensamiento hacia su solución, se inició un juego en el cual par-

ticipamos todos: abrir y cerrar la puerta tan rápido como fuese posible en dos casos: con la ventana y la puerta de atrás del salón cerradas y con las mismas abiertas. El resultado unánime fue constatar la mayor dificultad en el primer caso respecto del segundo. Como la actividad descrita nos tomó todo el tiempo disponible (y se prolongó luego en la hora de "recreo" y para algunos en sus casas) la tarea fue "encontrar alguna explicación a los resultados obtenidos".

La segunda sesión de este tema consistió en exponer cada quien la explicación pensada. Durante la sesión identificamos algunas preconcepciones ingenuas interesantes relacionadas con la "circulación del aire", "el deseo del aire de abandonar el recinto por la puerta, una vez se empezaba a abrir ésta. . . "La cuestión es que no hubo posibilidad para aproximarnos a una explicación "coherente" (desde mi punto de vista) a pesar del uso de la palabra "presión" en algunos casos.

En estas circunstancias preparamos otra observación que para ellos (para todos, inicialmente) estaba totalmente desconectada del problema de la puerta. Se trata del conocido montaje experimental en el cual un huevo cocido y sin cáscara pasa violentamente por el orificio de un frasco cuando en el interior de éste se ha logrado un vacío parcial originado por la condensación de vapor de agua. Como en el caso de la puerta de la sesión anterior, el trabajo para la casa consistía en reflexionar sobre el asunto, en búsqueda de alguna explicación al fenómeno.

La tercera sesión no se dedicó totalmente al problema previsto puesto que la atención del grupo estaba orientado hacia un trabajo práctico ya prometido y parcialmente iniciado: la construcción de una cámara oscura que permitiera tomar fotografías. Así pues, sólo durante un momento discutimos el asunto del huevo. De las discusiones quedó claro el papel "activo" que todos le daban al vacío. Más

explícitamente, hubo consenso en el grupo acerca del comportamiento del agua: el vapor al enfriarse se condensa y ocupa menos espacio; esta circunstancia hace que en el frasco, en la parte superior no haya "nada" y que esta "nada" "chupe" al huevo. Evidentemente, el problema del huevo no se conectó con el problema de la puerta.

La actividad siguiente consistió en una entrevista individual en la cual tratamos los dos problemas mencionados y un tercero, Aun cuando era mi propósito utilizar en algún momento de la entrevista una jeringa, fueron ellos quienes hicieron la analogía primero entre el caso de la puerta y la jeringa, y luego, espontáneamente —en la conversación— entre la puerta y la experiencia del huevo.

De las diferentes actividades, es claro que los casos de abrir la puerta (hacia adentro) y de tratar de comprimir con el émbolo el aire encerrado en la jeringa, son de explicación inmediata por la oposición que presenta el aire en los dos casos. Sin embargo, los casos del huevo, de la oposición al movimiento "hacia afuera" del émbolo con el orificio de la jeringa cerrado o de cerrar la puerta, con la ventana y la puerta de atrás cerrada, son inexplicables. La acción de "chupar" se convierte en una explicación última que ejerce activamente el vacío. . .

* * *

Hemos presentado tres ejemplos típicos de las actividades realizadas; uno en el cual a partir de algo previsto de antemano se llega a temas no previstos (el hombre primitivo); el otro, el caso del motor eléctrico, en el cual la atención se mantiene sobre la actividad propuesta pese a las múltiples exploraciones que se presentan por el camino y, finalmente, el caso de la presión, en el cual se toma como punto de partida, para un tema no previsto, una circunstancia casual. . .

Una condición fundamental del proceso enseñanza-aprendizaje es la tensión afectiva que debe existir entre lo que el estudiante quiere aprender y lo que el maestro enseña.

Mientras el maestro no contagie de ese enamoramiento por lo que se hace, no podrá convertirse la clase en esa aventura en la cual de una simple pregunta pueda desatarse una polémica rica en contenidos y especulaciones.

Queremos ahora volver sobre los planteamientos iniciales. En primer lugar, en la selección del tema no juega un papel determinante la estipulación inicial acerca de las posibilidades cognitivas de los alumnos ni de la complejidad del problema. Los problemas se tratan y enriquecen en el trabajo sobre ellos mismos y se profundiza en el tema hasta cuando los alumnos significativamente lo abordan. Cuando esto ya no es posible, se interrumpe. En el caso de calor y temperatura, por ejemplo, no se llega más allá de la intuición que se logra en el sentido de concluirse que calor y temperatura son dos conceptos distintos. La pretensión de ir más allá en el tratamiento de la diferenciación no fue más que eso, una pretensión. Igual sucedió con la conceptualización de la presión: para ellos es más fácil dar un papel activo al vacío que imaginar la existencia y la acción de la presión atmosférica. Aún más, en el caso de un globo o de una bomba inflada con gas que se eleva, el papel activo es también asignado al gas interior; la analogía que se planteó entre tales casos y la flotación en líquidos no sirvió para dar mayor claridad al problema. En casos como la diferenciación entre la imantación lograda en objetos de hierro y en objetos de acero colocados como núcleo de electroimanes no se logró más que la descripción. A nuestra manera de ver, el estudio del punto en el cual se detienen las actividades por no poderse profundizar más, puede constituirse a la inversa, en un elemento para identificar los niveles de desarrollo cognoscitivo de los chicos. Su conocimiento puede ser de importancia para otros asuntos.

Por otra parte, ni en la elección de cada tema, ni en el orden de las actividades que se presentan es un dato determinante la secuenciación en términos de la lógica interna de la disciplina. Encontramos que el problema del electromagnetismo se puede abordar significativamente sin fundamentos de mecánica diferentes a la física de sentido común que todos manejamos antes de ir a la escuela. Encontramos también —así como lo había encontrado Arquí-

medes— que se puede abordar el problema de la flotación antes de lograr las leyes de Newton. Identificamos la posibilidad de iniciar la mecánica con temas de dinámica (incluyendo la fricción), sin ninguna idea diferente a la cotidiana espontánea sobre movimiento.

En tercer lugar, reafirmamos dos planteamientos. Primero, que una condición fundamental del proceso de enseñanza-aprendizaje es la tensión afectiva que debe existir entre lo que el estudiante quiere aprender y lo que el maestro enseña. Este deseo de aprender, que en niveles inferiores puede lograrse a partir del tratamiento de proyectos interesantes para el estudiante, posiblemente puede fundamentarse en la confianza que haya logrado el alumno en sus propias capacidades y en el vínculo de lo que aprende con la problemática cotidiana. En segundo lugar, que el papel que asuma el maestro debe ser de partícipe en la construcción, en la exploración y en el desarrollo de la problemática. Mientras el maestro no contagie a sus alumnos de esa actitud de confianza ante lo que se realiza, de ese enamoramiento por lo que se hace, no podrá convertirse la clase en esa aventura en la cual de una simple pregunta pueda desatarse una polémica rica en contenidos y especulaciones.

Finalmente, debemos enfatizar en la importancia de la actitud experimental. Pero no de la realización no comprometida de montajes de experimentos pensados por el maestro. Se trata más bien de la concepción, montaje y realización de experiencias originadas en las ideas (correctas o incorrectas) de los alumnos. Se trata de la ejecución de experiencias inspiradas en las formas ingenuas de concepción del mundo que al ser contrariadas por los resultados permitan mediante la reflexión, la discusión y la polémica entre los estudiantes mismos avanzar hacia estadios superiores de comprensión de la realidad. No creemos en la experiencia diseñada por el maestro, estamos seguros de la experiencia diseñada por el alumno. □

Hacer matemáticas

La importancia de la adquisición de herramientas no debería hacer olvidar que la gran limitación que habitualmente rodea las matemáticas escolares es la de proponer trabajos cerrados, de respuesta única y ya respondidos por otros. Explorar, formular preguntas, conjeturar, reorganizar las propias conjeturas, producir generalizaciones, son los rasgos que constituyen la parte más atractiva de la actividad matemática y los que hacen que las matemáticas puedan ser de utilidad.

INTRODUCCION

Una periodista acababa de llegar a casa de Gabriel García Márquez para despertarlo con la nueva de que ya era Premio Nobel. Enhorabuena. ¿Cómo se siente? ¿Está trabajando en algo actualmente? "Pues sí. Estoy escribiendo una novela en la que la gente es feliz. Creo que hay que hacer algo para que la felicidad esté más de moda".

¿Quién no esperará con impaciencia una novela que nace de una idea tan bonita? Cabe imaginar paralelamente que con ese talento García Márquez no estará lejos de sentir, si no impaciencia, al menos alguna solidaridad con aquéllos que quieran escribir sobre el éxito escolar. A ver si se pone de moda.

Son muchos los que están de acuerdo en que en la enseñanza de las matemáticas se alcanza algún éxito cuando se ven realizados todos —o por lo menos algunos— de los deseos siguientes:

Presentar las matemáticas como una materia para usar y para disfrutar. Las matemáticas, como tantas otras cosas, deben proponerse que quien las practica supere un umbral mínimo de satisfacción. Esa satisfacción puede discurrir por tres canales: el del placer, el del conocimiento, el del uso. Cuando no se alcanza ese umbral mínimo se ha perdido miserablemente el tiempo.

Promover una actitud favorable hacia ellas. Lo cual beneficiará sin duda al profesor igualmente. Para los profesores de alumnos insatisfechos, la experiencia escolar es también generalmente insatisfactoria.

Desarrollar la confianza en su uso. Evitando el rechazo a algo que está fuera de los límites de la comprensión y del éxito, y el amargo sabor de derrota con que gran número de alumnos sale del colegio o del instituto.

Favorecer el movimiento de puesta en marcha. Comprender la solución de un problema que otra persona ha resuelto es algo simple a veces; pero generalmente

* Tomado de la revista *Enseñanza de las ciencias*, Vol. 1 No. 1 (1983) publicada por el Instituto de Ciencias de la Educación de la Universidad Autónoma de Barcelona (España).

es mucho más difícil descubrir por uno mismo la solución. En realidad, la parte más difícil de la resolución de un problema matemático es, muy a menudo, "empezar", "ponerse en marcha", "conectarse". Y es fácil subestimar las cualidades tanto de determinación como de imaginación que pueden necesitarse para ello.

Ayudar a la solidificación de aspectos psicológicos que propician el aprendizaje:

interés por el trabajo que se hace
interés en el propio progreso
significatividad de la tarea
atención reflexiva
ausencia de emoción no pertinente
pérdida de miedo al ridículo
eliminación de los mecanismos de defensa que cualquiera tiene ante una situación nueva, en particular un problema.

Fomentar la actitud básica en matemáticas: la de resolver problemas.

Situar a todos los alumnos en igualdad de condiciones al comienzo de una tarea. Cuando se propone en clase calcular la ecuación de la tangente a la curva $y = \sqrt{\tan x}$ en el punto de ella que tiene como abscisa $\pi/3$, se establece indefectiblemente una partición que rompe la clase en tres bloques: el de los que tienen los conocimientos técnicos adecuados y la necesaria confianza en sí mismos; el de los que saben que desconocen las herramientas imprescindibles y que quedan automáticamente fuera de juego; y un tercer grupo intermedio que probablemente se verá frustrado al final por algún error conceptual o algún fallo de memoria.

De acuerdo en que la mayor parte del trabajo matemático se hace sobre elementos técnicos que hay que tener adquiridos. Y en que no puede permanecerse en el bachillerato en un campo de problemas que no requieren conocimientos previos. Pero la importancia de la adquisición de herramientas técnicas no debería hacer olvidar que la gran limitación que habitualmente rodea las matemáticas escolares y medias es la de proponer trabajos cerrados, de respuesta única y ya respondidos por otros. Explorar, formular preguntas, conjeturar, reorganizar las propias conjeturas, producir generalizaciones, son los rasgos que constituyen la parte más atractiva de la actividad matemática y los que hacen que las matemáticas puedan ser de utilidad.

El pensamiento reproductivo, es decir, el hábito de usar respuestas aprendidas tiene dos ventajas: es más fácil de enseñar y es más fácil de someter a exámenes. El pensamiento productivo, que consiste en crear nuevas soluciones y usar nuevas organizaciones, es más difícil de enseñar, requiere más tiempo y necesita de otros esquemas de temporalización de la enseñanza y de estructuración de la clase.

Ambos constituyen los polos del conflicto entre el principio de inercia y el principio de acción en la enseñanza. Lo que sigue, contado a través de dos historias, quiere sugerir algunas razones para inclinarse a favor del segundo principio.

16	3	2	13
5	10	11	8
9	6	7	12
4	15	14	1

PRIMERA HISTORIA

Octubre. Tres días de trabajo. Principales personajes: 38 alumnos de primer curso de bachillerato. Comienza así:

Profesor — "En este cuadro

faltan los números 9, 12 y 13. ¿Dónde crees que deben colocarse?

Siguen unos pocos minutos de silencio y de actividad. Se levantan varias manos. El profesor acude a ver lo que quieren decir. "Aquí, aquí y aquí, porque así todas las filas suman lo mismo, 34". Otras manos: "Aquí, aquí y aquí, porque veo que todas las filas y todas las columnas suman lo mismo". Más manos.

Profesor — "Quienes han puesto aquí el 9 y aquí el 12, ¿por qué no los han puesto en el otro orden?"

Poco después: "Ya lo tengo. Es mejor cambiarlos porque así...".

El profesor escribe en la pizarra la colocación que la gran mayoría considera adecuada y pregunta: "¿Hay alguien que haya encontrado la solución de otra manera, es decir, sin sumas?"

Una alumna: "Sí. Yo los he puesto de ese modo porque he visto que había unas figuras".

Profesor — "Bien.* Ahora, en lugar de recibir el cuadro hecho —o casi hecho— vais a producir vosotros vuestros propios cuadros. Este es el problema:

"Busca un cuadro de tres filas y tres columnas tal que, estando formado por números todos distintos, la suma de cada fila, cada columna y cada diagonal sea la misma.

Sería preferible que no encontrases la solución por casualidad, sino que buscases un método, un procedimiento que te sirviese para más de una ocasión".

Al cabo de pocos minutos casi todos tienen escrito uno de esos cuadros mágicos. El profesor pide para el día siguiente que traigan escrito un cuadro mágico que 'contenga en él infinitos a la vez, es decir que no tengan escritos solamente números sino letras que indiquen algo general'.

Muchos llegaron sin tener más que una solución particular. Otros tenían varias, otros tenían un método, pero no sabían hacerlo explícito. Hubo quien tenía la siguiente escritura 'general'.

pensando, sin duda, que generalizar es poner letras sin dar leyes. Otro escribe en la pizarra.

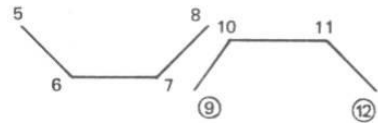
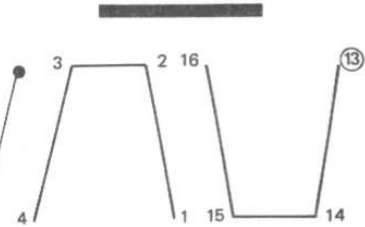
Profesor — "Pon un ejemplo". Y rápidamente escribe

confundiéndose así dos números pares que, en su cabeza, son distintos, con dos números pares que en la escritura son el mismo. Y revelando ese dato básico para la enseñanza que consiste en que la cantidad de conocimientos de que cada uno de nosotros es *consciente* es muy inferior a la cantidad de lo que *sabemos*, y que la cantidad de conocimientos de los que somos conscientes es muy superior a la cantidad de conocimientos que sabemos *verbalizar*.

Preguntada la clase cómo se sale de tal situación, algunos señalan que la escritura 'general' es incorrecta.

Profesor — "¿Alguien tiene alguna que sea correcta?" Tres alumnos escriben cosas como ésta:

* El profesor había esperado que este fuera el procedimiento elegido por la mayoría. ¿La razón? Ese fue el procedimiento que él siguió cuando vió el cuadrado en "La melancolía" de Albert Dürero.



I	F	D
H	G	C
B		A

$2n$	$-n$	$2n$
$-2n+1$	$2n+1$	$2n+1$
$2n$	$2n+1$	$-2n$

8	-1	2
-3	3	9
4	7	-2

$A-1$	$A-2$	$A+3$
$A+4$	A	$A-4$
$A-3$	$A+2$	$A+1$

[1]

$a-1$	$a-4$	$a+5$
$a+6$	a	$a-6$
$a-5$	$a+4$	$a+1$

$a-z$	$a-4z$	$a+5z$
$a+6z$	a	$a-6z$
$a-5z$	$a+4z$	$a+z$

$a-z$	$a+z-z$	$a+z$
$a+z+y$	a	$a-z-y$
$a-y$	$a-z+y$	$a+z$

$a+1$	$a+14$	$a+15$	$1+4$
$a+12$	$a+7$	$a+6$	$a+9$
$a+8$	$a+11$	$a+10$	$a+5$
$a+12$	$a+2$	$a+3$	$a+16$

5	2	8
8	5	2
2	8	5

P. — "Yo puedo escribir otras. Voy a empezar desde el centro, poniendo a y luego poco a poco y con cuidado iré ajustando lo que sea conveniente así:

Y ahora podéis hacer vosotros otras más generales, manteniendo la a , pero quitando importancia a los números que la rodean".

Casi en seguida alguien escribe en la pizarra:

P. — "La clase ha terminado. El trabajo que propongo para que traigáis mañana es: a elegir entre escribir cuadrados mágicos 3×3 aún más generales o escribir cuadrados mágicos 4×4 ".

A la mañana siguiente traen algunas cosas interesantes:

y comentamos ambas:

En el 4×4 , "¿cómo lo has hecho?". "Muy fácil, he mirado el primero que hicimos".

En el de 3×3 : "Estupendo, aquí tenemos tres posibilidades en lugar de dos. ¿Cómo lo has hecho?". "He partido del cuadro [1] y donde pone 1 he puesto z , y donde pone 5 he puesto y ". "Pon un ejemplo". "Elijo, a capricho, $a = 5$, $y = 3$, $z = 0$, con lo cual queda

P. — "¡Pero eso no es un cuadrado mágico! No pueden elegirse a capricho a , z , y . Es preciso imponer condiciones. Mejor será que lo vuelvas a mirar en casa con atención".

En efecto, lo miró con más atención e impuso las siguientes condiciones: "y es cualquier número; z es impar; $a = zy$ ".

Esa decisión de no darse por vencidos podría ser lo más destacable de esta historia si no hubiese algo aún más reconfortante: el hecho de que afrontaron las diversas etapas que fueron presentándose sin buscar desesperadamente en su memoria y sin pedir con ansiedad la solución a otra persona.

SEGUNDA HISTORIA

Un día de diciembre. Personajes: 30 alumnos de segundo curso de bachillerato. En esta historia no hay conversaciones, sino escritura. El hilo de la trama fue el siguiente:

"44 es un número feliz porque

$$44 \rightarrow 4^2 + 4^2 = 32 \rightarrow 3^2 + 2^2 = 13 \rightarrow 1^2 + 3^2 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1$$

Investiga sobre números felices".

El trabajo había de hacerse en casa, sin limitación de tiempo, pero entregando por escrito el producto de la investigación.

Se observará que el enunciado tiene un carácter ambiguo: no se dice, por ejemplo, cuántas cifras ha de tener un número feliz; más aún, no se da una definición precisa de lo que es un número feliz. Pero ¿es siempre conveniente eliminar toda ambigüedad en la presentación de un problema? La polivalencia es una característica generalmente consustancial a las situaciones ricas en contenido. Es

del estudio de esas situaciones de donde debe venir la supresión de la ambigüedad, si ello es posible, precisando las condiciones iniciales y llevando a la consideración de las diversas opciones.

De acuerdo con ello, los personajes han interpretado con libertad. No todos los papeles pueden traerse aquí, pero incluiremos algunos significativos.

Alfredo

Los números felices son aquéllos en que la sucesiva suma de sus cuadrados da 1.

Por ejemplo:

$$44 \Rightarrow 4^2 + 4^2 = 32 \Rightarrow 3^2 + 2^2 = 13 \Rightarrow 1^2 + 3^2 = 10 \Rightarrow 1^2 + 0^2 = 1.$$

Son números felices: el 44, el 23, el 32, el 31, el 10 y la unidad seguida de ceros. Todos los números que contengan las anteriores cifras y que las restantes sean ceros: 44000; 4004; 400400; etc.

Todos los números que al sumar sus cuadrados nos dé la unidad seguida de ceros.

Cosme

1o.) Todas las potencias de 10 son "números felices".

$$10^n \rightarrow 1^2 + 0^2 + 0^2 + \dots + 0^2 = 1$$

2o.) Si tenemos un "número feliz" de dos cifras, y las permutamos o invertimos sus posiciones, obtenemos otro "número feliz".

$$\begin{aligned} 13 &\rightarrow 1^2 + 3^2 = 1 + 9 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1 \\ 31 &\rightarrow 3^2 + 1^2 = 9 + 1 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1 \\ 32 &\rightarrow 3^2 + 2^2 = 9 + 4 = 13 \rightarrow 1^2 + 3^2 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1 \\ 23 &\rightarrow 2^2 + 3^2 = 4 + 9 = 13 \rightarrow 1^2 + 3^2 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1 \end{aligned}$$

3o.) Un "número feliz" multiplicado por 10 o por potencias de 10 se transforma en otro "número feliz":

$$13 \cdot 10^n \rightarrow 1^2 + 3^2 + 0^2 + \dots + 0^2 = 1 + 9 = 10 \Rightarrow 1^2 + 0^2 = 1$$

Antonio A.

El 44 es un número feliz porque:

$$44 \rightarrow 4^2 + 4^2 = 32 \rightarrow 3^2 + 2^2 = 13 \rightarrow 1^2 + 3^2 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1.$$

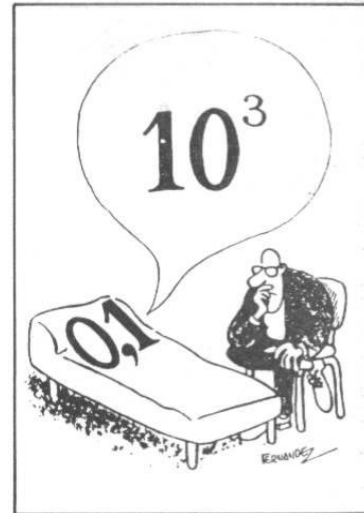
La definición de un número feliz es cuando la suma de los cuadrados de las componentes es 1.

Números felices:

—todos los números que estén compuestos por la unidad seguida de ceros. Ej.: $1000 \rightarrow 1^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 = 1$

El cuadrado de 3 más el cuadrado de 1 da 10, por lo que todos los números que la suma de sus cuadrados da 13 ó 31, o estos mismos números son números felices.

$$\begin{aligned} 31 &\rightarrow 3^2 + 1^2 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1 \\ 13 &\rightarrow 1^2 + 3^2 = 10 \rightarrow 1^2 + 0^2 = 1 \end{aligned}$$



— El cuadrado de 8 más el cuadrado de 6 da 100, por lo que todos los números que la suma de sus cuadrados da 68 u 86, o estos mismos números son números felices.

$$68 \rightarrow 6^2 + 8^2 = 100 \rightarrow 1^2 + 0^2 + 0^2 = 1$$

$$86 \rightarrow 8^2 + 6^2 = 100 \rightarrow 1^2 + 0^2 + 0^2 = 1$$

Conclusión:

Vamos a tomar como números felices todos los números cuya suma de los cuadrados de las componentes dé los siguientes números: 31, 13, 68, 86. También dichos números seguidos de ceros, o que los ceros vayan entre medias de las dos cifras.

Emilio

— Los números felices del 1 al 100 son 1, 7, 10, 13, 19, 23, 28, 31, 32, 44, 49, 68, 70, 79, 82, 86, 91, 94, 97, 100.

— Todos los demás van dando sumas parciales que se repiten constantemente y que siempre acaban en el No. 4. Ejemplo:

$$15 \Rightarrow 1^2 + 5^2 = 1 + 25 = 26 \Rightarrow 2^2 + 6^2 = 4 + 36 = 40 \Rightarrow 4^2 = 16 \Rightarrow 1^2 + 6^2 = 1 + 36 = 37 \Rightarrow 3^2 + 7^2 = 9 + 49 = 58 \Rightarrow 5^2 + 8^2 = 25 + 64 = 89 \Rightarrow 8^2 + 9^2 = 64 + 81 = 145 \Rightarrow 1^2 + 4^2 + 5^2 = 1 + 16 + 25 = 42 \Rightarrow 4^2 + 2^2 = 16 + 4 = 20 \Rightarrow 2^2 = 4$$

$$66 \Rightarrow 6^2 + 6^2 = 36 + 36 = 72 \Rightarrow 7^2 + 2^2 = 49 + 4 = 53 \Rightarrow 5^2 + 3^2 = 25 + 9 = 34 \Rightarrow 3^2 + 4^2 = 9 + 16 = 25 \Rightarrow 2^2 + 5^2 = 4 + 25 = 29 \Rightarrow 2^2 + 9^2 = 4 + 81 = 85 \Rightarrow 8^2 + 5^2 = 64 + 25 = 89 \Rightarrow 8^2 + 9^2 = 64 + 81 = 145 \Rightarrow 1^2 + 5^2 = 1 + 25 = 26 \Rightarrow 2^2 + 6^2 = 4 + 36 = 40 \Rightarrow 4^2 = 16 \Rightarrow 1^2 + 6^2 = 1 + 36 = 37 \Rightarrow 3^2 + 7^2 = 9 + 49 = 58 \Rightarrow 5^2 + 8^2 = 25 + 64 = 89 \Rightarrow 8^2 + 9^2 = 64 + 81 = 145 \Rightarrow 1^2 + 4^2 + 5^2 = 1 + 16 + 25 = 42 \Rightarrow 4^2 + 2^2 = 16 + 4 = 20 \Rightarrow 2^2 = 4$$

— Por tanto, podemos decir que si en un n° cualquiera efectuamos las primeras sumas y no nos da alguno de los números felices del 1 al 100, *es que no es feliz*, ejem. $1582 \Rightarrow 1^2 + 5^2 + 8^2 + 2^2 = 1 + 25 + 64 + 4 = 94$.

sí es feliz, luego 1582 es feliz.

$$2327 \Rightarrow 2^2 + 3^2 + 2^2 + 7^2 = 4 + 9 + 4 + 49 = 66$$

no es feliz, luego 2327 tampoco lo es.

Antonio B

El 44 es un número feliz.

A un número de dos o más cifras se le considera feliz cuando la suma del cuadrado de cada una de sus cifras da un número al cual aplicamos la misma fórmula y así sucesivamente hasta que dé el número final 1.

Como ejemplo más sencillo diremos que el 10, 100, 1000, etc. son números felices ya que la suma del cuadrado de sus cifras es 1 por eso diremos como primera ley que todo número que sea un 1 seguido de los ceros que se quiera es un número feliz.

Deducimos así que números felices hay infinitos pero no sólo de múltiplos de 10 elevado a n sino que con esto deducimos una segunda ley que será que cualquier número que dé como suma del cuadrado de sus cifras un número que sea un 1 seguido de ceros, será número feliz.

$$564331 \Rightarrow 5^2 + 6^2 + 4^2 + 3^2 + 3^2 + 1^2 = 100 \Rightarrow 1^2 + 0^2 + 0^2 = 1$$

$$103 \Rightarrow 1^2 + 0^2 + 3^2 = 10 \Rightarrow 1^2 + 0^2 = 1$$

$$99999986 \Rightarrow 9^2 + 9^2 + 9^2 + 9^2 + 9^2 + 8^2 + 6^2 = 1000 \Rightarrow 1^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 = 1$$

Número super feliz es:

99999999999999999999 y 100 nuevas más y seguidamente $61 \Rightarrow 9^2 + 9^2$
etc..... = 10000 $\Rightarrow 1$

Si se atreve y tiene tiempo compruébelo.

Otra conclusión a la que podemos llegar es que es también número feliz aquél al cual aplicando la fórmula acostumbrada nos da un número que a su vez nos da un número que sea 10^h y así seguidamente.

Ejemplo: $622 \Rightarrow 44 \Rightarrow 32 \Rightarrow 13 \Rightarrow 10 \Rightarrow 1$

Y como última conclusión diré que para sacar más números felices podemos cambiar y revolver el orden de las cifras ya que hay un dicho que dice "El orden de los sumandos no altera la suma".

Es lo mismo poner 94111 que 104119 o 41911, etc. Si nos ponemos en este plan no dejamos de hacer números felices hasta el día del juicio final.

$$94111 \Rightarrow 100 \Rightarrow 1$$

$$104119 \Rightarrow 100 \Rightarrow 1$$

$$41911 \Rightarrow 100 \Rightarrow 1$$

Y terminando con los números felices yo diré que también soy feliz porque mi cuadrado da 1 y porque por fin lo he sacado.

La lectura de los 30 trabajos permite observar una gradación de dificultades —y de éxitos— en la investigación:

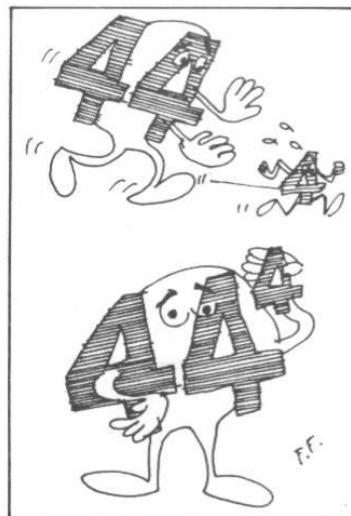
- La etapa empírica (ver si tal y tal número son o no felices).

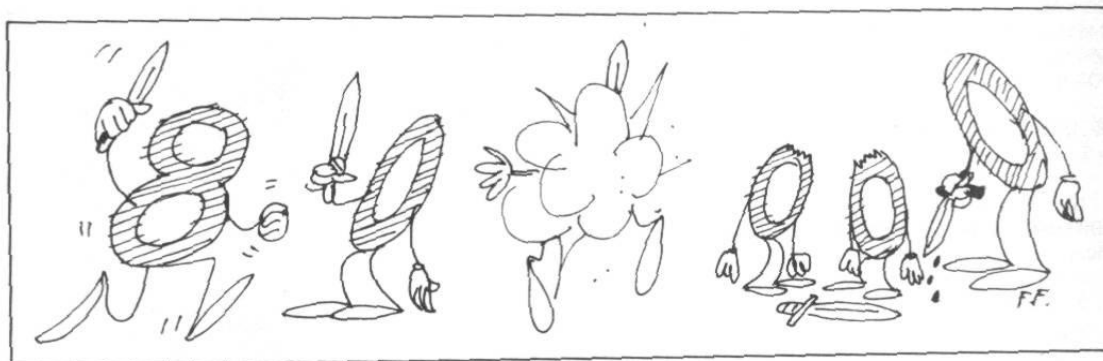
Buena parte de los alumnos no pasa de esta etapa.

- Descubrimiento de leyes generales: ceros intercalados, permutaciones de las cifras, ...

Pero este descubrimiento es sólo una parte dentro de la investigación porque hay que advertir la necesidad de considerar todos los casos, o dicho de otro modo, encontrar

- La manera de generar números felices. El hallazgo de un método: 'comenzar desde el final' como forma de salir de lo empírico (a partir del 1 llevo al 10, del 10 llevo al 13 o al 31 —y al 310 y al 103... —del 103 llevo al ...; a partir del 1 llevo al 100 o al 1000...)
- El sacar partido de circunstancias fortuitas: el hecho imprevisto y chocante —señalado solamente por un alumno— de que si no se llega al 1 se llega al 4



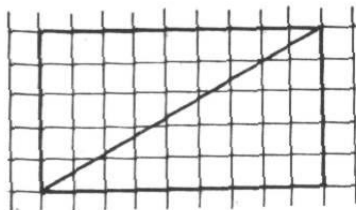


(no estaría bien ignorar que este alumno, Emilio, tenía un rendimiento 'académico' por debajo de la media).

- La escritura final de los resultados. En la que se advierte en no pocos casos una destreza completamente inhabitual en las situaciones que hemos llamado de pensamiento reproductivo.

Quizás le agrade al lector participar como un personaje más en una tercera historia. Basta con que dedique un poco de su tiempo a este problema:

"En un papel cuadriculado se toma un rectángulo con sus vértices situados en puntos del retículo. ¿A cuántos cuadrados unidad corta esa diagonal? Generalice. Demuestre".



Seguramente tendrá ocasión de comprobar que gran parte de las dificultades y de las recompensas que halle al resolverlo serán muy semejantes a las que tienen los alumnos.

No exagera Dienes cuando afirma que la enseñanza de las matemáticas tal como suele hacerse no mejora ninguna parte de la mente, excepto posiblemente la memoria, porque ni la inventiva, ni la investigación, ni la imaginación están presentes en su aprendizaje habitual.

De ahí que el fracaso escolar no es sólo el de los que suspenden los exámenes, sino también de los que los aprueban. Y yo no veo que se pueda despegar hacia el éxito más que desde dos puntos de partida que se apoyan mutuamente: I) las matemáticas son un modo de conocer y no un modo de observar lo que otros conocen; II) lo que pueda haber de estimulante en la labor de un profesor proviene menos de su pasión por enseñar que de su pasión por aprender, menos de su habilidad para impartir conocimientos que de su capacidad para subordinar éstos a la *actividad cognoscitiva* de sus alumnos.

Bellas palabras tiene Caleb Gattegno ('Mathematics Teaching', no. 100, Septiembre de 1982) para convocar a esta tarea:

"El futuro exigirá más y más implicación en el estudio del aprendizaje por parte de todos aquellos que aprenden (entre los cuales se incluyen los profesores), de modo que la enseñanza pueda ser desarrollada como la ayuda que las viejas generaciones ofrezcan a las más jóvenes con objeto de favorecer la evolución humana sobre la Tierra. No hay ningún otro significado para la educación.

•
Hacer cualquier otra cosa es perder el tiempo.

¿Desea usted querido lector, hacer realmente eso?" □

Carlo Federici C.

El paso de lo finito a lo infinito: del algoritmo euclidiano finito al algoritmo euclidiano infinito

En este artículo, y en otros de próxima publicación, se busca a un nivel elemental introducir el paso de lo finito a lo infinito. En este caso se trata de la extensión del algoritmo euclidiano (algoritmo de las divisiones sucesivas para la búsqueda del máximo común divisor).

Cociente de dos longitudes conmensurables y fracciones continuas finitas

Si se consideran tres segmentos A, B, C y con a, b, c se indican sus respectivas longitudes y resulta, como en el caso de los representados en la figura 1, que:

$$A = 3 \cdot C \quad \text{y} \quad B = 2 \cdot C$$

entonces se dice que "el cociente de a con b es igual al cociente de 3 con 2" y se simboliza así:

$$a/b = 3/2$$

Al segmento C se acostumbra llamarlo "un *divisor* común de A y de B " o "un *submúltiplo* común de A y de B ", de hecho es el *máximo*.

Esta proposición se puede enunciar de diversas maneras equisignificativas que se reducen esencialmente a las de la tabla 1.

En el caso en que se den dos segmentos A y B sin indicar ningún divisor común, ¿cómo es posible conseguirlo — ¡si existe! — para luego poder hablar, como en el caso anterior, del cociente a/b ?

El proceso es el siguiente: por medio de una *regla*, que no está graduada en centímetros, pero que sí puede llevar señales, o con el compás de puntas fijas, *se opera entre A y B* transportando B sobre A , consecutivamente, tantas veces como sea posible (1) y se denota C al resto (ver fig. 2). De la misma manera *se opera entre B y C* transportando C sobre B , consecutivamente, tantas veces como sea posible (2) y se denomina D al resto. Igualmente *se opera entre C y D* transportando D sobre C , consecutivamente, tantas veces como sea posible (3) y se



El paso de lo finito a lo infinito

Carlo Federici C.
Universidad Nacional
Bogotá

Tabla 1

$a/b = 3/2$	$b/a = 2/3$
$a = (3/2) \cdot b$	$b = (2/3) \cdot a$
$a = 3 \cdot (b/2)$	$b = 2 \cdot (a/3)$
$a = (3 \cdot b)/2$	$b = (2 \cdot a)/3$
$2 \cdot a = 3 \cdot b$	$b/2 = a/3$

denomina como E al resto. Similarmente *se opera entre D y E*, transportando E sobre D , consecutivamente, tantas veces como sea posible (2) y ... en este caso no hay resto; entonces el proceso ha terminado y se pueden escribir, ordenadamente y en forma de sistema los resultados encontrados:

$$A = 1 \cdot B + C$$

$$B = 2 \cdot C + D$$

$$C = 3 \cdot D + E$$

$$D = 2 \cdot E$$

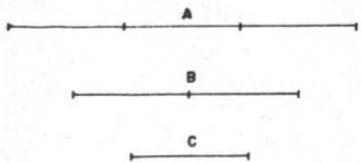
Reemplazando de abajo hacia arriba, se llega a:

$$A = 23 \cdot E$$

$$B = 16 \cdot E$$

y por lo tanto

$$a/b = 23/16$$



El transporte se puede realizar usando regla y escuadra para trazar paralelas como lo indica la figura 3.

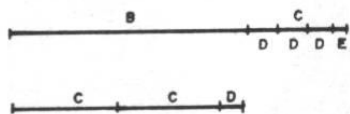
El proceso que se ha seguido para encontrar el cociente de dos longitudes —en el caso de que exista un divisor común— es precisamente el de iterar una operación de transporte —que es el análogo de una división (como sustracción repetida) porque permite, cada vez, dado por ejemplo el “dividendo” (A) y el “divisor” (B) encontrar al “cociente” (1) y el “resto” (C) —y se llama *algoritmo euclidiano*— y es el mismo que sirve para buscar el mcd de dos números como por ejemplo el de 23 con 16:

$$\begin{array}{r} 23 \overline{)16} \\ 7 \quad 1 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 16 \overline{)7} \\ 2 \quad 2 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 7 \overline{)2} \\ 1 \quad 3 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 2 \overline{)1} \\ 0 \quad 2 \end{array}$$



en donde el último divisor, que es el penúltimo resto, es el máximo común divisor (mcd) de 23 con 16:

$$\text{mcd}(23, 16) = 1$$

En el caso de los segmentos A y B , E es el máximo de los “divisores” comunes a A y a B . En este caso se dice que “las longitudes de A y B son conmensurables” porque existe una longitud (la e) que es una unidad común de medida (= mensura = mensura).

Es posible re-mirar el proceso con el siguiente esquema “formal”:

$$* \quad \frac{A}{B} = \frac{1 \cdot B + C}{B} = 1 + \frac{C}{B} = 1 + \frac{1}{\frac{B}{C}} = 1 + \frac{1}{\frac{2 \cdot C + D}{C}} =$$

$$= 1 + \frac{1}{2 + \frac{D}{C}} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{\frac{C}{D}}}$$

y así sucesivamente hasta llegar a

$$= 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{3 + \frac{1}{\frac{2 \cdot E}{E}}}} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{3 + \frac{1}{2}}}$$

Este mismo proceso se puede ejecutar sobre la fracción $23/16$ que se transforma entonces en lo que se llama una *fracción continua finita*.

$$\frac{23}{16} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{3 + \frac{1}{2}}}$$

que se usa escribir también

$$\frac{23}{16} = fc(1, 2, 3, 2)$$

Cociente de dos longitudes inconmensurables y fracciones continuas infinitas

Considérese el cuadrado $ABCD$ (figura 4) y háganse las siguientes construcciones y demostraciones:

Cs₁) la diagonal BD

Cs₂) el punto A' de BD y tal que $BA' \equiv BC$

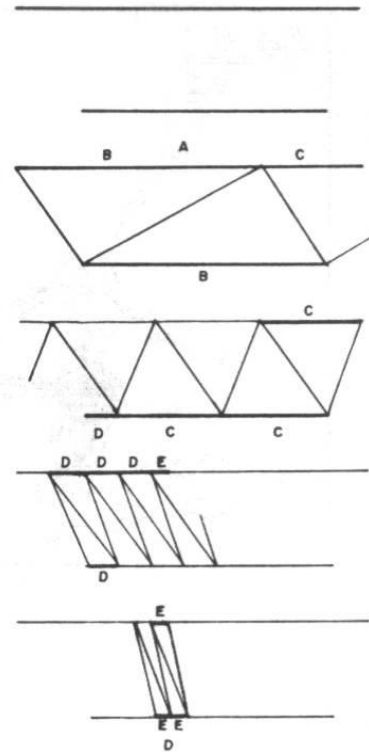
Cs₃) el segmento $A'B'$ tal que B' es un punto de CD y $A'B' \perp BD$

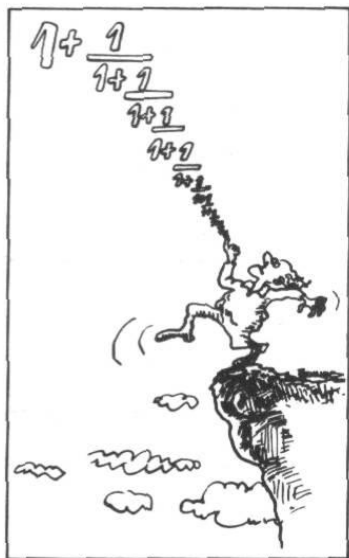
$$dm_1) \left\{ \begin{array}{l} \angle DA'B' = \pi/2 \\ \angle A'DB = \pi/4 \end{array} \right\} \rightarrow \angle A'B'D = \pi/4 \rightarrow A'B' \equiv A'D$$

$$dm_2) \left\{ \begin{array}{l} BA' \equiv BC \\ BB' \equiv BB' \\ BA'B' \equiv BCB' \end{array} \right\} \rightarrow \triangle BA'B' \equiv \triangle BCB' \rightarrow CB' \equiv A'B'$$

Cs₄) $\{B'C' \parallel A'D \text{ y } DC' \parallel A'B' \text{ y } D' = D\} \rightarrow A'B'C'D'$ es un cuadrado.

Es obvio que las construcciones y las demostraciones que se han hecho sobre el cuadrado $ABCD$ se pueden repetir sobre el cuadrado $A'B'C'D'$ y así indefini-





damente. Es conveniente notar que cada cuadrado construido, desde el segundo, rota alrededor de D , en sentido antihorario y con respecto al que lo precede en un ángulo cuya amplitud, medida en radianes, tiene el valor de $\pi/4$.

Si se denominan las longitudes de los segmentos $BD, BC, A'D, A''D, A'''D$ como a, b, c, d, e , respectivamente, es fácil ver que

$$\begin{aligned} a &= 1 \cdot b + c \\ b &= 2 \cdot c + d \\ c &= 2 \cdot d + e \\ d &= 2 \cdot e + f \\ e &= 2 \cdot f + g \end{aligned}$$

y así indefinidamente.

Lo anterior permite afirmar, aún con un abuso de lenguaje que: "la" diagonal de un cuadrado y "el" lado del cuadrado son *incommensurables*, es decir que: no existe un segmento que "quepa" un número entero de veces tanto en la diagonal como en el lado. En este caso el algoritmo euclidiano es *infinito* y obliga a concluir que los números pensados como cocientes de magnitudes no pueden ser agotados por los fraccionarios. Se puede escribir, pero sólo "formalmente", que

$$a/b = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \dots}}}$$

en forma de fracción continua infinita. Si se desprecian ordenadamente los restos $c, d, e, \dots$ se puede calcular el valor de a/b por el método de *aproximaciones sucesivas*:

Primera aproximación:

$$a \cong 1 \cdot b \rightarrow \boxed{a/b \cong 1/1}$$

Segunda aproximación:

$$a = 1 \cdot b + c \cong 1 \cdot (2 \cdot c) + c = 2 \cdot c + c = 3c$$

$$b \cong 2 \cdot c$$

$$\boxed{a/b \cong 3/2}$$

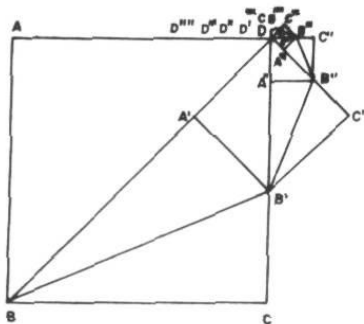
Tercera aproximación:

$$a = 1 \cdot b + c \cong 1 \cdot (5 \cdot d) + 2 \cdot d = 5 \cdot d + 2 \cdot d = 7 \cdot d$$

$$b = 2 \cdot c + d \cong 2 \cdot (2 \cdot d) + d = 4 \cdot d + d = 5 \cdot d$$

$$c \cong 2 \cdot d$$

$$\boxed{a/b \cong 7/5}$$



Cuarta aproximación:

$$\begin{aligned} a &= 1 \cdot b + c \cong 1 \cdot (12 \cdot e) + 5 \cdot e = 12 \cdot e + 5 \cdot e = 17 \cdot e \\ b &= 2 \cdot c + d \cong 2 \cdot (5 \cdot e) + 2 \cdot e = 10 \cdot e + 2 \cdot e = 12 \cdot e \\ c &= 2 \cdot d + e \cong 2 \cdot (2 \cdot e) + e = 4 \cdot e + e = 5 \cdot e \\ d &\cong 2 \cdot e \end{aligned}$$

$$a/b \cong 17/12$$

Quinta aproximación:

$$\begin{aligned} a &= 1 \cdot b + c \cong 1 \cdot (29 \cdot f) + 12 \cdot f = 29f + 12 \cdot f = 41 \cdot f \\ b &= 2 \cdot c + d \cong 2 \cdot (12 \cdot f) + 5 \cdot f = 24 \cdot f + 5 \cdot f = 29 \cdot f \\ c &= 2 \cdot d + e \cong 2 \cdot (5 \cdot f) + 2 \cdot f = 10 \cdot f + 2 \cdot f = 12 \cdot f \\ d &= 2 \cdot e + f \cong 2 \cdot (2 \cdot f) + f = 4 \cdot f + f = 5 \cdot f \\ e &\cong 2 \cdot f \end{aligned}$$

$$a/b \cong 41/29$$

Lo anterior, es decir, el *método de aproximaciones sucesivas* (¡todavía llamarlo así es un . . . atrevimiento dictado por cierta intuición!) permite calcular los valores aproximados de a/b que podemos ordenar en una sucesión infinita:

$$\{1/1, 3/2, 7/5, 17/12, 41/29, \dots\}$$

en donde los tres puntos suspensivos (que significan "etcétera") son de verdad de . . . suspenso, es decir de . . . misterio (¿matemática hichkockiana?). Si se indica la sucesión anterior con

$$\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_k, \dots\}$$

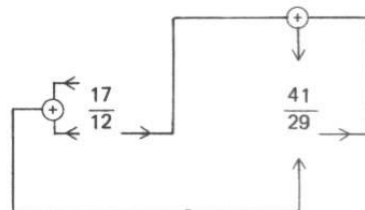
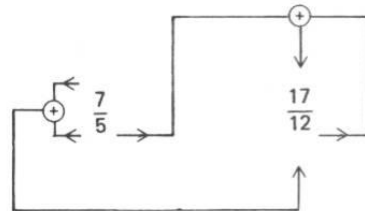
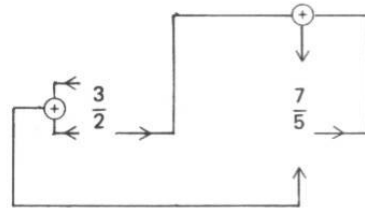
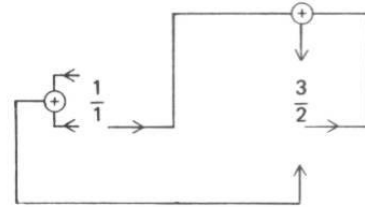
y se pregunta por necesidad o por juego el valor de, dígame, f_{100} , es evidente que se llega a preguntarse por una ley de formación de los f_k por inducción, es decir: ¿Cómo puede engendrar $1/1$ a $3/2$, $3/2$ a $7/5$, $7/5$ a $17/12$, etc., usando siempre la misma manera de operar? Con un gráfico de interpretación sencilla es posible intuir lo que puede ser la ley inductiva de formación de los f_k (véase figura 5).

Si la sucesión se representa en la forma

$$\{n_1/d_1, n_2/d_2, \dots, n_k/d_k, \dots\}$$

los esquemas anteriores sugieren, por inducción (no matemática), que la ley de formación, por ahora sólo intuitiva o vislumbrada debería ser en general:

$$\begin{array}{c} \text{Diagrama de un paso de la sucesión} \end{array} \rightarrow \begin{cases} n_{k+1} = n_k + 2d_k \\ d_{k+1} = n_k + d_k \end{cases}$$



Cada fracción genera la siguiente así: el denominador de la posterior es igual a la suma del numerador y del denominador de la anterior; su numerador es la suma del denominador nuevo y el denominador anterior.

y por lo tanto

$$\begin{aligned} f_{k+1} &= n_{k+1} / d_{k+1} = (n_k + 2d_k) / (n_k + d_k) = \\ &= (n_k / d_k + 2) / (n_k / d_k + 1) = (f_k + 2) / (f_k + 1) \end{aligned}$$

es decir la ley de inducción está dada por

$$f_{k+1} = \frac{(f_k + 2)}{(f_k + 1)}$$

y por lo tanto la sucesión puede escribirse sin ... suspenso de esta manera:

$$f_1 = 1 / 1 \quad \text{y} \quad f_{k+1} = (f_k + 2) / (f_k + 1) \quad k \neq 0$$

Tabla 2

$$\begin{aligned} f_1^2 &= 1 / 1 = 2 - 1 / 1 \\ f_2^2 &= 9 / 4 = 2 + 1 / 4 \\ f_3^2 &= 49 / 25 = 2 - 1 / 25 \\ f_4^2 &= 289 / 144 = 2 + 1 / 144 \\ f_5^2 &= 1681 / 841 = 2 - 1 / 841 \\ f_6^2 &= 9801 / 4900 = 2 + 1 / 4900 \\ f_7^2 &= 57121 / 28551 = 2 - 1 / 28551 \\ f_8^2 &= 332929 / 166464 = \\ &= 2 + 1 / 166464 \end{aligned}$$

Ahora, en la tabla 2 se escriben los primeros términos de la sucesión

$$f_1^2, \dots, f_k^2, \dots$$

donde k es un número natural.

Estos números sugieren que los términos de la sucesión se acercan más y más a 2 alternativamente, por defecto si k es impar y por exceso si k es par; esto induce a pensar que los términos de la sucesión

$$\{f_1, \dots, f_k, \dots\}$$

se acercan más y más y alternativamente por defecto o por exceso a $\sqrt{2}$. ¿Será verdad?

Si se llama " L " (inicial de la palabra "límite") el valor al cual tiende f_k , y por lo tanto f_{k+1} cuando k adquiere valores más allá de cualquier número prefijado, la fórmula de la ley de formación de la sucesión es decir

$$f_{k+1} = (f_k + 2) / (f_k + 1)$$

sugiere que L debe satisfacer a la condición $L > 0$ y a la ecuación:

$$L = (L + 2) / (L + 1).$$

Luego,

$$\begin{aligned} L(L + 1) &= L + 2 \\ L^2 + L &= L + 2 \\ L^2 &= 2 \\ L &= \sqrt{2} \end{aligned}$$



Por lo tanto

$$a/b = \sqrt{2}.$$

Por otra parte se vio atrás que a/b es igual, "formalmente", a una cierta fracción continua infinita y por lo tanto también "formalmente" se puede decir que

$$\sqrt{2} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \dots}} = \text{fci } (1, 2, 2, \dots)$$

Ahora, si se pone

$$x = a/b = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \dots}}$$

entonces resulta que:

$$x - 1 = \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \dots}} = \frac{1}{2 + (x - 1)} = \frac{1}{x + 1}$$

así que

$$(x - 1)(x + 1) = 1 \rightarrow x^2 - 1 = x^2 = 2 \rightarrow x = \sqrt{2}$$

Por otro camino se ha mostrado que $\sqrt{2}$ se puede expresar como una fracción continua infinita periódica (el número 2 que se repite) monómera (el período está compuesto de un número, 2) que se puede indicar así:

$$\text{fci } (1, \overline{2})$$

donde $\overline{}$ indica cómo está compuesto el período.

¿Y?

Surgen inmediatamente varias preguntas: ¿A qué es igual la fracción continua infinita más sencilla fci (1, 1), o sea,

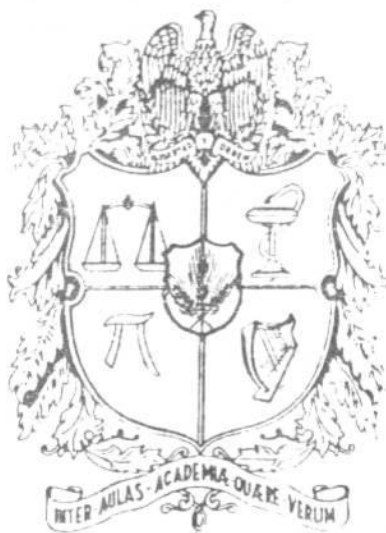
$$a/b = 1 + \frac{1}{1 + \frac{1}{1 + \dots}} \quad ?$$

¿Cuál es su interpretación geométrica? ¿Y fracciones continuas periódicas dímeras, como

$$x = Co + \frac{1}{C_1 + \frac{1}{C_2 + \frac{1}{C_1 + \frac{1}{C_2 + \dots}}}}$$

que se notan $\text{fc } (Co, \overline{C_1, C_2})$?

¡Sobre estas y otras cosas versarán artículos venideros! □



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE CIENCIAS

**PROGRAMA DE POSGRADO OFRECIDOS
PARA EL PRIMER SEMESTRE DE 1987**

EN LA SEDE DE BOGOTÁ:

Magister en: Estadística, Farmacología, Física, Matemáticas, Química y Sistemática
(Botánica y Zoología) y Especialización en Matemática Avanzada

EN LA SECCIONAL DE MANIZALES:

Especialización en Matemática Avanzada. Especialización en Ciencias Físicas.

EN LA SECCIONAL DE PALMIRA:

Programa de Especialización en Matemática Avanzada

MAYORES INFORMES Y ENTREGA DE FORMULARIOS

Secretaría Facultad de Ciencias – Ventanilla 4 y Seccionales correspondientes

¿Qué es la teoría general de sistemas?

La dificultad en describir un sistema vivo de una forma mecánica va mucho más allá de la sola intratabilidad matemática; el problema de sistemas complejos parece exigir el empleo de un nuevo método de características distintas al analítico. La forma que debía tener este nuevo enfoque fue surgiendo durante las primeras décadas de este siglo y es lo que podríamos llamar el método de sistemas.

Introducción

El concepto de lo que hoy entendemos por "ciencia" ha sido objeto de varias modificaciones importantes a lo largo de la historia. El origen del punto de vista contemporáneo se puede encontrar en los trabajos de Galileo Galilei y, desde otra perspectiva, Renato Descartes. El "método científico", establecido por estos y otros personajes durante el siglo XVII, consiste esencialmente de las siguientes partes:

- a) Inducción de leyes de la naturaleza a partir del estudio de fenómenos particulares.
- b) Verificación de las teorías propuestas mediante sometimiento a prueba experimental.
- c) Análisis de fenómenos complejos mediante su descomposición conceptual en otros más elementales y una vez comprendidos éstos, reintegración a fin de obtener razón del más complejo.
- d) Uso del lenguaje matemático como único instrumento de expresión que permite una presentación y discusión inambigua de las leyes naturales.

La aplicación por parte de Newton de este método a la formulación de las leyes de la mecánica y el subsiguiente éxito espectacular que ésta alcanzó en la explicación de los fenómenos relacionados con el movimiento de los planetas dio origen a formas de pensamiento científico que habrían de prolongarse hasta las primeras décadas de nuestro siglo.

Esta primera etapa del desarrollo del pensamiento científico representa una renuncia o negación de una afirmación que había sido hecha por la filosofía desde la antigüedad. Aristóteles lo había enunciado afirmando que "el todo es más que la suma de las partes". El despegue de la física en el siglo XVII implicó un rechazo de dicha premisa como objeto válido de estudio científico, debido al carácter "animista" que dicha afirmación parecía poseer. Nótese que esa frase por lo menos sugiere la imposibilidad de usar procedimientos analíticos para investigar objetos complejos.

Sin embargo, el problema planteado por la proposición aristotélica resurgió con un contenido novedoso a medida que se comprendieron mejor las limitaciones del método analítico¹. En

Rafael Bautista
Dpto. de Física U. de los Andes
Bogotá

¹ Véase la premisa c) más atrás.

especial, la biología se fue desarrollando a grandes pasos durante el siglo XIX y hacia finales de éste y principios del siglo XX el debate en torno al concepto de organismo dejó cada vez más en claro la necesidad de construir una epistemología y un lenguaje riguroso que permitieran discutir agregados complejos de entidades elementales en donde las interacciones entre éstas jugaran un papel fundamental.

En el caso de la biología, la motivación para buscar métodos alternativos o complementarios radicalmente distintos de los que se concebían en el marco determinista-mecanicista propio del siglo XIX, nace de la "paradoja" que presentan los seres vivos con su mera existencia. Si se acepta la hipótesis de que en el principio de su historia la Tierra estaba en un estado de caos, el surgimiento espontáneo de estructuras altamente organizadas a partir de ese caos inicial resulta en aparente contradicción con leyes aceptadas como la del crecimiento del desorden o entropía en sistemas aislados. Además, aún seres vivos muy simples, como por ejemplo una bacteria, están constituidos por un número muy grande de partes que tienen gran correlación entre sus funciones. Este hecho es revelador en cuanto parece imposible tratar de predecir la conducta futura de estos sistemas por el método de analizar interacciones "por pares", como se hace por ejemplo en la mecánica celeste². La conjetura encerrada en estas observaciones es que la dificultad en describir un sistema vivo de una forma mecanicista va mucho más allá de la sola intratabilidad matemática; el problema de sistemas complejos parece exigir el empleo de un nuevo método de características algo distintas al presentado más atrás.

La forma que debía tener este nuevo enfoque fue surgiendo durante las primeras décadas de este siglo y es lo que podríamos llamar el *método de sistemas*. Como punto de partida conceptual y operacional, se puede usar la teoría de la semejanza para ilustrar una de las características más sobresalen-

tes de la conducta de los sistemas. Es un hecho experimental el que sistemas de naturaleza física muy diferente muestren comportamiento análogo.

El tipo de semejanza que tiene las propiedades de reflexibilidad, transitividad y simetría se denomina una *relación de equivalencia*. La consecuencia de introducir una relación de este tipo en un conjunto de objetos es la de separarlos en "clases de equivalencia". Esto último quiere decir: los separa en conjuntos en donde un elemento cualquiera representa a todos los demás miembros de su clase. En el caso de sistemas, la semejanza los separa en clases donde un sistema representativo se comporta como cualquier otro de su misma clase.

Ejemplos de lo arriba descrito abundan en biología, economía, sociología, psicología y por supuesto en física. La ocurrencia de estas equivalencias —que en la práctica son sólo aproximadas— obedece a que existe un *isomorfismo* entre los diferentes sistemas miembros de una determinada clase de equivalencia y una formulación de carácter matemático que los describe a todos por igual. La búsqueda de relaciones de semejanza e isomorfismos entre sistemas "reales" es uno de los programas centrales de la teoría general de sistemas.

A modo de ejemplo —admitidamente muy simplificado— volvamos al caso de sistemas biológicos. Dos casos de clases de equivalencia podrían ser por un lado los mamíferos y por otro los insectos. Si uno se pregunta qué relación de equivalencia une entre sí a los miembros de cada una de estas dos clases, se podría pensar en lo siguiente: el modo en que cada clase usa los principios de reproducción diferencial (supervivencia del más apto) para propagar la información acerca de la especie a través de su código genético. Esto de inmediato distinguirá entre qué clase de proteínas se sintetizarán en la clase "mamíferos" y cuáles en la clase "insectos". Es bastante claro, aún a través de este ejemplo, que imple-

² Hay que tener en cuenta que incluso el problema de tres cuerpos en mecánica clásica carece de una solución analítica cerrada en general. Este mero hecho no dice nada en contra del método científico clásico; sin embargo ilustra cómo sistemas aparentemente "simples" presentan ya cierto grado de intratabilidad.

La fuente de dificultad radica en lo siguiente: en la mecánica clásica el problema de una partícula interactuante con un campo externo está completamente resuelto. El problema de dos partículas aisladas interactuando entre sí se puede reducir matemáticamente al de una partícula interactuando con un campo externo, el cual ya hemos dicho que es un problema resuelto. Por el contrario, el problema de tres cuerpos aislados interactuando entre sí es matemáticamente irreducible al de dos. Esta circunstancia da origen a que el problema sea algebraicamente irreducible a una solución cerrada. El lector que haya visto alguna vez el problema de las ecuaciones algebraicas de grado igual o superior al quinto apreciará con más claridad la analogía superficial entre las dos situaciones.

mentar el enfoque de sistemas en el caso de la biología requerirá el esfuerzo de muchas generaciones y la asistencia de muchas otras ramas del saber y la tecnología (véase Ref. (2) cap. 5 por J.H. Milsum).

El concepto de sistema

Retornemos al concepto mismo de "qué" es un "sistema" y cómo se ha desarrollado el concepto desde los primeros trabajos de Ludwig von Bertalanffy, uno de los fundadores de la teoría de sistemas.

Hasta el tiempo en que von Bertalanffy presenta sus teorías, la dificultad para construir un nuevo método había sido lo inadecuado del lenguaje y la insuficiencia de las herramientas matemáticas disponibles para discutir un problema que siempre había existido y del que sólo se hablaba con las palabras de que en épocas anteriores se disponía. Tan pronto estos obstáculos se fueron eliminando, surgió en una forma casi espontánea la noción de "sistema" en áreas que no parecían tener correlación alguna entre ellas como lo son la biología, economía, sociología, ciencias de la conducta y otras con objetos más especializados.

El objeto de una teoría de sistemas siempre es alguna parte de la realidad que muestra una conducta explicable a través de una descripción de carácter "colectivo". El objeto no es separable en partes elementales cuyo estudio individual permita reconstruir lo que se observa en el conjunto. Es imprescindible construir también un modelo para los diferentes niveles de correlación existentes entre las partes.

Los diferentes matices del comportamiento colectivo parecen encontrar resonancia en campos de estudio que son, en apariencia, totalmente disímiles. Hay analogías de comportamiento entre caso y caso que justifican una investigación más detallada para separar posibles reglas o "leyes" de carácter general y que tengan existencia independiente del caso específico al

cual se apliquen. Esta necesidad es el origen de lo que se conoce como teoría general de sistemas.

Bertalanffy define la teoría general de sistemas en la forma siguiente [referencia bibliográfica (1)]:

"Existen modelos, principios y leyes que pueden asignarse a los sistemas generalizados o a sus subclases, independientemente de su carácter particular, así como de la naturaleza de los elementos componentes y de las relaciones o «fuerzas» que los ligan. Postulamos una nueva disciplina llamada *teoría general de sistemas*. La teoría general de sistemas es una teoría lógico-matemática que se propone formular y derivar aquellos principios generales aplicables a todos los «sistemas» ...".

Esto imprime a la teoría general de sistemas un carácter interdisciplinario, un grado de generalidad, no compartido por ninguna otra disciplina científica.

En cuanto a la noción de "sistema", ésta no tiene una definición universalmente aceptada, pero sí se puede delimitar como un "modelo de naturaleza general, esto es, una representación conceptual de ciertos caracteres más bien universales de entidades observadas" [referencia bibliográfica (2)].

La falta de una noción "standard" de sistema que pueda usarse, por ejemplo, en un libro de texto, es una de las señales indicadoras de una disciplina todavía en formación. Esta situación ha dado lugar a diferentes tendencias en la teoría general de sistemas, que se desarrollan de acuerdo a cómo enfocan el concepto mismo de "sistema".

Se pueden distinguir dos vertientes principales en la construcción de la teoría, una de tipo *deductivo* y otra de

tipo *inductivo* [referencia bibliográfica (3)]. La aproximación deductiva, que von Bertalanffy llama *axiomática* [referencia bibliográfica (2)], intenta definir rigurosamente "sistema" y luego deduce en forma lógico-matemática todas las consecuencias que siguen a dicha definición. En esta tendencia se inscriben los trabajos de Mesarovic [referencia bibliográfica (4)]. En el tratamiento inductivo se hace un estudio de ejemplos variados que presentan las características de lo que podría constituir un sistema y de aquí se construyen una o más definiciones que eventualmente se demuestran ya sea equivalentes, inclusivas o complementarias.

Teoría dinámica de sistemas

La *teoría dinámica de sistemas* parece tener su origen más en la vertiente inductiva. En esta rama de la teoría general de sistemas se investigan las propiedades de sistemas que evolucionan en el tiempo. Su punto de partida moderno puede trazarse a los trabajos de von Bertalanffy sobre sistemas abiertos, inspirados en el deseo de describir sistemas biológicos, los cuales intercambian materia continuamente con su medio ambiente [referencia bibliográfica (2), cap. 5]. El concepto de sistema abierto estaba en sus etapas iniciales de desarrollo en la física de aquel entonces, por lo que fenómenos como el de la existencia de la vida resultaban paradójicos. Específicamente, en un sistema aislado la entropía va siempre en aumento, lo cual hace que sus componentes elementales tiendan a distribuirse de forma cada vez más aleatoria hasta que se alcanza el estado de equilibrio, de máxima probabilidad. En este esquema de eventos el surgimiento y existencia de un grado de organización tan elevado como el que poseen los seres vivos es imposible de explicar. En cambio, una formulación de las leyes de la termodinámica en sistemas abiertos permite deducir conclusiones compatibles con la creación "espontánea" de orden dentro del sistema, puesto que allí podría haber flujos de "entropía negativa" (véase más adelante).

La teoría dinámica de sistemas tiene a su vez dos enfoques complementarios. En uno de ellos se hace una descripción del sistema en estudio mediante el uso de "variables internas" o "variables de estado". En este tipo de descripción se identifican variables que se consideran relevantes para estimar el posible comportamiento del sistema en cualquier instante t . Estas variables actúan como coordenadas generalizadas con las que se tratan de establecer "ecuaciones de movimiento" que son de tipo

$$\dot{Q}_i = f_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_n; t) \\ i = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Aquí el punto encima de un símbolo indica derivada temporal; n es el número de variables que identifican el estado del sistema.

Las diferencias entre esta descripción y la formulación de un problema en la física clásica son, principalmente, las siguientes:

a) El sistema es, en general, abierto. Es decir, no hay el equivalente de leyes de conservación, como la de la masa total, por ejemplo.

b) En la teoría dinámica de sistemas la regla general es la presencia de muchas variables. Esto hace más difícil la obtención de predicciones y resultados concretos.

c) Puesto que en general sistemas de ecuaciones del tipo (1) serán no lineales, los resultados que se persiguen cuando se analizan son de carácter diferente al de teorías lineales o "linealizables". Por ejemplo, aquí es muy importante el concepto de estabilidad, para el cual se han desarrollado técnicas matemáticas como la de funciones de Liapunov. También es de interés el concepto de equi-finalidad, esto es, dos trayectorias con condiciones iniciales diferentes, digamos en t_0 , que conducen para tiempos mucho mayores que t_0 al mismo tipo de estado estable final para el sistema.

En el otro enfoque se hace uso de una "descripción externa". Aquí se hace caso omiso de las particularidades del sistema y éste es tratado como una "caja negra". Todo el análisis se basa en investigar todos los tipos de conducta que muestra el sistema bajo condiciones y estímulos dados. Este tratamiento de carácter "input-output" se realiza mediante técnicas matemáticas propias de la teoría de la información. Esta aproximación al problema dinámico de sistemas es muy apropiada en áreas donde los conceptos de control y retroalimentación son dominantes, esto es, la Cibernética.

Este punto de vista de la teoría de sistemas, en donde se da máxima importancia al concepto de información, ha generado algunos resultados y conclusiones que quisiera mostrar. Para tener un punto de referencia cuantitativo cito un resultado dado por Bremermann [referencia bibliográfica (9)] quien con base en un análisis de las propiedades de la materia en general concluyó que ningún sistema artificial u orgánico puede procesar más de 10^{47} "bits" (ver recuadro) por gramo y por segundo³. Este número parece ser enorme con relación a cualquier medida usual. Sin embargo, para apreciar su significado, introduzcamos la definición de lo que se conoce como "entropía" en información.

Si un evento tiene n posibles resultados y las probabilidades de ocurrencia para cada resultado se denotan por $p_1, p_2, \dots, p_n$, entonces se puede definir la cantidad denominada entropía mediante la fórmula

$$S = -k(p_1 \cdot \ln p_1 + p_2 \cdot \ln p_2 + \dots + p_n \cdot \ln p_n). \quad (2)$$

Aquí k es una constante, en principio arbitraria, que establece las unidades en que se mide la entropía. Si se toma $k = 1/\ln 2$, entonces la medida es en "bits". Obsérvense los siguientes resultados:

a) En el caso extremo en el que el resultado final —digamos el i -ésimo—

es perfectamente conocido tendríamos $p_i = 1$ y todos los demás serían nulos. En este caso: $S=0$, es decir, si hay certidumbre total no hay entropía alguna.

b) Otro extremo sería el caso en que no hay idea alguna de cuál de los posibles resultados es favorecido. En esta circunstancia: $p_1 = p_2 = \dots p_n = 1/n$. Ahora tenemos $S = k \ln n$, que se puede demostrar es el máximo valor que puede tener S . Es decir, si hay incertidumbre total la entropía es máxima.

Ahora, imaginemos que a través de adquisición o pérdida de "información" nuestro conocimiento de los posibles resultados para el evento en estudio queda alterado. Esto se reflejará en un cambio en el conjunto de valores asignados a las diferentes probabilidades. Denotamos los nuevos valores por $p'_1, p'_2, \dots, p'_n$. La nueva entropía será entonces S' , calculada de acuerdo a la definición (2). En vista de la discusión precedente, es extremadamente sugestivo definir la "información" ganada o perdida en este proceso mediante la simple receta

$$\text{Información} = S - S' \quad (3).$$

Estos conceptos son debidos originalmente a C. E. Shannon [referencia bibliográfica (7)] y forman la base de la moderna teoría de la información.

Una vez introducido el concepto de información podemos retornar a nuestra observación original concerniente al resultado de Bremermann. 10^{47} "bits" de información por gramo y por segundo se verá pronto que es un factor en extremo restrictivo desde el punto de vista de la teoría general de sistemas. Aquí seguiré a Ashby [referencia bibliográfica (8)] con un ejemplo que ilustra la diferencia existente entre un sistema sencillo en donde sus componentes —representadas por variables— son independientes por completo uno de otro, lo cual es un extremo, y el mismo sistema en donde sus componentes están tan fuer-

³ Aunque desconozco cómo Bremermann calcula su límite, se puede construir un ejemplo sencillo de cómo este tipo de evaluaciones se puede llevar a cabo. Tómese el caso de un "computador" hecho del elemento más sencillo: Hidrógeno. Un gramo de hidrógeno contiene unos 6×10^{23} átomos. Supongamos que un "bit" se almacena en este computador mediante la orientación del "spin" del núcleo de un átomo dado con respecto a una cierta dirección fija indicada, digamos, por algún campo magnético. La rapidez límite de operación de dicho computador estaría dictada por el tiempo que se toma ejecutar la inversión de dirección de uno de estos spines. Aunque el tiempo de inversión puede variar con las condiciones físicas particulares, un valor típico sería 10^{-15} seg. De aquí que cada gramo de nuestro computador podría procesar, a lo sumo, $6 \times 10^{23} / 10^{-15} = 6 \times 10^{38}$ bits/seg.

EL BIT

El "bit" es la unidad más elemental de información. Este nombre procede de la contracción de la frase inglesa "binary digit" que se traduce como "dígito binario". Los dígitos binarios representan la base más sencilla de conteo puesto que solo son el 0 y el 1. Esta base es útil para codificar respuestas o preguntas que se pueden contestar con un simple "sí" o "no". En principio, la respuesta a la mayoría de las preguntas más complejas se puede reducir a una hilera de respuestas "sí" o "no" a preguntas de este tipo. Por ejemplo —identifiquemos "sí" con 0 y "no" con 1— consideremos las vocales del alfabeto a, e, i, o, u y se nos pide identificar la "o", dentro del orden tradicional de estas. La secuencia de preguntas podría ser:

P — ¿Está entre las dos primeras?
R — No. 1

P — ¿Está entre las dos últimas?
R — Sí. 0
P — ¿Es la penúltima?
R — Sí. 0

Luego "o" se puede identificar con la secuencia de tres bits 100. Obsérvese que si se hubiese preguntado por la "u" en vez de la "o" la respuesta a la última pregunta sería "1" y la "u" estaría representada por 101.

temente correlacionadas que todas dependen de todas, el otro extremo.

En el primer caso utilicemos un sistema de n componentes; supongamos que cada componente puede adoptar k valores. En vista de la independencia total que presentan las componentes del sistema, podríamos calcular el número total de estados posibles mediante el siguiente razonamiento: a partir de cada componente se pueden construir un total de 2^k subconjuntos de valores posibles. Puesto que hay n componentes o variables, el número total de estados posibles será

$$N = \underbrace{2^k \times 2^k \times \dots \times 2^k}_{n \text{ veces}} = 2^{kn}$$

Por lo tanto, la máxima cantidad de información (en "bits") requerida para determinar un estado cualquiera con absoluta certidumbre será $(1/\ln 2)$ y esto es kn "bits".

En el segundo caso tomemos el mismo sistema pero ahora hay correlación total entre sus componentes. Esto quiere decir que un estado del sistema va a estar representado por un conjunto de n valores, uno por cada componente, en una " n -pla" de forma general $(v_1, v_2, \dots, v_n)$, en donde la primera casilla corresponde a valores de la variable "1", la segunda a valores de "2", etc., hasta " n ". Puesto que cada casilla puede tener k valores diferentes, esto implica que hay k^n n -plas distintas posibles, de aquí que se puedan formar 2^{k^n} subconjuntos posibles a partir del universo de n -plas. Por lo tanto, la cantidad de información requerida para especificar un estado cualquiera con certidumbre sería

$$\log_2 2^{k^n} = k^n.$$

De este sencillo cálculo se desprende que la cantidad de información en el primer caso difiere de la cantidad en el segundo como kn difiere de k^n . El mínimo valor posible para k es 2. El número de variables en un sistema real puede ser muy grande, pero tomemos el caso de $n = 1000$ (nótese que un gobierno nacional puede tener 10 000

dependencias y oficinas o que un computador puede tener 10^6 componentes). En este caso vemos que mientras un conjunto totalmente no correlacionado se puede manejar con 2000 "bits" de información, el mismo conjunto totalmente correlacionado requiere $2^{1000} = 10^{300}$ bits de información. Aún cuando en la práctica no se presentan casos de correlación total, es decir, algunas variables afectan mucho más a las otras, lo cual puede reducir drásticamente el número de bits de información requeridas, piénsese que una fracción "infinitesimal" de 10^{300} es 10^{100} . ¡De aquí que el límite computado por Bremermann sea una fuente de frustración dentro de la teoría general de sistemas!

La teoría dinámica de sistemas ha sido desarrollada en gran medida durante los últimos veinte años y constituye un candidato serio a ser el nuevo "paradigma" de "ciencia" en un sentido general. Una revisión de los aspectos y problemas fundamentales de este área se pueden encontrar en las referencias (5) y (6). Una introducción que trabaja todos los conceptos relevantes desde los fundamentos es la referencia (10).

Conclusión

Del panorama que he tratado de mostrar en este trabajo vale la pena volver a resaltar el carácter interdisciplinario de la ciencia de sistemas generales, las múltiples definiciones —posiblemente complementarias— del concepto de sistema y las variadas técnicas de aproximación que éstas generan. También en el plano conceptual, la existencia de clases de sistemas que exhiben comportamiento análogo parece ser un hecho fundamental del cual se debe partir. Es claro que las técnicas matemáticas y de computación necesarias para llevar a realización los diferentes programas de trabajo sugeridos por el enfoque de sistemas están apenas en desarrollo y que también harán falta algoritmos y máquinas de computación mucho más sofisticados que los existentes hoy en día. Igual-

mente es de hacer notar el papel que la teoría de la información juega en la realización de este programa.

Finalmente, la implementación práctica de algunos de los programas más simples del enfoque de sistemas parece estar más cercana en áreas como la biofísica, físico-química, biología molecular y quizás en la economía que en áreas como la sociología, psicología e historia (¿o quizás podríamos llamarla dinámica histórica?).

Espero que este trabajo haya sido útil en llamar la atención del lector hacia los temas trascendentales que se discuten en este nuevo candidato a "paradigma" científico, que es la teoría general de sistemas. □

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Ludwig von Bertalanffy. *General System Theory*. Penguin, Middlesex, England, 1971.
- (2) Ludwig von Bertalanffy: "Historia y situación de la teoría general de sistemas" en *Tendencias en la teoría general de sistemas*. G. Klir (Ed.). Alianza Editorial, 1981. Este libro es una muy buena introducción para todo aquél no experto en los diferentes aspectos que constituyen la teoría general de sistemas.
- (3) G. Klir: "Teoría polifónica general de sistemas". En la referencia (2).
- (4) M.D. Mesarovic. Foundations for a General Systems Theory. En *Views of General Systems Theory*. M.D. Mesarovic (Ed.) Wiley, New York, 1964.
- (5) M.A. Arbib. *Cerebros, máquinas y matemáticas*. Alianza Editorial, 1982. Este libro, aunque de carácter introductorio, requiere un cierto grado de preparación matemática.



tica. Sin embargo, es una excelente fuente introductoria a la teoría de autómatas.

- (6) *Proceedings of the Symposium on System Theory*. Microwave Research Institute Symposia Series, Vol. XV., New York, 1965.
- (7) C.E. Shannon. *A Mathematical Theory of Communication*. Bell System Technical Journal Vol. 27, pp. 379-423 (1948). Esta es la referencia básica sobre teoría de la información.
- (8) W. Ross Ashby. "Sistemas y sus medidas de información", en la referencia (2), cap. 3.
- (9) H.J. Bremermann. "Quantal Noise and Information". En *Fifth Berkeley Symposium on mathematics, Statistics and probability*, Vol. 4.
- (10) J. Aroci. *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza Editorial, 1980.

Del mundo del "más o menos" al universo de la precisión

Es a través del instrumento como la precisión se encarna en el mundo del más o menos. . . y es por la precisión de sus máquinas, resultado de la aplicación de la ciencia en la industria. . . como se caracteriza la industria de la edad del vapor y del hierro.

Y es por el avasallamiento de la teoría sobre la práctica como se podría caracterizar la técnica de la edad de la electricidad y de la ciencia aplicada. Es su fusión lo que caracteriza la época contemporánea, la de los instrumentos que tienen la dimensión de fábricas y de fábricas que tienen la precisión de los instrumentos.

En un artículo publicado aquí mismo¹ sostuve que el problema del origen del maquinismo tomado en su doble aspecto, a saber: a) por qué el maquinismo nació en el siglo XVII y b) por qué no nació 20 siglos antes y especialmente en Grecia, no tiene solución satisfactoria, es decir solución que en última instancia no se reduzca al hecho mismo (dudo, además, que en historia se pueda eliminar el hecho). Sin embargo, como contrapartida me parece que se puede delinear una solución de conveniencia que nos permita ver o comprender por qué la ciencia griega *no podía* dar nacimiento a una verdadera tecnología: porque en ausencia de una física, una tecnología tal es rigurosamente inconcebible. Por otra parte, la ciencia griega no elaboró una física, y no podía hacerlo porque en la constitución de ésta la estática debe preceder a la dinámica: Galileo es imposible antes de Arquímedes.

Sin duda se podría preguntar por qué la Antigüedad no ha dado lugar a un Galileo. . . Pero esto nos remite en el fondo a plantearnos el problema de

la detención tan brusca del extraordinario ímpetu de la ciencia griega. ¿Por qué se detuvo su desarrollo? ¿A causa de la ruina de la Ciudad? ¿De la conquista Romana? ¿De la influencia cristiana? Quizás. Sin embargo en el ínterin Euclides y Ptolomeo pudieron vivir y trabajar en Egipto. En sí nada se opone a que un Copérnico y un Galileo les hayan sucedido directamente.

Pero volvamos a nuestro problema. La ciencia griega, aseguré, no constituyó una verdadera tecnología², porque ella no elaboró una física. Pero preguntamos una vez más, ¿por qué no lo hizo? Según todas las apariencias, porque no intentó hacerlo. Y esto, sin duda, porque creía que no era factible.

En efecto, hacer física en *nuestro sentido* del término —no en el dado a este vocablo por Aristóteles— quiere decir aplicar a lo real las nociones rígidas, precisas y exactas de las matemáticas y, en primera instancia, de la geometría. Empresa paradójica, si las hay, pues la realidad, la de la vida cotidiana, en medio de la cual vivimos y estamos,

* *Critique*, No. 28, 1948. A propósito de las obras: Lewis Mumford, *Techniques and Civilization*, 4 ed., Nueva York, Harcourt, 1946; (existe traducción al español: *Técnica y Civilización*, Madrid, Alianza editorial, 1971), Willis L. Milham, *Time and Timekeepers*, Nueva York, MacMillan; L. Défossez, *Les savants au XVIII^e siècle et la mesure du temps*, Lausana, edición del Journal Suisse d'Horlogerie et de Bijouterie, 1946; Lucien Febvre, *Le problème de l'incroyance au XVI^e siècle*, 2 ed., Albin Michel, col. "L'évolution de l'Humanité", 1946.

¹ Cf *Critique*, No. 23 y No. 26 y *Etudes d'Histoire de la pensée philosophique*, Ed. Gallimard, París, 1971.

² La ciencia griega ha puesto, ciertamente, en su estudio de las "cinco potencias" (las máquinas simples), las bases de la tecnología. Ella nunca la desarrolló. Así, la técnica antigua permaneció en el estadio pretecnológico, precientífico, a pesar de la incorporación de numerosos elementos de la ciencia geométrica y mecánica (estática) en la Tekhné.

Tomado de *Etudes d'histoire de la pensée philosophique*, Ed. Gallimard, París, 1971. Traducción: Jorge Charum.

La ciencia griega no constituyó una verdadera tecnología, porque no elaboró una física, pues creía que no era factible.

³ Sabemos que en opinión de Leibniz esto era así, no sólo en el dominio de las ciencias biológicas, sino también en el de la física, ("Carta a Foucher", hacia 1668, *Philosophische Schriften*, Ed. Gerhardt, Vol. I, p. 392: "Tengo por demostrable que no hay figura exacta en los cuerpos") y más cerca de nosotros Emile Boutroux y Pierre Duhem han insistido sobre el carácter de aproximación de las leyes estrictas de la mecánica racional. Cf. también G. Bachelard, *La formación del espíritu científico*, Siglo XXI, México, 1975 y mis *Etudes galiléennes*, París, 1939, p. 272 ss.

⁴ Nada es más preciso que el diseño de la base, o del capitel o el del perfil de una columna griega: nada está mejor calculado —ni con más refinamiento— que sus distancias respectivas. Pero es el arte quien las impone a la naturaleza. Esta misma precisión está presente cuando se deben determinar las dimensiones de las ruedas de un engranaje o los elementos de una catapulta.

⁵ Vitruvio nos transmitió el diseño de un teodolito que permite medir los ángulos horizontales y verticales y en consecuencia determinar distancias y alturas. La medida exacta existe igualmente para el pesaje de metales preciosos.

⁶ El sentido común no es algo absolutamente constante: nosotros ya no vemos la bóveda celeste. Igualmente el pensamiento técnico tradicional, las reglas de los oficios, la Tekhné puede absorber —y lo hace en el curso de la historia— elementos del saber científico. Hay mucho de geometría (y un poco de mecánica) en el Tekhné de Vitruvio; hay otro tanto —o casi— en los mecánicos, los constructores, los ingenieros y los arquitectos medievales. Sin hablar de los del Renacimiento.

⁷ L. Febvre, *Le problème de l'incroyance au XVI siècle*, París, 1946.

no es matemática. Ni siquiera matematizable. Es el dominio de lo móvil, de lo impreciso, del "más o menos", del "casi". Ahora bien, en la práctica importa muy poco saber si —como nos lo dice Platón, haciendo de las matemáticas la ciencia por excelencia— los objetos de la geometría poseen una realidad más alta que la de los objetos del mundo sensible, o si —como nos lo enseña Aristóteles para quien las matemáticas no son sino una ciencia secundaria y "abstracta"— sólo tienen un ser "abstracto" en tanto que objetos del pensamiento: en los dos casos, entre las matemáticas y la realidad física hay un abismo. Resulta de esto que querer aplicar las matemáticas al estudio de la naturaleza es cometer un error y un contrasentido. En la naturaleza no hay círculos, elipses o líneas rectas. Es ridículo querer medir con exactitud las dimensiones de un ser natural: sin duda el caballo es más grande que el perro y más pequeño que el elefante, pero ni el perro, ni el caballo, ni el elefante tiene dimensiones estrictas y rígidamente determinadas: en todas partes se encuentra un margen de imprecisión, de "juego" de "casi" y de "más o menos".

Son éstas las ideas (o las actitudes) a las que el pensamiento griego permaneció obstinadamente fiel, cualesquiera que fuesen las filosofías a partir de las cuales se dedujeran. Nunca quiso admitir que la exactitud pudiera ser de este mundo, que la materia de este mundo, de nuestro mundo, del mundo sublunar, pudiera encarnar los seres matemáticos (a menos que se les forzase a estar presentes por medio del arte)⁴. El pensamiento griego admitía, por el contrario, que en los Cielos, la situación fuera completamente diferente, que los movimientos absolutos y perfectamente regulares de las esferas y de los astros tuviesen lugar conforme a las leyes de la más estricta y de la más rígida geometría. Pero precisamente los Cielos no son la Tierra, Y

por esto la astronomía matemática es posible, pero la física matemática no lo es. Así, la ciencia griega no sólo elaboró una cinemática celeste sino que para hacerlo observó y midió el cielo con una paciencia y una exactitud sorprendentes, sirviéndose de cálculos y de instrumentos de medición que heredó o inventó. Pero, por otra parte, nunca intentó matematizar el movimiento terrestre ni emplear —con una sola excepción⁵— sobre la Tierra algún instrumento de medida como tampoco medir exactamente algo diferente a las distancias. Ahora bien, es a través del instrumento de medición como la idea de exactitud toma posesión de este mundo y como el mundo de la precisión llega a sustituir al mundo del "más o menos".

Nada me parece que revele con más fuerza la tenaz oposición existente para el pensamiento griego entre el mundo celeste y el mundo terrestre —mundo de la precisión y mundo del "más o menos"— y la impotencia de ese pensamiento para superar la radical dualidad de esa oposición que su incapacidad para concebir una medida unitaria del tiempo. Pues si los movimientos del cielo, si la bóveda celeste por sus revoluciones eternamente uniformes crea —o determina— divisiones rigurosamente iguales del tiempo, si por este hecho el día sideral es de una longitud perfectamente constante, no ocurre lo mismo con el tiempo de la Tierra, con nuestro tiempo. Para nosotros la jornada solar se descompone en un día y una noche, de longitud esencialmente variable, día y noche subdivididas en un número igual de horas de longitud igualmente variable, más o menos largas o más o menos cortas, según la estación. Esta concepción se encuentra tan profundamente enraizada en la conciencia y en la vida griegas que, suprema paradoja, el cuadrante solar, instrumento que transmite a la Tierra el mensaje del movimiento de los cielos, es desviado de su función primaria y así lo vemos forzado,

El pensamiento griego nunca quiso admitir que la exactitud pudiera ser de nuestro mundo, del mundo sublunar.

a marcar las horas más o menos largas del mundo del "más o menos".

Ahora bien, si se piensa que la noción del movimiento está inseparablemente ligada a la del tiempo, que es en y por una nueva concepción del movimiento como se realizó la revolución intelectual que dio nacimiento a la ciencia moderna y en la que la precisión del cielo descendió a la Tierra, se comprenderá por qué la ciencia griega, incluso la de Arquímedes, no pudo fundamentar una dinámica y por qué la técnica griega no consiguió superar el nivel de la Tekhné.

Que el pensamiento técnico del sentido común no depende del pensamiento científico, del cual puede sin embargo absorber elementos e incorporarlos al sentido común⁶, que puede desarrollarse, inventar, adaptar descubrimientos antiguos a las necesidades nuevas e incluso hacer nuevos descubrimientos; que guiado y estimulado por la experiencia y la acción, los éxitos y los fracasos este pensamiento técnico puede transformar las reglas de la Tekhné; que además puede crear y desarrollar las herramientas y las máquinas; que, con medios a menudo rudimentarios puede, sirviéndose de la habilidad de quienes los emplean, crear obras cuya perfección (sin hablar de la belleza) supera de lejos los productos de la técnica científica (sobre todo en sus comienzos), nos lo muestra con fuerza la historia de la Edad Media. En efecto, como nos lo dice Lucien Febvre en un trabajo que, aunque sólo menciona de paso este problema, me parece es de una importancia capital para la historia de la técnica⁷: "Hoy en día ya casi no hablamos, hablamos cada vez menos (y esto desde hace ya algún tiempo), de la Noche de la Edad Media. Ni tampoco hablamos del Renacimiento con la imagen del arquero vencedor que dispó para siempre las tinieblas. Y esto porque prevaleciendo el buen sentido ya no podemos en verdad

creer en esas vacaciones totales de las que antes se nos hablaba: vacaciones de la curiosidad humana, del espíritu de observación e, incluso, de invención. Por esto nos hemos dicho que una época que tuvo arquitectos de la envergadura de quienes concibieron y realizaron nuestras grandes basílicas romanas: Cluny, Vézelay, Saint-Sernin, etc., y nuestras grandes catedrales góticas: París, Chartres, Amiens, Reims, Bourges; y las poderosas fortalezas de los grandes barones: Coucy, Pierrefonds, Chateau-Gaillard, con todos los grandes problemas de geometría, de mecánica, de transporte, de levantamiento de grandes pesos, de manutención que suponen tal tipo de construcciones, con todo el tesoro de experiencias logradas y de fracasos asimilados que este trabajo a la vez exige y alimenta; a una época así sería torpe negarle en bloque e indiscriminadamente el espíritu de observación y de innovación. Si observamos más de cerca, los hombres que inventaron o reinventaron, o adoptaron e implantaron en nuestra civilización occidental los arneses para los caballos, donde la tracción se hace a partir del pecho; la herradura, los estribos, el botón, el molino de agua y de viento, el cepillo para madera, la rueca, la brújula, la pólvora, el papel, la imprenta, etc. —estos hombres han hecho uso, y con cuánto mérito, del espíritu de invención y del espíritu de la humanidad".

Por otra parte los hombres del siglo XV y del siglo XVI, que inventaron el balancín (foliot), la rueda Catalina, que perfeccionaron las artes del fuego —y las armas de fuego—, que hicieron enormes y rápidos progresos en la metalurgia y la construcción naval, que descubrieron el carbón y domesticaron el agua para las necesidades de la industria, no fueron, sobra decirlo, inferiores a sus predecesores. El espectáculo de este progreso, de esta acumulación de inventos, de descubrimientos (y en consecuencia de un cierto saber)

es el que nos explica —y parcialmente nos justifica— la actitud de Bacon y de sus sucesores de oponer la inteligencia práctica a la esterilidad de la especulación teórica. Son estos progresos, sobre todo los que se hicieron en la construcción de las máquinas, los que, como sabemos, sirven de fundamento al optimismo tecnológico de Descartes; aún más, sirven de fundamento a su concepción del mundo, a su doctrina del mecanismo universal.

Pero mientras Bacon concluye que la inteligencia debe limitarse al registro, clasificación y ordenamiento de los hechos del sentido común, y que la ciencia (Bacon nunca comprendió nada de ella⁸) no es, o no debe ser, sino un resumen, generalización o prolongación del saber adquirido en la práctica, Descartes por su parte extrae una conclusión exactamente opuesta, a saber, la de la posibilidad de hacer penetrar la teoría en la acción, es decir la posibilidad de la *conversión* de la inteligencia teórica a lo real, de tener a la vez una *tecnología* y una *física*. Posibilidad que encuentra su expresión y su garantía en que el acto de la inteligencia por el cual, al descomponer y recomponer una máquina, se comprende la forma como han sido combinadas sus partes, la estructura y el funcionamiento de sus múltiples engranajes, es completamente análogo al acto por el que la inteligencia comprende la estructura y la composición de una ecuación al descomponerla en sus factores. Por lo demás, no es del desarrollo espontáneo de las artes industriales por quienes las ejercen, sino de la conversión de la teoría a la práctica de donde Descartes espera los progresos que harán al hombre "amo y poseedor de la Naturaleza".

Por lo que a mí respecta, creo que la historia, o mejor, la prehistoria de la revolución técnica de los siglos XVII y XVIII confirma la concepción cartesiana: es a consecuencia de una conver-

A través del instrumento de medida el mundo de la precisión llega a sustituir al mundo del "más o menos".

sión de la *Episteme* a la *Tekhné* como la máquina eotécnica⁹ se ha transformado en la máquina moderna (paleotécnica); pues es esta conversión, o en otros términos, es la naciente tecnología la que ha dado a la segunda lo que conforma su carácter propio y lo que la distingue radicalmente de la primera, que no es otra cosa que la *precisión*.

En efecto, cuando se estudian los libros sobre las máquinas de los siglos XVI y XVII¹⁰, cuando se hace el análisis de las máquinas (reales o simplemente proyectadas) a partir de las descripciones y diseños, impresionan por el carácter aproximado de su estructura, de su funcionamiento, de su concepción. A menudo están descritas en sus dimensiones (reales) exactamente medidas. Nunca están "calculadas". Así, la diferencia entre las que son irrealizables y las que han sido realizadas no consiste en que las primeras han sido "mal calculadas" en tanto que las segundas lo han sido "bien". Pues ni las unas ni las otras lo han sido. Todas —con la posible excepción de los aparatos para levantar pesos y de algunas otras, como el molino, que empleaban como medios de transmisión de la fuerza motriz acoplamientos de ruedas de engranaje, medios que *invitan* positivamente al cálculo— fueron concebidas "según el buen juicio", "por estimación". Todas ellas pertenecen al mundo "del más o menos". Y esto es debido a que sólo las operaciones más burdas de la industria, como las de bombear el agua, moler el trigo, golpear la lana, accionar los fuelles de las forjas, podían ser confiadas a las máquinas. Las operaciones más finas sólo se ejecutaban con la mano del hombre. Y con su fuerza.

Acabo de decir que las máquinas eotécnicas no eran "calculadas". Pero ¿podían serlo? No olvidemos, o mejor, démonos cuenta que el hombre del Renacimiento, el hombre de la Edad Media (y esto vale para el hombre anti-

guo) no sabía calcular. No estaba acostumbrado a hacerlo. No tenía los medios para ello. Sin duda sabía ejecutar cálculos astronómicos bastante bien¹¹, pues la ciencia antigua había elaborado y desarrollado los métodos y los medios apropiados, pero no sabía¹² —pues la ciencia antigua se había preocupado poco o nada de ello— ejecutar cálculos numéricos¹³. Como nos lo recuerda L. Febvre, no disponía de "ningún lenguaje algebraico. Ni siquiera de un lenguaje aritmético cómodo, regular, moderno. El uso de las cifras que llamamos árabes pero que son indias —el uso de las cifras *Gobar* que vinieron de España o de los países del África del Norte, a Europa Occidental, —estaba lejos de ser general, a pesar de que los mercaderes italianos las hayan conocido desde los siglos XIII y XIV. Si bien su uso se expandió rápidamente para ser utilizadas como símbolos en los calendarios eclesiásticos y en los almanaques para astrólogos y médicos, se enfrentó en la vida corriente a una viva resistencia por parte de las cifras romanas minúsculas ligeramente modificadas, llamadas cifras de finanza. Estas aparecían agrupadas en categorías separadas por puntos: decenas o veintenas a las que se les ponía encima dos X, centenas a las que se les ponía una C y millares distinguidos por una M; todo tan mal hecho como para impedir el proceder a una operación aritmética, aunque fuese elemental".

"Tampoco se hacían operaciones con la pluma, esas operaciones que nos parecen tan cómodas y simples y que, a los hombres del siglo XIV parecían monstruosamente difíciles y propias sólo de la élite matemática. Antes de sonreír recordemos a Pascal, en 1645, quien insistía, en la dedicatoria de su máquina de calcular al canciller Séguier, sobre la extrema dificultad de las operaciones con la pluma. No sólo ellas obligan en todo momento a "llevar o prestar las sumas necesarias", lo que da lugar a innumerables errores. . . sino

⁸ Recordemos lo que William Gilbert dijo de él: "He writes philosophy like a Lord Chancellor".

⁹ Empleo la terminología, en extremo sugestiva, de Lewis Mumford, *Tekhnics and Civilization*, Nueva York, 1946.

¹⁰ Se encuentra un resumen muy bien hecho de esta literatura en la obra de Th. Beck, *Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaus*, Berlín, 1900.

¹¹ Los astrónomos, por supuesto.

¹² El común de los mortales. Incluso las personas instruidas.

¹³ La ciencia griega no desarrolló la "logística". Lo que no impidió sin duda que Arquímedes calculara el número π con una asombrosa precisión. Ni que otros matemáticos ejecutaran cálculos igualmente sorprendentes. Pero eran matemáticos. Y estos cálculos tenían un valor científico. Pero en los usos de la vida se era menos exigente: se calculaba con fichas.

La alquimia jamás logró integrar la precisión a la experiencia, porque nunca lo intentó.

que además exigen del desgraciado calculador "una profunda atención, tanta que fatiga al espíritu en poco tiempo". De hecho, en los tiempos de Rabelais se contaba sobre todo, y casi exclusivamente, con ayuda de esos tableros (échiquier) que han dejado allende la Mancha su nombre a los ministros del Tesoro, y con esas fichas que el Ancien Régime manejara, con más o menos presteza, hasta su declinación".

Ciertamente los cálculos son difíciles, y entonces nadie los hace. O por lo menos hacen tan pocos como sea posible. Y frecuentemente se equivocan, sin preocuparse mucho. Un poco más, un poco menos. . . ¿cuál puede ser la importancia? En general ninguna. Entre la mentalidad del hombre de la Edad Media (y en general la del hombre del "más o menos") y la nuestra hay una diferencia fundamental. Citemos una vez más a L. Febvre: el hombre que no calcula, que "vive en un mundo en el que las matemáticas aún son elementales, no tiene formada la razón de la misma forma que el hombre, aún ignorante, incapaz por sí mismo o indolente para resolver una ecuación o para hacer un problema algo complicado, pero que vive en una sociedad plegada en su conjunto al rigor de los modos de razonamiento matemático, a la precisión de los métodos de cálculo, al elegante rigor de las formas de demostrar".

"Toda nuestra vida moderna está como impregnada de matemáticas. Los actos cotidianos y las construcciones de los hombres llevan su marca e incluso nuestros goces artísticos y nuestra vida moral sufren su influencia". A estas constataciones de Paul Montel no podría suscribirse ningún hombre del siglo XVI. Ellas no nos asombran en absoluto, pero a él lo hubieran dejado (y con razón) totalmente incrédulo.

Cosa curiosa: dos mil años antes Pitágoras había proclamado que el nú-

mero es la esencia misma de las cosas; y la Biblia había enseñado que Dios había fundamentado el mundo sobre "el número, el peso, la medida". Todo el mundo lo repitió, pero nadie lo creyó. O por lo menos, nadie antes de Galileo lo tomó en serio. Nunca nadie trató de determinar esos números, esos pesos, esas medidas. Nadie tuvo la osadía de contar, de pesar o de medir. O, más exactamente, nadie buscó ir más allá del uso práctico del número, del peso, de la medida en la imprecisión de la vida cotidiana —contar los meses y los animales, medir las distancias y los campos, pesar el oro y el trigo— para hacer de ellos un elemento del saber preciso.

Creo que no basta decir, como lo hace L. Febvre, que para hacer esto el hombre de la Edad Media y del Renacimiento carecía de los instrumentos materiales y mentales adecuados. Sin duda es cierto, y tiene una importancia capital que "el uso de los instrumentos que hoy son usuales, los más familiares para nosotros, y por lo demás los más simples, les fueron siempre desconocidos. Para observar, nada mejor que sus dos ojos —a lo más ayudados, si fuera necesario, por anteojos necesariamente rudimentarios: ni el estado de la óptica, ni el del conocimiento sobre el vidrio permitían seguramente otros. Nada de lentes, ya fueran de vidrio o de cristal tallado, y que permitieran agrandar objetos muy alejados como los astros o muy pequeños como los insectos o las semillas". Igualmente es cierto que no sólo faltan los instrumentos de medida; también el lenguaje que hubiera podido servir para expresar los resultados: "ni nomenclatura bien definida, ni patrones de medida de una exactitud garantizada, adoptados por todos con un claro y tranquilo consentimiento. La multitud incoherente de los sistemas de medida varían de ciudad en ciudad, de pueblo en pueblo, ya se trate de longitudes, pesos o volúmenes. En cuanto a registrar las

temperaturas, esto es imposible. El termómetro no había nacido y no debería nacer antes de mucho tiempo".

Sin embargo podemos preguntarnos si esta doble carencia no se explica por la mentalidad característica, por la estructura general del mundo del "más o menos". Me parece que sobre todo la alquimia nos suministra una respuesta decisiva. En efecto, en el curso de su existencia milenaria fue la única entre las ciencias de las cosas terrenales, que logró constituir un vocabulario, una notación y hasta un conjunto de instrumentos para su ejercicio, heredados por nuestra química actual, que los recibió y conservó. También acumuló tesoros de observaciones, realizó miles de experiencias, incluso hizo importantes descubrimientos. La alquimia jamás logró integrar la precisión a la experiencia y esto porque nunca lo intentó. Las descripciones de las operaciones alquímicas nada tienen de común con las fórmulas de nuestros laboratorios: son recetas de cocina, tan imprecisas, tan aproximadas, tan cualitativas como éstas. Y no es la imposibilidad material para ejecutar las medidas lo que detiene a la alquimia; ella no se sirve de éstas, incluso cuando se encuentran al alcance de la mano. No es el termómetro el que hace falta, es la idea de que el calor sea susceptible de una medida exacta. Así, se contenta con términos del sentido común: fuego vivo, fuego lento, etc., y no se sirve, o casi nada, de la balanza. Y sin embargo la balanza existe: incluso es —la de los orfebres y joyeros— relativamente precisa. Es precisamente ésta la razón por la cual el alquimista no se sirve de ella. Si la usara, sería un químico. Aún más: para que tuviese la idea de usarla, hubiera sido necesario que fuese ya un químico.

Por otra parte, creo que sucede casi lo mismo en lo que concierne a los instrumentos ópticos. Y a todos los otros. Entonces, estando más que de acuerdo con L. Febvre sobre la importancia de

No es el termómetro lo que hace falta; es la idea de que el calor sea susceptible de medida exacta.

su *ausencia*, no quedo completamente satisfecho con la explicación que da de esta ausencia.

En efecto, como nos lo recuerda L. Febvre, los anteojos se usaron desde el siglo XIII, quizás incluso desde finales del siglo XII. La lupa, o el espejo cóncavo, fueron sin duda conocidos desde la antigüedad. Entonces ¿cómo puede ser que durante cuatro siglos —el telescopio es de comienzos del siglo XVII— nadie, ni entre quienes los hacían ni entre quienes los utilizaban, haya intentado tallar o hacer tallar una lente un poco más gruesa, con una superficie de curvatura un poco más pronunciada y así llegar al microscopio simple, el cual sólo aparece hacia comienzos del siglo XVII o finales del XVI? No se puede, me parece, invocar el estado de desarrollo de la vidriería. Sin duda no era muy bueno, y los vidrieros del siglo XIII y aún del XIV hubieran sido completamente incapaces de fabricar un telescopio (mucho más tarde, durante la primera mitad del siglo XVII los vidrieros italianos eran los únicos que podían o sabían tallar lentes astronómicas¹⁴, y sólo en la segunda mitad fueron igualados y a veces superados por los holandeses y los alemanes); pero la situación es muy diferente para el microscopio simple que no es otra cosa que una perla de vidrio bien pulida: un obrero capaz de tallar vidrios de anteojos es *ipso facto* capaz de hacer uno. Una vez más, no es la insuficiencia técnica, es la ausencia de la idea la que nos proporciona la explicación¹⁵.

La ausencia de la idea no quiere decir, tampoco, insuficiencia científica. Sin duda la óptica medieval (al igual que la óptica griega) —a pesar de que Al-Hazen y Witello le hayan hecho hacer progresos no despreciables— conocía el hecho de la refracción de la luz; pero ignoraba sus leyes: la óptica física sólo nace verdaderamente con Kepler y Descartes. Pero, en realidad

Galileo tampoco sabía mucho más que Witello; sabía lo suficiente para que, luego de concebir la idea, fuera capaz de realizarla.

Por otra parte nada hay más simple que un telescopio, o al menos que un catalejo¹⁶. Para realizarlos no se necesita nada de ciencia, ni de lentes especiales, ni, en consecuencia, de técnica desarrollada: dos vidrios de anteojos, colocados uno después de otro y se tiene el catalejo. Pero, por asombroso, por increíble que esto parezca, durante cuatro siglos nadie tuvo la idea de ver qué pasaría si, en lugar de utilizar un solo par de anteojos, se empleaban simultáneamente dos.

Y es porque el fabricante de anteojos no era de ninguna manera un *óptico*, era un *artesano*. Y no hacía un *instrumento óptico*, hacía un útil, una herramienta. Y entonces la hacía según las reglas tradicionales del oficio y no buscaba nada más. Hay una profunda verdad en la tradición, quizás legendaria, que atribuye la invención del primer catalejo al *azar*, al *juego* de un hijo de un fabricante de anteojos holandés.

Por otra parte, para el hombre que los utilizaba, los anteojos tampoco eran un *instrumento óptico*. Eran una herramienta. Una herramienta, es decir algo que, como bien lo sabía ya el pensamiento antiguo, prolonga y refuerza la acción de nuestros miembros, de nuestros órganos de los sentidos: algo que pertenece al mundo del sentido común. Y que nunca nos puede hacer ir más allá de éste. Lo que, por el contrario, es la función propia del instrumento: no una prolongación del sentido sino, en la acepción más fuerte y literal del término, encarnación del espíritu, materialización del pensamiento.

Nada mejor para revelarnos esta diferencia fundamental que la historia de

¹⁴ Fue Galileo quien les enseñó a hacerlo.

¹⁵ No se mira hasta tanto no se sabe que hay alguna cosa por ver, mas aún, no se mira cuando se cree que no hay nada por ver. La innovación de Leewenhoeck consiste esencialmente en la decisión de mirar.

¹⁶ El catalejo no es un telescopio: haber transformado el primero en el segundo es precisamente el mérito de Galileo.

¹⁷ Es en la invención de los instrumentos científicos —y en su fabricación— donde se ha satisfecho el progreso técnico y tecnológico que ha precedido, y que ha hecho posible la revolución industrial. Sobre la fabricación de los instrumentos científicos, Cf. M. Dumas, *Les instruments scientifiques aux XVIII et XVIII siècles*, París, 1953.

¹⁸ Willis Milham, *Time and timekeepers*, Nueva York, 1945.

¹⁹ Aún no se sabe alumbrarse.

*
El instrumento no es sólo una prolongación de los sentidos, es encarnación del espíritu, materialización del pensamiento.

la construcción del telescopio por parte de Galileo. Mientras los Lippershey y los Jansen, quienes por un feliz azar habían descubierto la combinación de los vidrios que daba lugar al catalejo, se limitan a realizar los perfeccionamientos indispensables y en cierta forma inevitables (tubo, ocular móvil) a sus lentes reforzadas, Galileo, tan pronto como recibe la noticia del 'anteojo que acerca' de los holandeses, hace la teoría. Y es a partir de esta teoría, sin duda insuficiente pero *teoría* al fin y al cabo, como, llevando siempre más lejos la precisión y las posibilidades de sus vidrios, construye la serie de sus *perspicilles* que entrega a sus ojos la inmensidad del cielo.

Los artesanos holandeses que construían anteojos no hicieron nada parecido porque, y esta es la razón, no tenían la idea de *instrumento* que inspiraba y guiaba a Galileo: el objetivo buscado, y alcanzado por éste era completamente diferente al de aquéllos. El anteojo holandés es un aparato con una finalidad práctica: nos permite ver, a una distancia que supera la de la visión, lo que sería accesible a una distancia menor. No va y no puede ir más allá. No es entonces debido al azar que los inventores, y los que utilizaban el anteojo holandés, no se hayan servido de él para mirar el cielo. Por el contrario, por necesidades puramente teóricas, para alcanzar *lo que no cae bajo nuestros sentidos*, para ver lo que nadie nunca ha visto, Galileo construyó sus instrumentos, el telescopio y luego el microscopio. El uso práctico de los aparatos que maravillan a los burgueses y a los patricios de Venecia y de Roma no es para él sino un subproducto. Ahora bien, de contragolpe, la búsqueda de ese fin puramente teórico produce resultados cuya importancia para el nacimiento de la técnica moderna, técnica de la precisión, es decisiva. Pues para hacer los aparatos ópticos no sólo es necesario mejorar la calidad de los vidrios que se emplean y determinar

—es decir *medir* primero y *calcular* después— los ángulos de refracción, sino además es necesario mejorar su tallado, saber dar a los vidrios una forma precisa, una *forma* geométrica exactamente definida; y para hacer esto es necesario construir máquinas cada vez más *precisas*, máquinas matemáticas que presuponen, tanto como los mismos instrumentos, la sustitución en el espíritu de sus inventores del universo de la precisión al mundo del más o menos¹⁷. Así de ninguna manera se debe al azar que el primer instrumento óptico fuera inventado por Galileo, y la primera máquina moderna —máquina para tallar vidrios parabólicos— por Descartes.

Ahora bien, si es en y por la invención del instrumento óptico como se efectúa la penetración y como se establece la intercomunicación entre los dos mundos — el mundo de la precisión astral y el del más o menos de aquí abajo— si es por este canal como se opera la fusión de la física celeste y de la física terrestre, es a través de otro camino como la noción de precisión llega a introducirse en la vida cotidiana, a incorporarse en las relaciones sociales, a transformar, o al menos a modificar la estructura del sentido común: quiero entonces hablar del *cronómetro*, del *instrumento para medir el tiempo*.

Los aparatos para medir el tiempo aparecen tardíamente en la historia de la humanidad¹⁸. Y esto se comprende, pues a diferencia del espacio, el cual es esencialmente medible, y que es quizás la esencia misma de lo medible, el tiempo no se nos ofrece como algo por medir; el tiempo, siendo esencialmente no medible, se nos presenta como *ya* provisto de una medida natural, *ya* separado en divisiones por la sucesión de las estaciones y de los días, por el movimiento —y los movimientos— del reloj celeste que la previsora naturaleza ha tenido el cuidado de poner a nuestra

disposición. Por supuesto que estas divisiones son un poco gruesas. . . Y bastante mal definidas, imprecisas, de longitud desigual; pero ¿cuál puede ser la importancia de esto en el marco de la vida primitiva, de la vida nómada, e incluso en el de la vida agrícola? La vida se desarrolla entre el levantarse y el ponerse del sol, con el mediodía como punto de división. Un cuarto de hora, o aún una hora de más o de menos nada cambian a nada. Sólo es en la civilización urbana, evolucionada y compleja donde, para las necesidades precisas de la vida pública y religiosa, se puede sentir la necesidad de saber la hora, de medir un intervalo de tiempo. Sólo allí aparecen los relojes. Pero, incluso allí, tanto en Grecia como en Roma, la vida cotidiana escapa a la precisión —que por otra parte es aún muy relativa— de los relojes. La vida cotidiana se mueve en el más o menos del tiempo vivido.

Esta es la misma situación que se encuentra en la Edad Media y más tarde. Sin duda la sociedad medieval tiene sobre la antigua la ventaja de haber abandonado la hora variable y de haberla reemplazado por una hora con valor constante. Pero no experimenta una gran necesidad de conocer esa hora. Perpetúa, como lo ha expresado muy bien L. Febvre, "las costumbres de una sociedad de campesinos que aceptan no saber la hora exacta, sino cuando suena la campana (que se supone bien regulada) y que para todo lo demás se refieren a las plantas, a los animales, al vuelo de un cierto pájaro o al canto de algún otro". "Cerca de cuando se levante el sol" o "cerca de cuando se acueste". La vida cotidiana está dominada por los fenómenos naturales, por el levantarse y el acostarse del sol —se levantan temprano y no se acuestan tarde¹⁹—, la jornada está dividida, más que medida, por el toque de las campanas que anuncian las "horas", horas de los servicios religiosos más que de los relojes.

El reloj de precisión no es una promoción del reloj de uso práctico. Es un instrumento, es decir, una creación del pensamiento científico.

Algunos historiadores, y no de los menos importantes, han insistido por otra parte en la importancia social de esta sucesión regulada de los actos y de las ceremonias de la vida religiosa, la que especialmente en los conventos, sometía la vida al ritmo rígido del culto católico, que inducía, exigía, la división del tiempo en intervalos estrictamente determinados, y que en consecuencia implicaba su medida. Sería entonces en los monasterios, y por las necesidades del culto, donde habrían nacido y desde donde se habrían extendido los relojes y serían estas costumbres de la vida monacal, la costumbre de conformarse a la *hora*, las que al difundirse alrededor del espacio conventual habrían impregnado y dado forma a la vida citadina, haciéndola pasar del plano del tiempo vivido al del tiempo medido.

Algo de verdad hay, quizás mucho, en la concepción que acabo de exponer y en la famosa expresión del abate Thelème: "Las horas están hechas para el hombre y no el hombre para las horas" que muy a propósito cita L. Febvre; sentimos pasar el viento de la rebelión del hombre natural contra la imposición del orden, de la esclavitud a la regla. Y sin embargo no nos equivoquemos: el orden y el ritmo no es la medida, el tiempo de las campanas no es el tiempo medido. Aún estamos en el casi, en el más o menos; estamos sobre el camino, sólo sobre el camino, del universo de la precisión.

Porque en efecto los relojes medievales, los relojes con pesas cuya invención constituye una de las grandes glorias del pensamiento técnico medieval, estaban lejos de ser precisos, y en todo caso eran mucho menos precisos que los relojes de agua de la antigüedad. Eran —y por supuesto que esto se aplica tanto a los relojes de los conventos como a los de las ciudades— "máquinas robustas y rudimentarias a las que se les debía volver a montar los

pesos varias veces durante las veinticuatro horas" para asegurar la continuidad del movimiento, y que se debían vigilar y cuidar constantemente. Estos relojes nunca indicaban las subdivisiones de la hora, ni siquiera las horas; las indicaban con un margen tal de error que su uso no tenía prácticamente ningún valor, aún para las gentes de la época, poco exigentes. Y ni siquiera habían llegado a suplantar los aparatos antiguos. "En muchos casos las horas sólo las conocían aproximadamente los serenos, a partir de las clepsidras de arena y de agua a las que tenían por encargo dar vuelta. Ellos gritaban desde lo alto de las torres las indicaciones obtenidas y las gentes del lugar se encargaban de ir las repitiendo por las calles".

Ahora, si bien los grandes relojes públicos de los siglos XV y XVI, relojes astronómicos y relojes con números, descritos con tanto detalle por Willis Milham, están lejos de ser simples; si, al mismo tiempo, son mucho más precisos que las antiguas máquinas de movimiento, gracias al empleo del balancín y de la rueda Catalina, son sin embargo más escasos ya que, debido a su misma complejidad no sólo son extremadamente difíciles de construir (y requieren largo tiempo para ser contruidos), sino también extremadamente caros, tanto que sólo las grandes ciudades más ricas, como Brujas y Estrasburgo, o el emperador de Alemania y los reyes de Inglaterra y Francia podían darse el lujo de poseerlos. La situación es muy parecida en lo que concierne a los relojes domésticos de la época: relojes murales con pesas (lanternes), simples reducciones bastante burdas, en lo que se refiere al mecanismo, de los grandes relojes públicos, relojes con resortes que se pueden transportar, inventados al principio del siglo XVI por Pierre Henlein de Nuremberg (relojes de mesa y de viaje). Aún son objetos de lujo, y de gran lujo, y su uso no es práctico: en efecto

²⁰ En cuanto a los relojes transportables, relojes de viaje, de bolsillo, no sólo son imprecisos sino que, como nos lo cuenta Jerónimo Cardan en un texto que parece haber pasado desapercibido a los historiadores de la relojería y sobre el que les llamó la atención, pasan mucho más tiempo donde el relojero que con su propietario. Cf. Hieronimus Cardanus, *De rerum varietate*, I, IX, cap. XLVIII, p. 185 ss., París, 1663.

²¹ Dédossez, *Les savants du XVII^e siècle et la mesure du temps*, Lausana, 1946.

La ciencia griega no constituyó una verdadera tecnología, porque no elaboró una física, pues creía que no era factible.

los relojes pequeños son muy imprecisos, mucho más aún que los grandes, nos dice W. Milham²⁰. Y además son bellos, caros y escasos. Por eso nos dice L. Febvre: "En cuanto a los particulares, ¿cuántos de ellos poseían, en la época de Pantagruel, un reloj personal?". El número era ínfimo, fuera de los reyes y príncipes; estaban orgullosos y se consideraba privilegiados quienes poseyeran, bajo el nombre de reloj, una de esas clepsidras, tanto más si era de agua y no de arena, aquéllas de las cuales Joseph Scaliger hizo el florido elogio en el segundo Scaligerana: *'horologia sunt valde recentia et praeclarum inventum'*. Así no es asombroso que el tiempo del siglo XVI, al menos en su primera mitad, fuera, aún y siempre, el tiempo vivido, el tiempo del más o menos y que, en lo que se refiere a este tiempo, en la mentalidad de los hombres de la época "reine en todo la fantasía, la imprecisión, la inexactitud. Hombres que no saben exactamente su edad: son incontables los personajes históricos que nos dejan la opción entre tres o cuatro fechas de nacimiento, en ocasiones alejadas entre sí varios años", hombres que no conocen ni el valor ni la medida del tiempo.

Acabo de decir: al menos en la primera mitad del siglo XVI, pues en la segunda la situación se modifica sensiblemente. Sin duda aún reinan la imprecisión y el más o menos. Pero paralelamente al crecimiento de las ciudades y de la riqueza urbana o, si se prefiere, paralelamente a la victoria de la ciudad y de la vida urbana sobre el campo y la vida campesina, el uso de los relojes se expande cada vez más. Siguen siendo muy bellos, muy trabajados, muy caros, pero no son escasos o, más exactamente, lo son cada vez menos y en el siglo XVII dejan de serlo.

Por otra parte el reloj evoluciona, se mejora, se transforma. La maravillosa habilidad y la no menos sorprendente ingeniosidad de los relojeros (ya orga-

nizados en una guilda independiente y poderosa), la sustitución del balancín por la rueda reguladora, la invención del *stackfreed* y de la cuerda que igualan y uniformizan la acción del resorte, hacen de un puro objeto de lujo, un objeto práctico capaz de indicar las horas en forma casi precisa. Sin embargo no es del reloj de los relojeros de donde finalmente sale el reloj de precisión. El reloj de los relojeros no superó nunca —y no hubiera podido hacerlo— el estadio del "casi" y el nivel del "más o menos". El reloj de precisión, el reloj cronométrico tiene un origen muy diferente. No es, en forma alguna, una promoción del reloj de uso práctico. Es un *instrumento*, es decir, una creación del pensamiento científico o, mejor aún, una realización consciente de una teoría. Es cierto que una vez realizado un objeto puede devenir objeto práctico, de uso corriente y cotidiano. Es cierto igualmente que consideraciones prácticas —así, en el caso que nos ocupa, el problema de la determinación de las longitudes que, por la extensión de la navegación oceánica, exigía una urgente solución— pueden inspirar el pensamiento teórico. Pero no es la utilización de un objeto la que determina su naturaleza sino, más bien, su propia estructura: un cronómetro sigue siendo un *cronómetro* aún si son los marinos quienes lo utilizan. Y esto nos explica por qué no es a los relojeros sino a los científicos, no a Jost Burgi o a Isaak Thuret sino a Galileo y a Huygens (como también a Robert Hooke) a quienes debemos las grandes invenciones decisivas y a quienes debemos el reloj de péndulo y el reloj-brazalete con espiral regulador. Como lo ha dicho muy bien Jacquerod en su prefacio al excelente trabajo que L. Défossez²¹ consagró recientemente a la historia de la cronología (trabajo cuyo mérito consiste en resituar la historia de la cronología en la historia del pensamiento científico y cuyo título habla por sí mismo: *"Los científicos [y no los relojeros] del siglo XVII y la*

medida del tiempo": "Quizás se sorprendan los técnicos e incluso se desilusionen al constatar el pequeño papel que juegan en esta historia los relojeros en ejercicio, comparado con la inmensa importancia de las investigaciones de los científicos (savants). Sin duda las realizaciones son, en general, la obra de los relojeros, pero las invenciones, las ideas, germinan las más de las veces en el cerebro de los hombres de ciencia y muchos de ellos no temen meter la mano en la masa y construir por sí mismos los aparatos, los dispositivos que han imaginado". Este hecho que puede parecer paradójico se explica, para Jacquerod como también para Défossez, "por una razón muy precisa y en cierto modo doble que hace comprender por qué, en los siglos siguientes, la situación cambió".

"Primero que todo esta razón consiste en que, mucho más que para las necesidades diarias y las relaciones sociales, la medida del tiempo era una necesidad capital para la ciencia, y sobre todo para la astronomía y la física. Si los cuadrantes solares y los relojes eran en el siglo XVII ampliamente satisfactorios para el gran público, ya no lo eran para los científicos". Estos necesitaban descubrir una medida exacta. Ahora bien, "para lograr este descubrimiento eran impotentes los procedimientos empíricos y sólo los hombres de ciencia, teóricos, precisamente aquéllos que durante esa época elaboraban las teorías y establecían las leyes de la mecánica racional, estaban en la posibilidad de hacerlo. Así los físicos, mecánicos, astrónomos, sobre todo los más grandes, se preocuparon por el problema propuesto, por la sencilla razón de que fueron los primeros interesados en su resolución". "La otra cara de la cuestión, de quizás mayor importancia, debe buscarse en las necesidades de la navegación. . . En alta mar, sobre todo, la determinación de las coordenadas geográficas, la determinación del 'punto', es esencial y sin ella no es po-

El pensamiento griego nunca quiso admitir que la exactitud pudiera ser de nuestro mundo, del mundo sublunar.

sible efectuar con seguridad ningún viaje alejado de las costas: si bien es fácil la determinación de la latitud observando el sol o la estrella polar, la de la longitud es mucho más difícil". Esta "exige conocer la hora de un meridiano de origen. Se debe llevar consigo esta hora, conservarla cuidadosamente. Es necesario entonces poseer un 'conserva-tiempo' al que se le pueda tener confianza. Los dos problemas, el de la medida y el de la conservación, naturalmente están íntimamente ligados. El primero fue resuelto por Galileo y Huygens utilizando el péndulo. El segundo, mucho más difícil. . . recibió una perfecta solución —al menos en principio— mediante el invento, debido a Huygens, del sistema balancín-espiral".

"Durante los dos siglos posteriores únicamente se presentan perfeccionamientos en el detalle. . . pero ya no hay más descubrimientos fundamentales. . . y esto explica por qué se volvió entonces preponderante la participación de los técnicos".

Estoy más que de acuerdo con Jacques y Défossez en lo que corresponde a la explicación del papel que jugó la ciencia teórica en la invención del cronómetro y por esto los he citado ampliamente; por esto y porque es bastante raro encontrar un físico y un técnico —Défossez es un técnico en relojería— que no hayan sido infectados por el virus de la epistemología empirista y positivista que ha hecho, y que aún hace, tantos estragos entre los historiadores del pensamiento científico. Sin embargo no estoy completamente de acuerdo con ellos. En particular no creo en el papel preponderante del problema de las longitudes; creo que Huygens hubiera emprendido y continuado sus investigaciones sobre el movimiento pendular y el movimiento circular²², el isocronismo y la fuerza centrífuga aún si no se hubiera encontrado estimulado por la esperanza de ganar

10.000 libras (que por otra parte no ganó), simplemente porque eran problemas que se imponían a las ciencias de su tiempo. Pues si se piensa que, para determinar el valor de la aceleración, Galileo, en el momento de sus famosas experiencias del cuerpo que rueda sobre un plano inclinado, debió emplear una clepsidra de agua, mucho más primitiva en su estructura que la de Ctesibios (obtuvo así cifras completamente falsas), que Riccioli, para estudiar la aceleración de los cuerpos en caída libre (en 1647) se vio obligado a usar un *reloj humano*²², nos podemos dar cuenta de lo poco que convenían los relojes del momento para el uso científico y la urgencia absoluta, para la mecánica física, de descubrir un medio para medir el tiempo. Así es claramente comprensible que Galileo se haya preocupado por el asunto; en efecto, ¿para qué poseer fórmulas que permitan determinar la velocidad de un cuerpo en cada instante de su caída en función de la aceleración y del tiempo transcurrido si no se pueden medir ni la primera ni el segundo?

Por otra parte para medir el tiempo —puesto que no se puede hacer directamente— es indispensable utilizar un fenómeno que lo encarne en forma apropiada; lo que quiere decir, o bien un proceso que se desarrolle de una manera uniforme (velocidad constante), o bien un fenómeno que, aunque no sea uniforme en sí mismo, se reproduzca periódicamente en su identidad (repetición isócrona). Ctesibios se orientó hacia la primera solución, manteniendo *constante* el nivel del agua en uno de los recipientes de su clepsidra con lo que el agua corría al otro a velocidad constante; Galileo, al igual que Huygens, se orientó hacia la segunda, descubriendo en las oscilaciones del péndulo un fenómeno que se reproduce eternamente. Pero es claro —o al menos debería serlo— que un descubrimiento como éste no puede ser el producto de la empiria. Es claro que ni

²² Cf. mis artículos "Galileo y la experiencia de Pisa", *Annales de l'Université de Paris*, 1936, y "An experiment in measurement", *American Philosophical Society, Proceedings*, 1952.

A través del instrumento de medida el mundo de la precisión llega a sustituir al mundo del "más o menos".

Ctesibios ni Galileo —a los que sin embargo los historiadores de las ciencias ubican entre los empiristas, alabándolos por haber establecido mediante experiencias algo que *no podía establecerse* por medio de ellas— podían establecer la constancia del flujo o el isocronismo de la oscilación a través de medidas empíricas. Y esto —razón muy simple pero completamente suficiente— porque precisamente les faltaba con qué medirlos; en otros términos, el instrumento de medida que la constancia del flujo o el isocronismo del péndulo justamente iban a permitir realizar.

No fue mirando el balanceo del gran candelabro de la catedral de Pisa como Galileo descubrió el isocronismo del péndulo así no fuera sino por la simple razón de que el candelabro sólo se colocó después de su partida de su ciudad natal —a pesar de que sea completamente posible que un espectáculo de este género lo hubiera incitado a meditar sobre esta estructura propia del vaivén: las leyendas contienen casi siempre un elemento de verdad—; fue estudiando matemáticamente, a partir de las leyes del movimiento acelerado que por deducción racional había establecido, la caída de los cuerpos graves a lo largo de las cuerdas de un círculo colocado verticalmente. Ahora bien, es sólo entonces, es decir *después* de la deducción teórica, cuando pudo pensar en una verificación experimental (cuyo fin no era, en ninguna forma, confirmar aquélla, sino el de encontrar cómo se comportan los péndulos reales y mate-

riales que oscilan, no en el espacio puro de la física sino sobre la Tierra y en el aire) y, al tener éxito la experiencia, pudo intentar construir el instrumento que permitiera utilizar en la práctica la propiedad mecánica del movimiento pendular. Y es exactamente en la misma forma, es decir por un estudio puramente teórico, como Huygens descubrió el error de la extrapolación galileana y demostró que el isocronismo se realiza, no en el círculo, sino sobre la cicloide. Son consideraciones puramente geométricas las que permitieron encontrar la forma de realizar —en teoría— el movimiento cicloidal. Y es en ese momento cuando se presenta para él —exactamente como se había presentado para Galileo— el problema técnico, o más exactamente *tecnológico* de la realización efectiva, es decir de la ejecución material, del modelo que había concebido. No es de manera alguna asombroso que —como lo hizo Galileo antes y Newton después de él— tuviera necesidad de meter "las manos en la masa". Y es porque precisamente se trataba de enseñar a los *técnicos* a hacer algo que nunca habían hecho, a inculcar al oficio, al arte, a la *tekhné* nuevas reglas, las reglas de la precisión de la *episteme*. La historia de la cronometría nos ofrece un ejemplo impactante, quizás el más impactante de todos, del nacimiento del pensamiento tecnológico que progresivamente penetra y transforma el pensamiento (y la realidad) técnico. Lo que lo eleva a un nivel superior y a su vez explica que los técnicos, los relojeros del siglo XVIII

hayan podido mejorar y perfeccionar los instrumentos que quienes los precedieron no pudieron inventar. Y esto se debió a que vivían en otro "clima" o "medio" técnico y a que estaban infectados por el espíritu de la precisión.

Ya lo he dicho pero conviene repetirlo: es a través del instrumento como la precisión se encarna en el mundo del más o menos, es *en* la construcción de los instrumentos donde se afirma el pensamiento tecnológico; es *para* su construcción por lo que se inventan las primeras máquinas *precisas*. Por otra parte es por la precisión de sus máquinas, resultado de la aplicación de la ciencia en la industria, tanto como por el uso de la energía y de materiales que la naturaleza no nos entrega tal cuales, como se caracteriza la industria de la época paleotécnica, la edad del vapor y del hierro, la edad tecnológica en el curso de la cual se efectúa la penetración de la técnica por la teoría.

Y es por el avasallamiento de la teoría sobre la práctica como se podría caracterizar la técnica de la segunda revolución industrial, para emplear la expresión de Friedmann, la de la industria neotécnica, la de la edad de la electricidad y de la ciencia aplicada. Es su fusión lo que caracteriza la época contemporánea, la de los instrumentos que tienen la dimensión de fábricas y de fábricas que poseen la precisión de los instrumentos. □

Impreso en



petix^{LTDA.}

Cra. 13A No. 38-32 Tel. 245 8097 Bogotá



EL FONDO PARA LA PROTECCION DEL
MEDIO AMBIENTE
JOSE CELESTINO MUTIS
FEN COLOMBIA

SE COMPLACE EN FELICITAR A LOS
GANADORES DEL II CONCURSO NACIONAL
DE ECOLOGIA "ENRIQUE PEREZ ARBELAEZ",
Y AGRADECER A QUIENES CON SU
PARTICIPACION CONTRIBUYERON AL
EXITO DEL MISMO

BOGOTA, Octubre 20 de 1986

CALLE 71A No. 6-30 Piso 15 Tel. 2491667